

Penerapan teknik *low impact development* (LID) untuk optimalisasi sistem drainase (studi kasus: Kecamatan Cianjur)

Implementation of low impact development (LID) techniques for drainage system optimization (case study: Cianjur District)

Moh. Ranga Sururi^{1*}, Lingga Rendragraha Badrukamal¹, Rachmawati Sugiharti Djembarmanah¹, Fauzi Fadlurrohman¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia

Abstrak.

Kecamatan Cianjur sering mengalami banjir akibat tingginya curah hujan, terbatasnya lahan resapan air, dan ketidakseimbangan antara tingkat pembangunan dengan kapasitas drainase. Menyikapi tantangan ini, penelitian mengusulkan penerapan *Low Impact Development* (LID) sebagai solusi untuk mengurangi risiko banjir. Analisis hidrologi menggunakan data curah hujan dan debit limpasan dilakukan untuk menghitung volume aliran air pada kondisi eksisting dan skenario penerapan LID. Simulasi menggunakan perangkat lunak *Storm Water Management Model* (SWMM) versi 5.2 dengan 3 skenario, yaitu: 1) skenario tanpa LID yang menghasilkan debit limpasan sebesar 8.748,26 m³/s; 2) skenario penerapan *rain barrel* sebesar 7.318,28 m³/s; dan 3) skenario kombinasi *rain barrel* dan kolam retensi yang mampu mereduksi nilai menjadi 118,28 m³/s. Skenario ketiga merupakan opsi paling efektif sebagai strategi pengelolaan drainase di Kecamatan Cianjur.

Kata kunci: banjir, LID, SWMM, analisis hidrologi, Kecamatan Cianjur

Abstract

Cianjur District often experiences flooding caused by high rainfall, limited water infiltration in catchment areas, and imbalance between development rate and inadequate drainage system capacity. To address this challenge, this study proposes the application of Low Impact Development (LID) as a solution to reduce flood risk. Hydrological analysis was carried out using rainfall and runoff data to calculate the volume of water flow in existing conditions and LID application scenarios. The simulation used Storm Water Management Model (SWMM) software version 5.2 with 3 scenarios; 1) scenario without LID which produces a runoff discharge of 8,748.26 m³/s; 2) scenario using rain barrel produces 7,318.28 m³/s; and 3) scenario combination of rain barrel and retention ponds which reduce the value to be 118,28 m³/s. The third scenario is the most effective option as a drainage management strategy in Cianjur District.

Keywords: flooding, LID, SWMM, hydrological analysis, Cianjur District

1. PENDAHULUAN

Curah hujan tinggi dan keterbatasan area resapan air di Kabupaten Cianjur, khususnya Kecamatan Cianjur sering menyebabkan banjir sebagai masalah utama pengelolaan lingkungan perkotaan. Penataan ruang yang kurang efektif mengakibatkan ketidakseimbangan dalam pemanfaatan ruang dan berdampak pada penurunan kualitas lingkungan, kerugian ekonomi, serta kesehatan masyarakat (Pratama dan Nugroho 2021; Haryono *et al.* 2022). Pemerintah menetapkan target ruang terbuka hijau (RTH) sebesar 15% dari luas wilayah kota, namun realisasi saat ini baru mencapai 8%. Kesenjangan ini berpotensi mempengaruhi keseimbangan daya dukung dan daya tampung lingkungan seperti dinyatakan dalam RPJMD Kabupaten Cianjur Tahun 2021-2025 (Pemerintah Kabupaten Cianjur 2021).

* Korespondensi Penulis
Email : rangga@itenas.ac.id

Kabupaten Cianjur, dengan luas wilayah 1.705,641 Ha dan terdiri dari 32 kecamatan, memiliki intensitas curah hujan bervariasi antara 1.120,4 mm/tahun hingga 3.543 mm/tahun, serta kemiringan lahan sekitar 0-8% (RPJMD Kabupaten Cianjur 2021; BPS Kabupaten Cianjur 2023). Kecamatan Cianjur sebagai pusat administratif mengalami masalah banjir yang cukup serius akibat pertumbuhan penduduk yang tidak diimbangi oleh jaringan drainase yang memadai (Susanti dan Widodo 2022). Kondisi tersebut merupakan hal yang biasa terjadi pada perkembangan kota, dan menjadi sebuah tantangan tersendiri guna mengurangi dampak dan risiko terjadinya banjir terhadap masyarakat (GebreEgziabher dan Demissie 2020).

Banjir besar yang terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisokan, Kecamatan Cianjur, pada tahun 2023 lalu menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan, di antaranya ratusan rumah terendam dan puluhan keluarga terpaksa mengungsi. Fenomena ini dipicu oleh hujan deras yang berlangsung berjam-jam dan disertai angin kencang sehingga menyebabkan Sungai Cisokan meluap. Kondisi tersebut diperburuk oleh perubahan penggunaan lahan dan tata ruang yang kurang efektif (BPBD Kabupaten Cianjur 2023). Ketidadaan perencanaan yang komprehensif dan terintegrasi turut menyebabkan kegagalan sistem drainase (Ibrahim dan Nugraha 2023). Fakta ini mengindikasikan bahwa pengelolaan limpasan air hujan masih bersifat tradisional. Sistem jaringan drainase tradisional umumnya menitikberatkan pada pengumpulan limpasan air hujan dan pengaliran cepat menuju sungai atau danau terdekat sebagai badan air penerima (Ahiablame *et al.* 2012). Pendekatan pengelolaan air hujan ini juga dikenal sebagai prosedur *end-of-pipe* yang menggabungkan pengelolaan terpusat (Eckart *et al.* 2017).

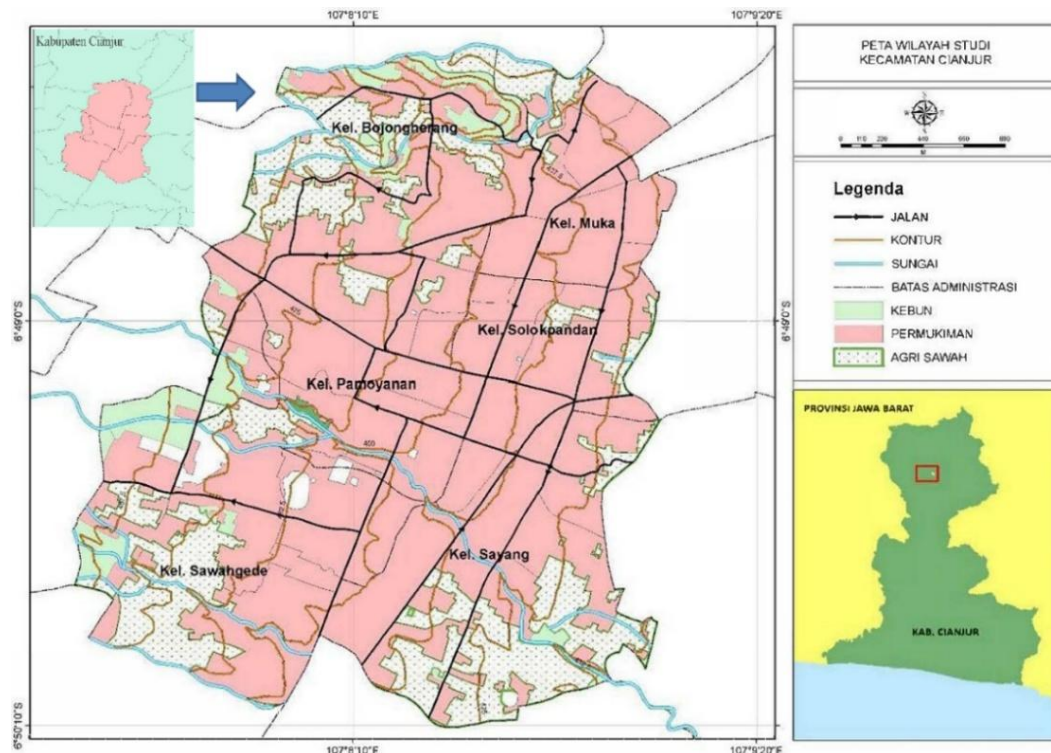
Untuk mencegah banjir perkotaan yang semakin sering terjadi, diperlukan penyesuaian sistem drainase air hujan melalui peninjauan dan pembaruan teknik serta standar desain, perbaikan infrastruktur yang ada, dan pembangunan infrastruktur tambahan (Burns *et al.* 2012). Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah penerapan *Low Impact Development* (LID) yang berfokus pada pengelolaan air hujan secara lokal melalui peningkatan infiltrasi dan perlambatan aliran permukaan (Syafitri dan Wibowo 2021; Marwati *et al.* 2022). *Storm Water Management Model* (SWMM) versi 5.2 adalah alat yang efektif untuk simulasi dan evaluasi sistem drainase berbasis LID (Rossman dan Simon 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan penerapan dan mengevaluasi sistem drainase berbasis SWMM 5.2 di Kecamatan Cianjur dengan fokus pada optimalisasi pengendalian air limpasan dan pengurangan risiko banjir, serta memberikan rekomendasi desain sistem drainase yang lebih efisien dan berkelanjutan. Terdapat tiga skenario yang digunakan, yaitu: 1) skenario tanpa penerapan LID yang berfungsi sebagai kontrol; 2) skenario dengan adanya penerapan *rain barrel* guna menampung air hujan; dan 3) skenario dengan penggunaan kombinasi *rain barrel* dan kolam retensi untuk pengendalian lebih lanjut.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Kecamatan Cianjur memiliki luas wilayah sebesar 25,10 km² dengan ketinggian rata-rata ±700 mdpl. Wilayah ini berbatasan dengan Kecamatan Mande di bagian utara, Kecamatan Karang Tengah di bagian timur, Kecamatan Warung Kondang di bagian selatan, dan Kecamatan Cugenang di bagian barat. Kecamatan Cianjur terbagi menjadi enam kelurahan, yaitu Bojongherang, Muka, Pamoyanan, Sawahgede, Sayang, dan Solokpandan (**Gambar 1**). Penelitian dilaksanakan pada periode April-Juli 2024.



Gambar 1. Peta lokasi studi di Kecamatan Cianjur.

2.2. Analisis hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan melalui serangkaian tahapan baku, dimulai dengan pengumpulan data hidrologi dan klimatologi, mencakup penggunaan data curah hujan dari BMKG (2023). Data hasil kompilasi dianalisis menggunakan metode distribusi statistik, seperti Gumbel untuk menganalisis data maksimum (**Persamaan 1** dan **Persamaan 2**) dan Log-Pearson untuk menganalisis data dengan jumlah yang minimum (**Persamaan 3**, **Persamaan 4**, dan **Persamaan 5**) (Te Chow *et al.* 2010).

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_N} \dots\dots\dots (1)$$

$$X_t = \bar{X} + k \times s \dots\dots\dots (2)$$

$$\overline{SLog \bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\log X_t = \overline{\log \bar{X}} + K_t \times \overline{SLog \bar{X}} \dots\dots\dots (4)$$

$$X_t = 10^{\log X_t} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

K = Nilai faktor frekuensi

S = Nilai standar deviasi

X_t = Nilai curah hujan dalam periode ulang tahun (T)

Hasil dari perhitungan persamaan tersebut akan disesuaikan dengan periode ulang hujan (PUH) tertentu untuk keperluan perencanaan hidrologi (Te Chow *et al.* 2010). Selanjutnya, dilakukan proses menghitung debit puncak, menggunakan metode rasional atau model hidrologi dengan **Persamaan 6** berikut.

$$Q = C \times A \times I \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

Q = Nilai debit air terukur (m³/detik)

C = Nilai koefisien dasar limpasan

A = Luas area (m²)

U = Intensitas hujan (mm/detik)

Metode rasional atau model hidrologi ini merupakan dasar dari perhitungan pada model SWMM dengan memperhatikan karakteristik daerah tangkapan air. Simulasi aliran permukaan dilakukan untuk mengestimasi limpasan air berdasarkan kondisi topografi dan tipe tutupan lahan (Ward dan Robinson 2000). Kemudian hasil analisis dievaluasi dan divalidasi melalui perbandingan dengan data historis untuk memastikan akurasi prediksi limpasan dan debit air sesuai dengan kondisi aktual di lapangan (DID Malaysia 2010).

2.3. Evaluasi kondisi eksisting menggunakan *storm water management model* (SWMM)

Evaluasi sistem drainase eksisting merupakan langkah awal yang menjadi dasar untuk menilai kapasitas saluran dalam menampung dan mengalirkan debit air hasil curah hujan berdasarkan hasil analisis hidrologi. Proses evaluasi ini mempertimbangkan luas area *sub-catchment* dan karakteristik penggunaan lahannya, yang mempengaruhi jumlah limpasan. Secara detail, proses ini meliputi identifikasi *catchment*, pembagian *sub-catchment* area, pengukuran volume limpasan yang dihasilkan, serta penilaian kemampuan saluran drainase eksisting dalam mengelola debit limpasan tersebut.

Selain itu, SWMM diterapkan dengan beberapa pendekatan utama: metode *non-linear reservoir* untuk menghitung limpasan permukaan berdasarkan intensitas hujan dan area kedap air; metode *Horton*, *Green-Ampt*, atau *Curve Number* (CN) untuk menghitung infiltrasi sesuai jenis tanah; pendekatan *dynamic wave*, *kinematic wave*, atau *steady flow* untuk memodelkan aliran dalam saluran; rumus *Manning* untuk menghitung kehilangan akibat gesekan; penguapan dari area terbuka; dan penyimpanan air pada setiap *node* aliran. Simulasi SWMM ini memungkinkan pemodelan respons hidrologi dan hidraulik secara akurat, memberikan data penting dalam evaluasi kapasitas drainase yang efektif.

2.4. Skenario SWMM 5.2 dengan model LID

Perencanaan ini menggunakan perangkat lunak SWMM 5.2 untuk simulasi dinamika air limpasan di wilayah perencanaan. SWMM yang dikembangkan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) merupakan *software* yang dirancang khusus untuk memodelkan limpasan air hujan dan sistem drainase di lingkungan urban. SWMM mengelola sistem drainase perkotaan ke dalam empat modul utama yaitu: atmosfer, permukaan tanah, air tanah, dan transportasi air. Modul atmosfer mencakup parameter terkait curah hujan dan evaporasi, modul permukaan tanah menangani limpasan dari berbagai jenis permukaan lahan, sementara modul air tanah mengelola aliran air yang masuk ke dalam tanah. Modul transportasi air, di sisi lain, berfungsi untuk mengatur aliran air melalui jaringan drainase yang ada.

Proses pemodelan maka wilayah penelitian dibagi menjadi beberapa sub-wilayah atau *sub-catchment*. Setiap *sub-catchment* diidentifikasi berdasarkan jenis permukaan lahan atau tata guna lahan, sehingga dikelompokkan menjadi permukaan *impervious* (tidak dapat menyerap air) dan *pervious* (dapat menyerap air). Proses perhitungan limpasan permukaan pada setiap *sub-catchment* dilakukan dengan mempertimbangkan intensitas curah hujan yang spesifik untuk setiap area. Peningkatan akurasi model dilakukan dengan pemecahan setiap *sub-catchment* menjadi tiga *sub-area*: area hulu, area tengah, dan area hilir. Langkah ini memungkinkan analisis lebih mendetail mengenai aliran permukaan dengan mempertimbangkan karakteristik hidrologi dan penggunaan lahan yang berbeda di setiap *sub-area* (Sururi dan Fadlurrohman 2024). Teknik ini dapat memastikan estimasi volume limpasan dilakukan dengan lebih tepat, mencerminkan kondisi nyata dari area yang diteliti.

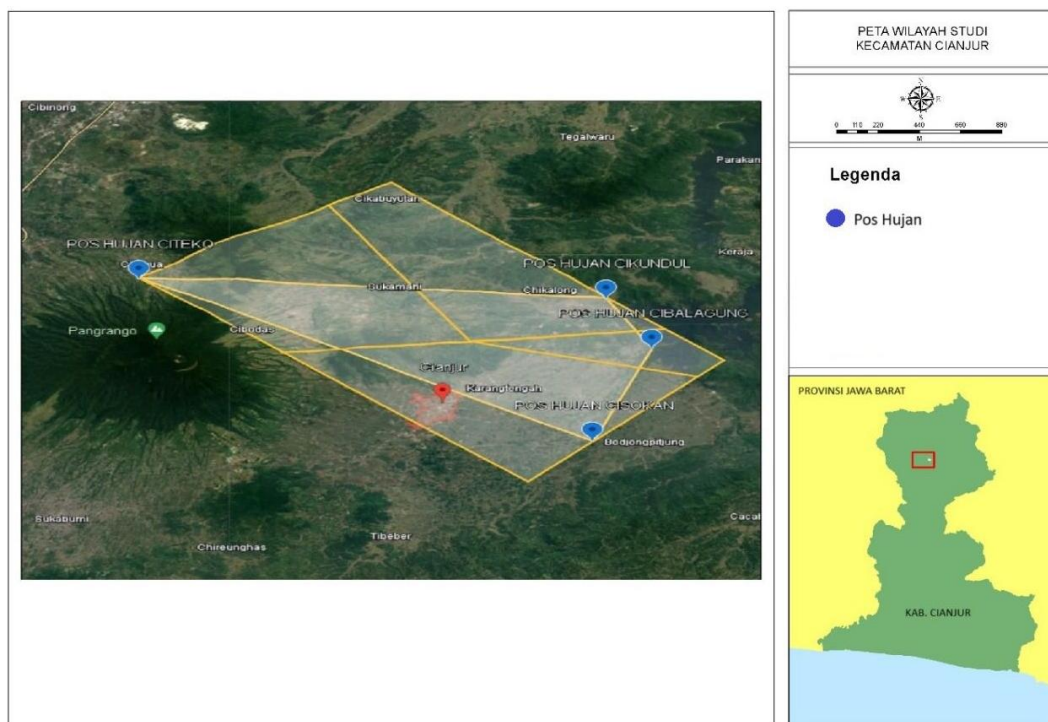
Perencanaan ini menggunakan model LID sebagai solusi untuk mengatasi masalah limpasan air di DAS Cisokan, Kecamatan Cianjur. Perencanaan LID dengan konsep pengurangan dan penyimpanan air diupayakan untuk dapat menangani kondisi dan karakteristik hidrologi yang terjadi (Bai et al. 2018). Model LID disimulasikan menggunakan SWMM 5.2 untuk menilai efektivitasnya dalam mengurangi limpasan air permukaan. Terdapat berbagai teknologi LID yang dapat diterapkan pada SWMM 5.2, yaitu: *green roofs* (atap hijau), saluran infiltrasi, *rain barrel* (tong hujan), *rain garden*, kolam retensi, dan perkerasan mudah meresap (Abi Aad et al. 2010). Pada perencanaan ini, diterapkan tiga skenario LID, yaitu: (1) skenario tanpa penerapan LID yang akan berfungsi sebagai kontrol, (2) skenario penerapan *rain barrel* dengan menampung air hujan, dan (3) skenario gabungan antara *rain barrel* dan kolam retensi untuk pengendalian lebih lanjut.

Pemilihan teknologi LID berupa *rain barrel* sebagai upaya pengelolaan air hujan didasarkan pada kemudahan pengaplikasian, biaya yang murah, dan dapat diterapkan pada area padat penduduk (Ahiablame et al. 2012). Secara konsep pengaplikasian, *rain barrel* beroperasi dengan menampung limpasan air hujan dari atap rumah/bangunan guna memotong volume limpasan air hujan pada saat jam puncak (Liu et al. 2015). Selain itu, penggunaan *rain barrel* dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber air bersih (non minum) yang berasal dari air hujan yang ditampung (Walsh et al. 2014).

Selain penerapan *rain barrel*, diterapkan juga teknologi kolam retensi dalam upaya pengelolaan limpasan air hujan. Teknologi ini banyak digunakan di berbagai daerah di Indonesia sebagai upaya mitigasi banjir. Konsep pengelolaan limpasan air hujan dengan kolam retensi adalah dengan menampung sementara limpasan air hujan untuk memotong volume limpasan saat jam puncak, sehingga debit air yang masuk ke sungai dapat dikurangi dan meminimalkan risiko banjir (Permanasari et al. 2025). Penerapan teknologi *rain barrel* dan kolam retensi sebagai metode LID diharapkan dapat menurunkan potensi banjir dan meningkatkan pengelolaan limpasan air.

2.5. Penentuan stasiun hujan

Stasiun utama curah hujan ditentukan melalui metode *Poligon Thiessen* yang mempertimbangkan variasi jarak antar pos pengamatan hujan untuk mengetahui area pengaruh yang lebih akurat. Tahapan metode ini meliputi: 1) identifikasi dan pemetaan seluruh stasiun hujan; (2) penyusunan jaringan segitiga yang menghubungkan setiap stasiun; dan (3) pembuatan garis tegak lurus di tengah tiap sisi segitiga untuk membentuk poligon pengaruh masing-masing stasiun. Berdasarkan luas poligon yang dihasilkan, stasiun Cisokan ditetapkan sebagai stasiun utama karena mencakup area terbesar dibandingkan Citeko, Cikundul, dan Cibalagung (**Gambar 2**).



Gambar 2. Metode *poligon thiessen* pada penelitian ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis data curah hujan

Perencanaan menggunakan data curah hujan selama 25 tahun terakhir (1999-2023) yang diperoleh dari BMKG (2023). Intensitas curah hujan dihitung menggunakan distribusi Gumbel untuk menentukan curah hujan desain dengan periode ulang 5, 10 dan 20 tahun sebagai dasar pemodelan limpasan permukaan. **Tabel 1** menunjukkan data curah hujan maksimum pada setiap stasiun klimatologi pada kurun waktu tahun 2018-2023.

Tabel 1. Curah hujan maksimum pada setiap stasiun klimatologi.

No	Tahun	Stasiun Klimatologi			
		Cisokan	Cikundul	Cibalagung	Pacet, Puncak, Citeko
1	2018	59	100	89	64
2	2019	100	84	93	78
3	2020	66	66	66	66
3	2021	164	164	164	164
4	2022	121	121	121	121
5	2023	119	119	119	119

Selanjutnya dilakukan perhitungan curah hujan harian maksimum menggunakan metode Hasper dan der Weduwen untuk memperoleh hujan rencana berdasarkan data historis (Soemarto 1987), dengan asumsi bahwa distribusi hujan bersifat simetris untuk durasi kurang dari 1 jam hingga 24 jam. Metode ini mengompilasi curah hujan harian maksimum dan menggunakan persamaan tertentu untuk menganalisis distribusi hujan dalam perencanaan hidrologi dan pengelolaan air hujan (PPKSDA 2020). Rekapitulasi hasil perhitungan curah hujan harian maksimum dengan metode Hasper dan Der Weduwen dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Berdasarkan hasil analisis frekuensi curah hujan harian maksimum, diperoleh perbandingan nilai dari tiga metode yang tercantum dalam **Tabel 3**. Perbandingan tersebut menunjukkan perbedaan hasil antar metode dan menjadi dasar dalam pemilihan metode yang paling tepat untuk memperkirakan curah hujan maksimum pada perencanaan drainase dan pengelolaan air hujan.

Tabel 2. Rekapitulasi curah hujan harian maksimum.

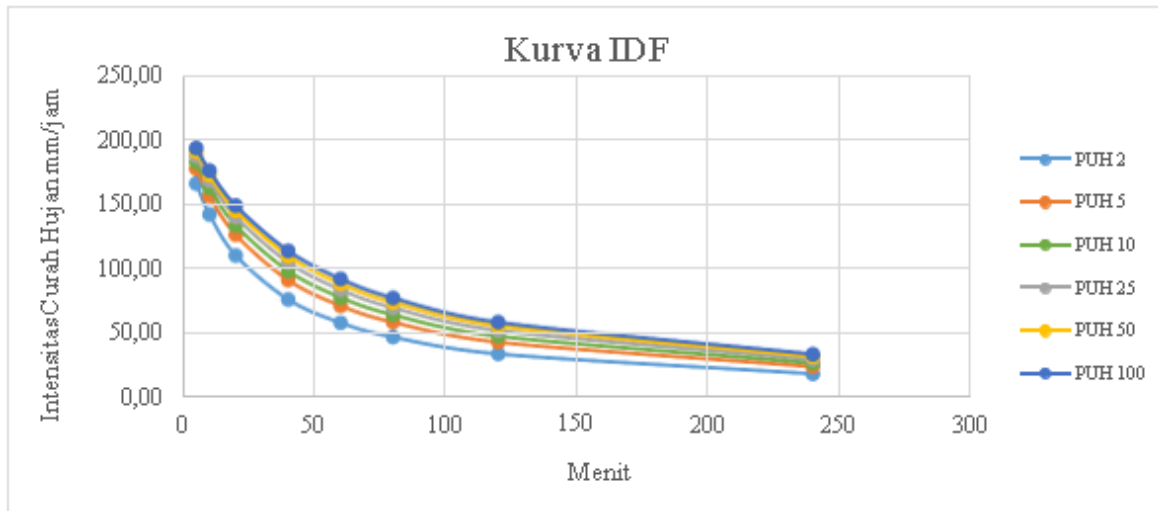
No	Durasi (menit)	Periode ulang hujan (tahun) mm/ 24jam					
		2	5	10	25	50	100
1	5	576,98	632,01	657,18	632,01	696,31	709,2
2	10	318,18	360,63	381,04	360,63	414,13	425,4
3	20	168,55	196,65	210,75	196,65	234,48	242,83
4	40	84,81	100,96	109,31	100,96	123,77	128,98
5	60	55,28	66,33	72,12	66,33	82,24	85,93
6	80	40,29	48,55	52,9	48,55	60,57	63,37
7	120	25,32	30,64	33,47	30,64	38,48	40,32
8	240	10,85	13,2	14,45	13,2	16,69	17,52

Tabel 3. Rekapitulasi analisis frekuensi curah hujan harian maksimum.

No.	Periode ulang hujan	Gumbel	Log Person	Distribusi Normal
1	2	101,7772	103,99	105,56
2	5	127,8552	126,84	126,65
3	10	145,1211	140,4	137,7
4	25	161,683	156,24	148,5
5	50	166,9366	167,24	157,04
6	100	183,1206	177,65	164,07

3.2. Penggambaran kurva IDF

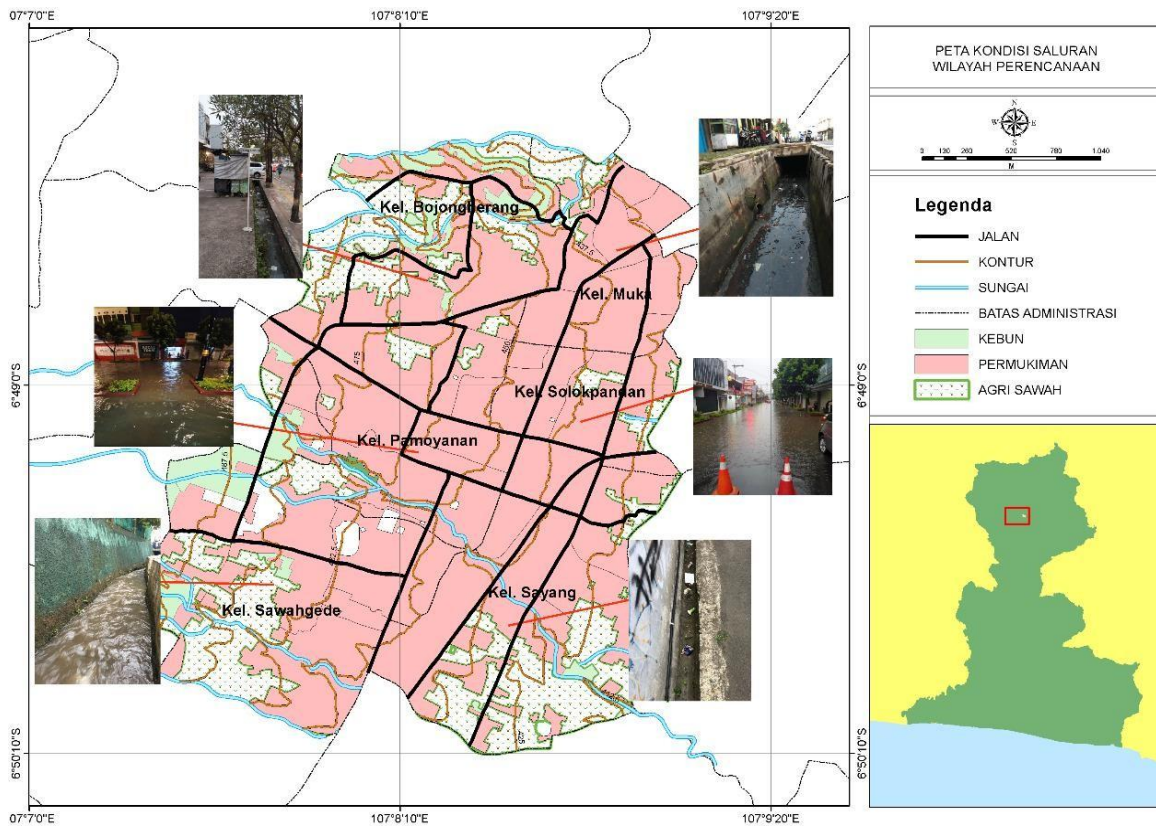
Kurva IDF (*intensity, duration, frequency*) menggambarkan hubungan antara intensitas hujan, durasi, dan periode ulang, yang digunakan untuk memperhitungkan debit puncak dengan metode rasional. Berdasarkan kurva IDF pada **Gambar 3**, intensitas hujan meningkat seiring bertambahnya periode ulang, dan cenderung lebih tinggi di awal durasi hujan sebelum menurun. Hubungan antara parameter kunci yaitu periode ulang, durasi, serta intensitas hujan sangat penting untuk perencanaan dimensi saluran drainase. Pengabaian hubungan parameter tersebut berpotensi menyebabkan saluran tidak mampu menampung debit air selama hujan intens, yang dapat menyebabkan genangan atau banjir di perkotaan.



Gambar 3. Kurva IDF (*intensity, duration, frequency*).

3.3. Evaluasi kondisi eksisting dan skenario 1 tanpa LID

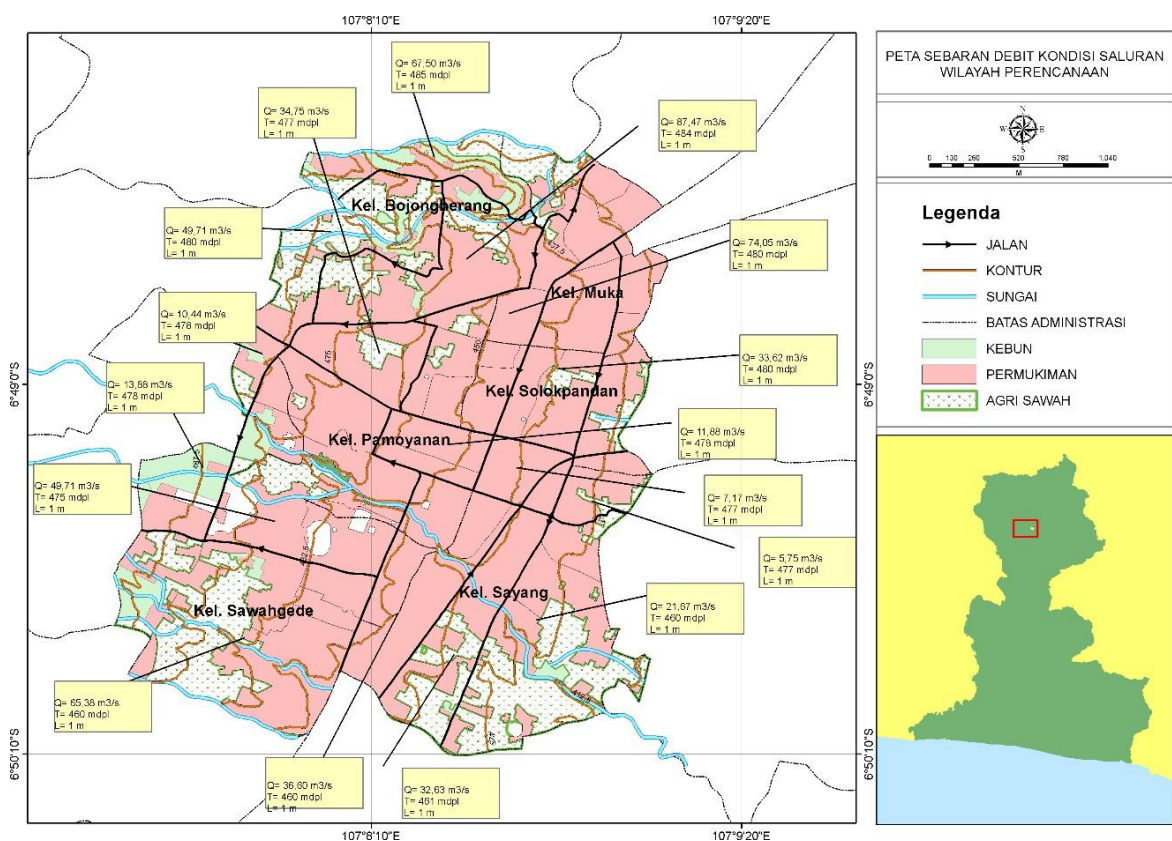
Seperti ditunjukkan **Gambar 4**, banjir besar tahun 2023 di Kecamatan Cianjur berdampak signifikan pada enam kelurahan, yaitu Pamoyanan, Bojongherang, Muka, Sawahgede, Sayang, dan Solokpandan. Kejadian banjir di Kelurahan Pamoyanan menyebabkan genangan di area pemukiman karena kurang optimalnya sistem drainase dalam mengalirkan air hujan. Kondisi ini diperburuk oleh tumpukan sedimen dan sampah yang menyumbat saluran, sehingga air tidak dapat mengalir dengan baik. Sementara itu, Kelurahan Bojongherang dan Muka dengan kondisi padat penduduk, mengalami keterbatasan kapasitas saluran drainase sehingga terjadi genangan di fasilitas umum dan jalan utama. Kemudian di Kelurahan Sawahgede dan Kelurahan Sayang menghadapi tantangan serius akibat konversi lahan hijau menjadi kawasan permukiman dan komersial yang mengakibatkan berkurangnya area resapan air secara drastis, sehingga berpotensi meningkatkan risiko banjir saat hujan lebat. Selanjutnya di Kelurahan Solokpandan yang didominasi lahan pertanian mengalami banjir dan erosi akibat limpasan air berlebih serta kurangnya integrasi antara saluran irigasi pertanian dan sistem drainase perkotaan.



Gambar 4. Peta kondisi saluran di Kecamatan Cianjur.

Evaluasi ini menunjukkan perlunya peningkatan infrastruktur drainase di semua kecamatan yang terdampak serta penerapan teknologi berbasis LID. Hal ini dilakukan untuk mengurangi volume limpasan permukaan dan memperkuat area resapan air. Upaya mitigasi banjir yang lebih komprehensif harus mencakup tata kelola ruang yang lebih baik, pemeliharaan rutin saluran drainase, dan peningkatan area resapan di kawasan perkotaan maupun lahan pertanian. Dalam rangka mendukung evaluasi dan perencanaan tersebut, seperti telah diinformasikan pada metodologi dilakukan pembagian *catchment* area dimulai dengan mengidentifikasi batas wilayah tangkapan berdasarkan data topografi, kemudian membaginya menjadi *sub-catchment* yang lebih kecil sesuai dengan kemiringan dan penggunaan lahan. Setiap *sub-catchment* di-input dengan parameter luas, kemiringan, persentase kedap air, dan panjang jalur aliran. Aliran antar *sub-catchment* dihubungkan melalui *node* dan *link* yang merepresentasikan titik dan jalur aliran. Setelah *input* data, kalibrasi dilakukan untuk memastikan hasil simulasi mencerminkan kondisi nyata, sehingga dapat digunakan untuk evaluasi dan perencanaan pengelolaan limpasan yang akurat.

Pada **Gambar 5**, skenario 1 tanpa penerapan LID menunjukkan debit limpasan terbesar tercatat di wilayah Kelurahan Bojongherang, yang merupakan area dengan kepadatan penduduk tinggi, yaitu mencapai 87,47 m³/s. Besarnya debit tersebut mencerminkan tingginya beban pada sistem drainase, yang dipengaruhi oleh kapasitas saluran yang terbatas sehingga tidak mampu menampung limpasan dari area padat aktivitas dan luas daerah aliran. Luas wilayah aliran dan tingginya intensitas aktivitas penduduk, serta limpasan permukaan yang besar, menyebabkan saluran drainase tidak optimal dalam mengalirkan debit air. Kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya genangan dan banjir, terutama saat curah hujan tinggi. Sebaliknya, debit terkecil tercatat di wilayah Kelurahan Sayang, dengan besaran 5,75 m³/s. Hal ini terjadi karena daerah tersebut merupakan ruang terbuka hijau, yang memungkinkan penyerapan air lebih optimal, sehingga volume limpasan yang dihasilkan pun jauh lebih rendah. Kondisi ini menggambarkan pentingnya ruang terbuka hijau dalam mendukung sistem drainase dan mengurangi potensi banjir di area permukiman padat penduduk.



Gambar 5. Sebaran debit di Kecamatan Cianjur.

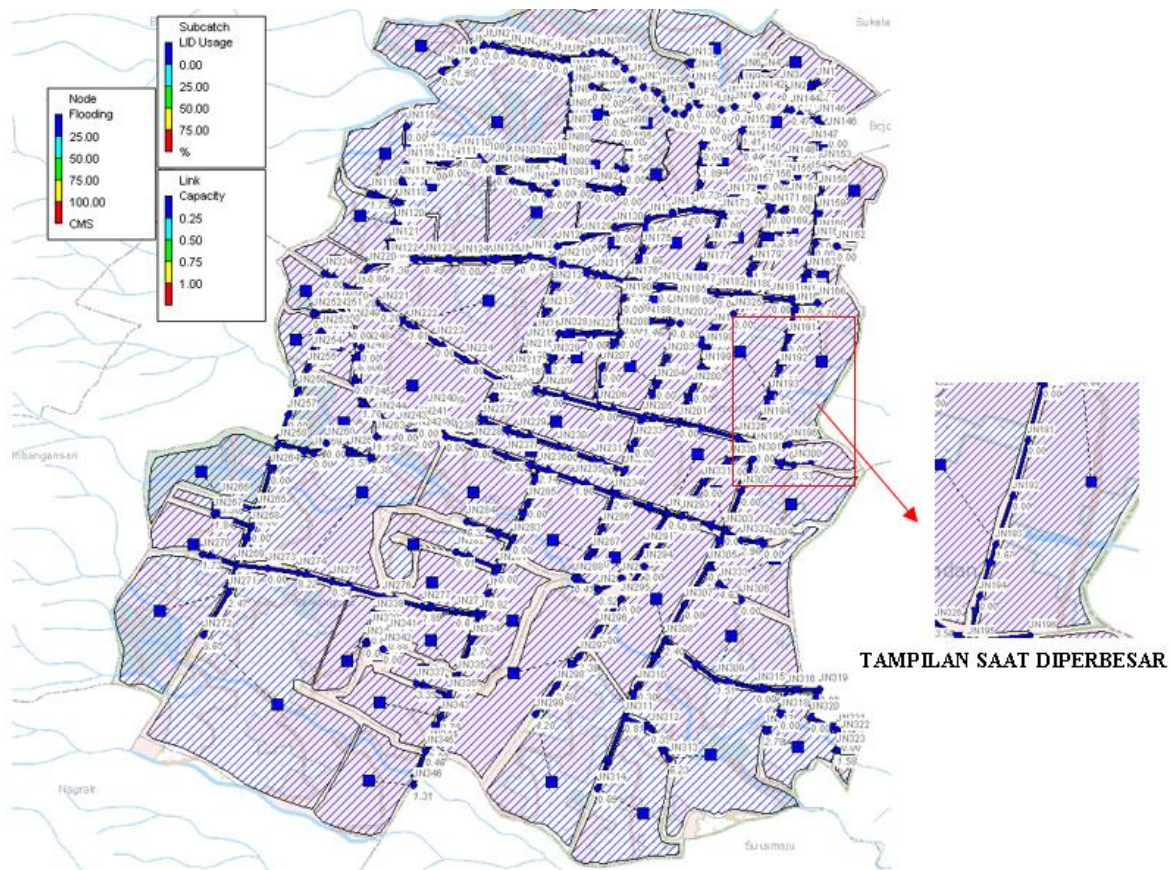
3.4. Skenario 2 dan 3 model Low Impact Development di Kecamatan Cianjur

Perencanaan LID berfokus pada pengelolaan air hujan menggunakan infrastruktur hijau serta ruang terbuka hijau, sehingga jumlah limpasan dapat dikurangi dengan adanya upaya penampungan dan pemanfaatan air hujan. Pada penelitian ini setiap skenario akan dianalisis dan dibandingkan berdasarkan volume limpasan yang dihasilkan, di mana skenario yang paling efektif akan diterapkan dalam perencanaan sistem drainase di Kecamatan Cianjur.

Pada skenario ke-2 digunakan *rain barrel* sesuai penerapan konsep LID untuk mengurangi limpasan permukaan di kawasan padat dengan lahan terbatas seperti Kelurahan Bojongherang. *Rain barrel* atau tong penampung air hujan ditempatkan di berbagai titik strategis (di dekat bangunan permukiman) untuk mengumpulkan air hujan yang dapat digunakan kembali seperti untuk menyiram tanaman. Pada skenario ke-3, penerapan *rain barrel* dikombinasikan dengan kolam retensi berfungsi untuk menampung air hujan dalam kuantitas yang cukup besar. Melalui infrastruktur ini, limpasan permukaan ke sistem drainase atau lahan sekitar dapat dikendalikan dan pelepasan air di *outlet* dapat dilakukan perlahan (Sururi dan Fadlurrohman 2024).

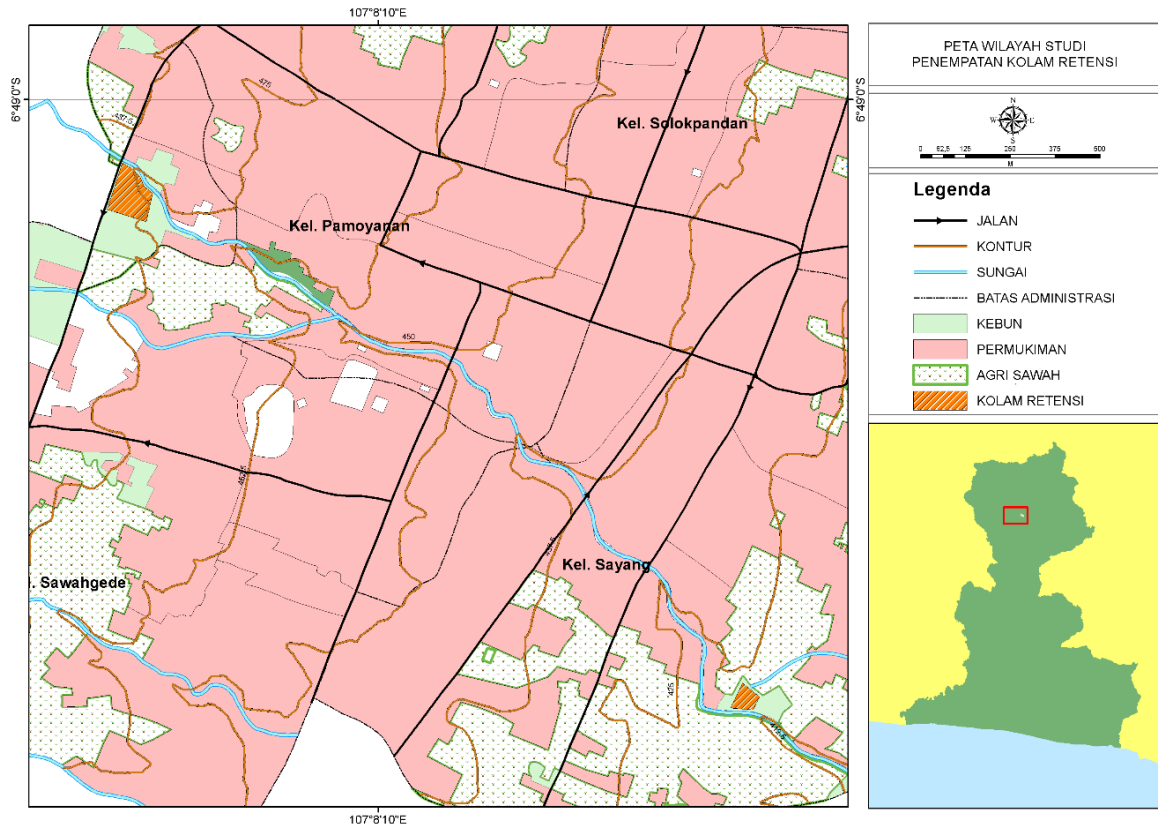
Pada skenario 2 dan 3, saluran drainase yang dirancang adalah berupa saluran terbuka dengan material beton yang ditetapkan memiliki nilai kekasaran Manning sebesar 0,011. Dimensi saluran pada jalan lokal ditetapkan sebesar 0,4 m x 0,5 m, sedangkan untuk jalan arteri ukurannya ditingkatkan menjadi 1 m x 1 m. Peningkatan dimensi bertujuan untuk menampung seluruh limpasan yang berasal dari jalan lokal, memastikan bahwa aliran air dapat mengalir dengan lancar menuju sungai tanpa menyebabkan genangan di sepanjang jalan arteri.

Efektivitas dari sistem drainase yang direncanakan dikaji dengan simulasi menggunakan perangkat lunak SWMM 5.2 yang ditampilkan dalam bentuk warna pada setiap *node*, sehingga memudahkan penilaian kondisi aliran. *Node* biru mengindikasikan tidak adanya luapan dan saluran drainase berfungsi dengan baik, sedangkan *node* merah mengindikasikan potensi luapan dapat terjadi. Berdasarkan hasil simulasi (**Gambar 6**), semua *node* menunjukkan warna biru setelah pengaliran limpasan air selama 6 jam. Dengan demikian, sistem drainase yang direncanakan efektif dalam mengelola aliran air tanpa menghadapi masalah luapan/ancaman banjir.



Gambar 6. Hasil simulasi menggunakan *software* SWMM 5.2.

Berdasarkan hasil simulasi pada **Gambar 6**, penggunaan *rain barrel* sebagai komponen LID dapat mengurangi jumlah limpasan air hujan yang mengalir menuju sungai sebanyak 1.429,98 m³ atau 16,35% dari total limpasan air hujan yang dihasilkan. Jumlah tersebut masih cukup besar dan dapat menjadi potensi banjir. Oleh karena itu, dilanjutkan menggunakan skenario ke-3, yaitu dengan penambahan kolam retensi. Kolam retensi yang akan ditambahkan pada skenario ke-3 berjumlah 2 (dua) unit, dengan kapasitas 3.600 m³/unit. Masing-masing kolam retensi akan ditempatkan pada bagian hulu dan hilir sungai Cisokan seperti ditampilkan pada **Gambar 7**.

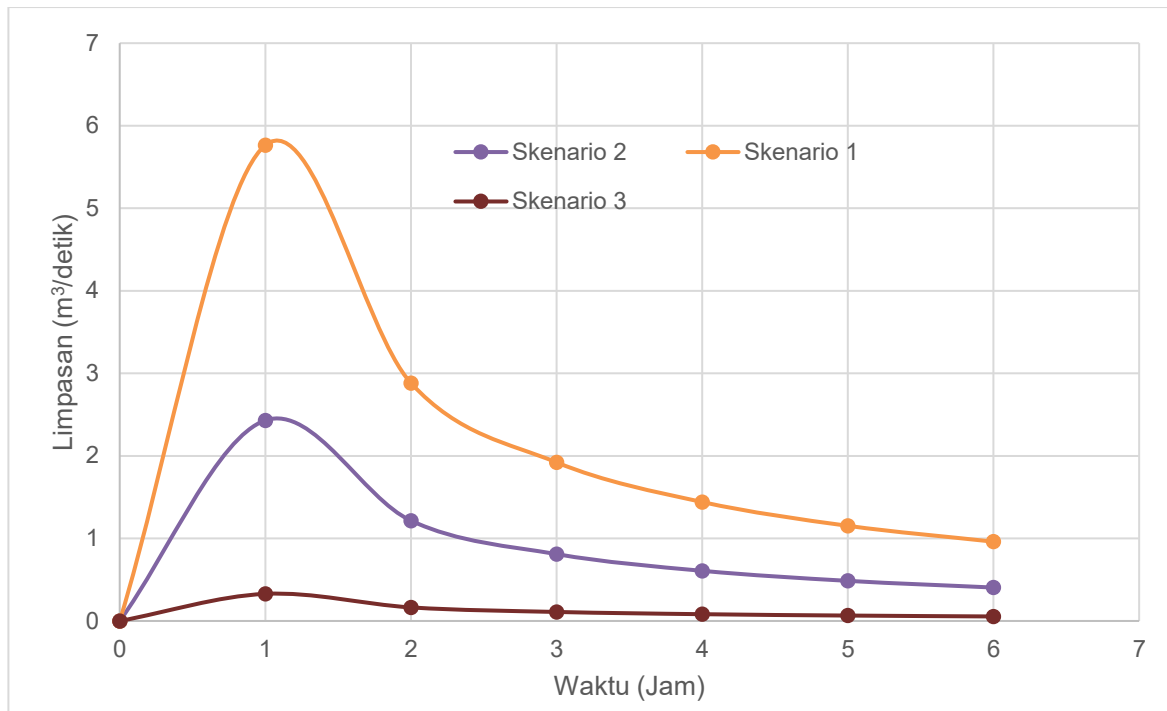


Gambar 7. Lokasi perencanaan kolam retensi.

Berdasarkan hasil simulasi penggunaan *rain barrel* dan 2 unit kolam retensi, jumlah limpasan air hujan yang dapat dikelola sebanyak 8.629,98 m³/hari atau 98,65% dari total limpasan air hujan yang dihasilkan, sehingga jumlah limpasan air hujan yang akan mengalir ke sungai Cisokan sebanyak 118,28 m³/hari. Pengurangan sebesar 98,65% ini menunjukkan bahwa skenario pengelolaan limpasan air hujan yang mengombinasikan *rain barrel* dan kolam retensi sangat efektif dalam mengurangi risiko genangan dan banjir di wilayah tersebut. Selanjutnya, hasil simulasi dan efektivitas pengelolaan limpasan air hujan dari ketiga skenario tersebut akan dibandingkan pada **Tabel 4** berikut dan diilustrasikan pada **Gambar 8**.

Tabel 4. Curah hujan maksimum pada setiap stasiun klimatologi.

Skenario	Debit Limpasan Air Hujan (m ³ /hari)		Efisiensi Pengurangan (%)
	Awal	Akhir	
1	8.748,26	8.748,26	0,00
2	8.748,26	7.318,28	16,35
3	8.748,26	118,28	98,65



Gambar 8. Hidrograf jumlah limpasan per satuan waktu.

Berdasarkan **Gambar 8** di atas, dapat dilihat bahwa skenario ke-3 dalam pengelolaan limpasan air hujan yang memanfaatkan pendekatan LID berupa *rain barrel* dan kolam retensi, dapat mengurangi debit limpasan puncak hingga 98,65%. Sedangkan pengelolaan limpasan air hujan tanpa memanfaatkan pendekatan LID, menghasilkan debit puncak yang sangat tinggi dan dapat menjadi potensi terjadinya banjir.

Mengacu pada hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa melalui respons dengan pendekatan LID ini baik skenario 2 dan 3, tekanan pada sistem drainase di Kelurahan Bojongherang dapat dikurangi, dan potensi banjir dapat diminimalkan secara signifikan. Selain itu, pelestarian ruang terbuka hijau di wilayah seperti Kelurahan Sayang juga penting untuk menjaga efektivitas area resapan alami, sehingga mengoptimalkan kapasitas drainase alami dan mengurangi risiko limpasan berlebih.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengkajian terhadap perencanaan sistem drainase di Kecamatan Cianjur, diketahui bahwa jumlah limpasan rata-rata di Kecamatan Cianjur selama periode hujan 6 jam tercatat sebesar 8.748,26 m³/s. Angka ini menunjukkan besarnya volume air yang harus ditangani oleh sistem drainase dalam periode tersebut dan memberikan gambaran atas kondisi aktual di lapangan. Efektivitas skenario ketiga yaitu kombinasi penerapan *rain barrel* dan kolam retensi, terbukti paling efektif untuk diterapkan sebagai metode pengelolaan limpasan di Kecamatan Cianjur. Melalui skenario ini, limpasan dapat berkurang secara signifikan dari 8.748,26 m³/s menjadi 118,28 m³/s atau berkisar 98,65% dan telah sesuai dengan hasil perencanaan.

Sebagai tindak lanjut dari perencanaan dan kajian sistem drainase berkelanjutan di Kecamatan Cianjur, disarankan agar dilakukan studi lebih mendalam mengenai penerapan infrastruktur hijau tambahan. Infrastruktur hijau seperti *rain garden*, *trottoar permeabel*, dan *bio-retensi* dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi permasalahan drainase, terutama di area dengan tingkat kedap air yang tinggi, seperti kawasan pemukiman dan jalan nasional. Selain itu, kajian mendalam mengenai pengelolaan sampah di wilayah perkotaan Kecamatan Cianjur juga sangat diperlukan. Pengelolaan sampah yang efektif dapat mendukung peningkatan kinerja sistem drainase yang telah direncanakan dengan mengurangi potensi penyumbatan dan meningkatkan kapasitas penyerapan air.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abi Aad MP, Suidan MT and Shuster WD. 2010. Modeling techniques of best management practices: Rain barrels and rain gardens using EPA SWMM-5. *Journal of hydrologic engineering* 15(6):434-443.
- Ahiablame LM, Engel BA and Chaubey I. 2012. Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. *Water, Air, & Soil Pollution* 223:4253-4273.
- Ahiablame LM, Engel BA and Chaubey I. 2013. Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. *Journal of Environmental Management* 119:151-161.

- [BMKG] Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. 2023. Data curah hujan wilayah Kabupaten Cianjur. BMKG. Jakarta.
- [BPBD] Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Cianjur. 2023. Laporan kejadian banjir di Daerah Aliran Sungai Cisokan Tahun 2023. BPBD Kabupaten Cianjur. Cianjur.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Cianjur. 2023. Kabupaten Cianjur dalam Angka 2023. BPS Kabupaten Cianjur. Cianjur.
- Bai Y, Zhao N, Zhang R and Zeng X. 2018. Storm water management of low impact development in urban areas based on SWMM. *Water* 11(1):33.
- Burns MJ, Fletcher TD, Walsh CJ, Ladson AR and Hatt BE. 2012. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landscape and urban planning* 105(3):230-240.
- [DID Malaysia] Department of Irrigation and Drainage Malaysia. 2010. *Urban Stormwater Management Manual for Malaysia*. DID Malaysia. Kuala Lumpur.
- Eckart K, McPhee Z and Bolisetti T. 2017. Performance and implementation of low impact development - a review. *Science of the total environment* 607:413-432.
- GebreEgziabher M and Demissie, Y. 2020. Modeling urban flood inundation and recession impacted by manholes. *Water* 12(4):1160.
- Haryono A, Setiawan R and Putri DR. 2022. Penataan ruang perkotaan dan dampaknya terhadap kualitas lingkungan dan risiko banjir. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota* 33(2):145-158.
- Ibrahim A and Nugraha R. 2023. Pengaruh perencanaan tata ruang dan sistem drainase terhadap kejadian banjir perkotaan. *Jurnal Teknik Lingkungan* 29(1): 65-74.
- Liu Y, Bralts VF and Engel, B. A. 2015. Evaluating the effectiveness of management practices on hydrology and water quality at watershed scale with a rainfall-runoff model. *Science of the total environment* 511:298-308.
- Marwati S, Pratomo D and Lestari E. 2022. Efektivitas Low Impact Development dalam meningkatkan infiltrasi dan mengurangi limpasan permukaan. *Jurnal Sumber Daya Air* 18(1):45-56.
- Pemerintah Kabupaten Cianjur. 2021. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kabupaten Cianjur Tahun 2021-2025. Bappeda Kabupaten Cianjur. Cianjur.

- Permanasari E, Wijaya M, Feliren V, Khikmah F, Lechner A, Virani A and Saputra R. 2025. Enhancing urban resilience through integrated flood policy and planning: a mixed-methods evaluation of retention ponds for flood mitigation in South Bandung. *AQUA-Water Infrastructure, Ecosystems and Society* 72(2):267-282.
- Pratama A and Nugroho B. 2021. Pengaruh curah hujan dan perubahan penggunaan lahan terhadap kejadian banjir di wilayah perkotaan. *Jurnal Teknik Lingkungan* 27(1):45-54.
- [PPKSDA] Pusat Pengembangan Kompetensi Sumber Daya Air dan Permukiman. 2020. Modul 5: Pengukuran Hidrologi. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung.
- Rossman LA and Simon MA. 2022. Storm water management model user's manual version 5.2. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- Sururi MR and Fadlurrohman F. 2024. Perencanaan Sistem Drainase Berkelanjutan di Daerah Aliran Sungai Cinambo dengan Konsep Low Impact Development. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 22(6):1626-1636.
- Syafitri N and Wibowo A. 2021. Penerapan konsep Low Impact Development dalam pengelolaan limpasan air hujan di kawasan perkotaan. *Jurnal Teknik Lingkungan* 27(2):89-98.
- Soemarto CD. 1987. Hidrologi teknik. Erlangga. Jakarta.
- Susanti R and Widodo T. 2022. Pengaruh pertumbuhan penduduk terhadap kinerja sistem drainase perkotaan. *Jurnal Teknik Lingkungan* 28(2):101-110.
- Te Chow V, Maidment DR and Mays LW. 2010. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Education.
- Walsh TC, Pomeroy CA and Burian SJ. 2014. Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-arid watershed. *Journal of hydrology* 508:240-253.
- Ward RC and Robinson M. 2000. *Principles of Hydrology*. McGraw-Hill. Maidenhead.