

# Perencanaan Sistem Drainase Berkelanjutan di Daerah Aliran Sungai Cinambo dengan Konsep *Low Impact Development*

Mohamad Rangga Sururi<sup>1</sup> dan Fauzi Fadlurrohman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Indonesia; email: [Fauzyfadlurahman@gmail.com](mailto:Fauzyfadlurahman@gmail.com)

## ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) Cinambo terletak di bagian timur Kota Bandung, dengan luas wilayah 17,64 km<sup>2</sup>. Perkembangan kota telah menyebabkan perubahan tata guna lahan di DAS Cinambo, yang mengakibatkan terjadinya banjir akibat peningkatan limpasan air. Perencanaan sistem drainase model *low impact development* (LID) dilakukan untuk mengurangi potensi banjir dengan cara menampung dan memanfaatkan air hujan. Tujuan studi ini adalah untuk merencanakan sistem drainase dengan model LID dengan simulasi *storm water management* model (SWMM) 5.2 menggunakan tiga skenario pengurangan limpasan air, yaitu: (1) sistem drainase tanpa model LID, (2) sistem drainase dengan sistem pemanenan air hujan (PAH), dan (3) sistem drainase dengan sistem PAH dan kolam retensi. Setiap skenario akan dibandingkan dan skenario dengan pengurangan limpasan tertinggi digunakan dalam perencanaan sistem drainase. Berdasarkan hasil kajian, DAS Cinambo menghasilkan rata-rata limpasan sebesar 24.126,85 m<sup>3</sup>. Hasil simulasi menunjukkan skenario ketiga mengurangi 72% limpasan air yang masuk ke saluran drainase menjadi 6.541,48 m<sup>3</sup>. Perencanaan skenario ketiga terdiri dari saluran drainase terbuka dengan dimensi 0,4x0,5 meter di jalan lokal dan 1 x1 meter di jalan arteri, disertai PAH sebanyak 10.605 buah berkapasitas 1 m<sup>3</sup>, dan tiga buah kolam retensi di Kecamatan Gedebage berdimensi 40x30x3 meter berkapasitas 3.600 m<sup>3</sup>.

**Kata kunci:** Drainase, SWMM, LID, Pemanenan Air Hujan, Kolam Retensi

## ABSTRACT

The Cinambo Watershed is located in the eastern part of Bandung City, with an area of 17.64 km<sup>2</sup>. Urban development has led to land use changes in the Cinambo watershed, resulting in flooding due to increased water runoff. Low impact development (LID) model drainage system planning is carried out to reduce the potential for flooding by collecting and utilizing rainwater. The purpose of this study is to plan the drainage system with the LID model with the storm water management model (SWMM) 5.2 simulation using three water runoff reduction scenarios, namely: (1) drainage system without LID model, (2) drainage system with rainwater harvesting (PAH) system, and (3) drainage system with PAH system and retention pond. Each scenario will be compared and the scenario with the highest runoff reduction is used in the drainage system planning. Based on the study results, the Cinambo watershed generates an average runoff of 24,126.85 m<sup>3</sup>. The simulation results show that the third scenario reduces 72% of the water runoff entering the drainage channel to 6,541.48 m<sup>3</sup>. The third scenario planning consists of open drainage channels with dimensions of 0.4x0.5 meters on local roads and 1 x1 meters on arterial roads, accompanied by 10,605 PAHs with a capacity of 1 m<sup>3</sup>, and three retention ponds in Gedebage District with dimensions of 40x30x3 meters with a capacity of 3,600 m<sup>3</sup>.

**Keyword:** Drainage, SWMM, LID, Rainwater Harvesting, Retention Ponds

**Citation:** Sururi, M. R., dan Fadlurrohman, F. (2024). Perencanaan Sistem Drainase Berkelanjutan di Daerah Aliran Sungai Cinambo dengan Konsep *Low Impact Development*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 22(6), 1626-1636, doi:10.14710/jil.22.6.1626-1636

## 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan arus perpindahan penduduk dari kota kecil ke kota besar dalam bentuk urbanisasi, sangat berdampak pada tata guna lahan (Mohamad Rangga Sururi dkk., 2023). Sebagai contoh, jumlah populasi Kota Bandung tahun 2020 adalah 2.444.160 jiwa dan mengalami peningkatan pada tahun 2021 menjadi 2.461.533 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2023). Kondisi ini juga mempengaruhi kebutuhan lahan perumahan di Kota Bandung.

Peningkatan jumlah penduduk di Kota Bandung akibat faktor alami (kelahiran), merupakan pemicu (*driving force*) dan menimbulkan tekanan berupa kebutuhan lahan pemukiman (Mila Dirgawati dkk., 2023). Hal tersebut akan menyebabkan alih fungsi lahan yang berdampak pada peningkatan limpasan air menuju saluran drainase (Dinas Lingkungan Hidup, 2022). Peningkatan limpasan tersebut dipicu oleh perubahan nilai koefisien limpasan (*run off*) akibat alih fungsi lahan, yang berdampak pada penurunan

kemampuan daya serap air dan terjadinya banjir (Sarah Helena Abighail dkk., 2022), serta penurunan kualitas air sungai (Mila Dirgawati dkk., 2023). Selain faktor yang telah disebutkan, masalah banjir yang terjadi juga disebabkan oleh kapasitas saluran yang buruk dan jaringan saluran drainase yang tidak terkoneksi, bahkan dipenuhi sampah. Kondisi tersebut akan sulit untuk mengalirkan limpasan air menuju sistem drainase dan memperparah banjir yang terjadi (Yiran Bai dkk., 2018).

Kota Bandung merupakan sebuah kota yang terletak pada suatu cekungan dan dikelilingi pegunungan yang menjadi hulu sejumlah sungai yang melintasi wilayah kota. Sungai-sungai tersebut menerima dan mengalirkan limpasan air dari area sekitarnya, sehingga membentuk sebuah daerah aliran sungai (DAS). Tersebarannya sejumlah DAS di setiap wilayah, menjadikan Kota Bandung memiliki beragam sungai yang dapat dimanfaatkan. Namun seiring berkembangnya kota, berdampak terhadap perubahan tataguna lahan di sekitar sungai. Kondisi tersebut memicu kenaikan limpasan air hujan, sehingga sungai mengalami luapan dan terjadi banjir. Salah satu dampak negatif dari pengembangan kota adalah banjir di bagian hilir DAS Cinambo, tepatnya di Kecamatan Gedebage, Cinambo, dan Kecamatan Ujung Berung. Banjir yang terjadi diakibatkan oleh kenaikan kuantitas limpasan air hujan yang disebabkan oleh perubahan tataguna lahan menjadi kedap air. Berdasarkan pencatatan kejadian banjir oleh BPS Kota Bandung sejak tahun 2011, kejadian banjir di kawasan hilir DAS ini terjadi minimal sekali dalam setahun (Badan Pusat Statistik, 2011-2020). Bahkan pada tahun 2021, tercatat telah terjadi banjir sebanyak 7 kali di Kecamatan Gedebage (Badan Pusat Statistik, 2023). Ketinggian banjirnya pun cukup bervariasi, mulai 30 cm hingga 100 cm (Anik Sarminingsih, 2019).

Upaya pengendalian banjir sebagai bagian dari pengelolaan air hujan ini menjadi sebuah tantangan dalam perencanaan dan pengembangan area perkotaan. Salah satu upaya pengelolaan air hujan yang dapat dilakukan adalah merencanakan pengelolaan yang berbasis *water sensitive urban design* (WSUD). WSUD adalah teori atau metode perancangan dan pengelolaan perkotaan yang mempromosikan ekosistem yang sehat melalui pengelolaan air yang efektif, memperlakukan semua aliran air sebagai sumber daya, mendorong daur ulang air, dan mengurangi efek negatif curah hujan baik dari segi kuantitas maupun kualitas. (Xuli Meng, 2022). Gagasan WSUD merupakan pendekatan baru yang sering digunakan untuk mencoba memulihkan siklus hidrologi, baik itu mitigasi limpasan curah hujan maupun restorasi air tanah. (Kaan Ozgun dkk., 2017). Oleh karena itu, pendekatan sumber daya air untuk perencanaan kota, khususnya kering dan semi-kering, dapat ditangani oleh konsep WSUD (Hoda Sharifian dkk., 2022). Dalam pengelolaan air perkotaan, WSUD menitikberatkan pada tiga dasar, yaitu: pengendalian banjir, pengendalian debit

limpasan, dan pemanfaatan air hujan (Sara Dorothy Lloyd dkk., 2002).

Bentuk pengelolaan air perkotaan berbasis WSUD yang dapat diterapkan adalah perencanaan sistem drainase berkelanjutan dengan model *low impact development* (LID). Model LID merupakan sebuah teknik untuk memudahkan pengumpulan dan pemanfaatan air hujan sebagai pengendalian limpasan perkotaan (Xuli Meng dan Steven Kenway, 2018), serta pengendalian polutan di atau dekat sumber limpasan (Abdul Razaq Rezaei dkk., 2021). Model LID yang banyak diterapkan, yaitu: sistem bioretensi, sengkedan vegetasi, kebun hujan, trotoar permeabel, dan atap hijau. Penggunaan model LID sebagai skenario pengelolaan air hujan banyak diterapkan dan mampu mengurangi limpasan air hujan dengan menyerapkan ke dalam tanah, menyimpannya ketika berlebih dan menyalurkannya air ketika dibutuhkan (Yiran Bai dkk., 2018). Debussk (2011), menerangkan bahwa penggunaan bioretensi mampu menurunkan jumlah limpasan sebanyak 97% hingga 99%. Ahiablame dkk (2013), memaparkan bahwa tong penampung hujan dan trotoar permeabel mampu mengurangi limpasan air sebanyak 2%-12% yang diuji coba pada DAS Little Eagle Creek dan Little Buck Creek, Indianapolis. Chen dkk (2021), menerangkan bahwa penggunaan trotoar permeabel dapat mengurangi limpasan lebih dari 14%. Simulasi lain yang dilakukan oleh Syofyan dkk (2020), memperlihatkan bahwa penggunaan 1 sumbu resapan, 2 lubang biopori, dan 4 kolam retensi dapat mengurangi limpasan DAS Batang Kuranji sebanyak 15,3%. Secara garis besar, penerapan WSUD dalam pengelolaan air perkotaan dengan model LID ini dapat mengurangi volume dan debit puncak limpasan, menaikkan evapotranspirasi dan infiltrasi, dan menjadi alternatif sumber air (Xuli Meng dan Steven Kenway, 2018).

Khusus di Kota Bandung sendiri, belum banyak studi terkait penerapan LID dan menjabarkan efisiensinya dalam pengelolaan limpasan air hujan. Sejumlah upaya pengelolaan limpasan air hujan telah dilakukan oleh Pemerintah Kota Bandung, yaitu peningkatan kapasitas saluran drainase, penambahan saluran, dan peninggian jaringan jalan, namun upaya tersebut kurang berhasil sehingga berdampak terjadinya banjir akibat sungai tidak mampu menerima limpasan air dalam jumlah tinggi (Anik Sarminingsih, 2019). Dengan kurang maksimalnya upaya tersebut, akan sangat baik untuk menerapkan konsep LID guna mencapai *zero runoff* di Kota Bandung, khususnya di DAS Cinambo.

Tujuan dari pengkajian ini, yaitu merencanakan sistem drainase berkelanjutan menggunakan model LID yang disimulasikan pada SWMM 5.2. Studi ini merencanakan tiga skenario pengurangan limpasan air, yaitu: (1) sistem drainase tanpa model LID, (2) sistem drainase dengan model LID berupa sistem PAH, dan (3) sistem drainase dengan model LID berupa sistem PAH dan kolam retensi. Masing-masing skenario akan dibandingkan berdasarkan jumlah

pengurangan limpasan air. Skenario pengurangan limpasan terpilih akan diterapkan pada daerah genangan di DAS Cinambo sebagai bentuk penerapan WSUD.

## 2. METODE PENELITIAN

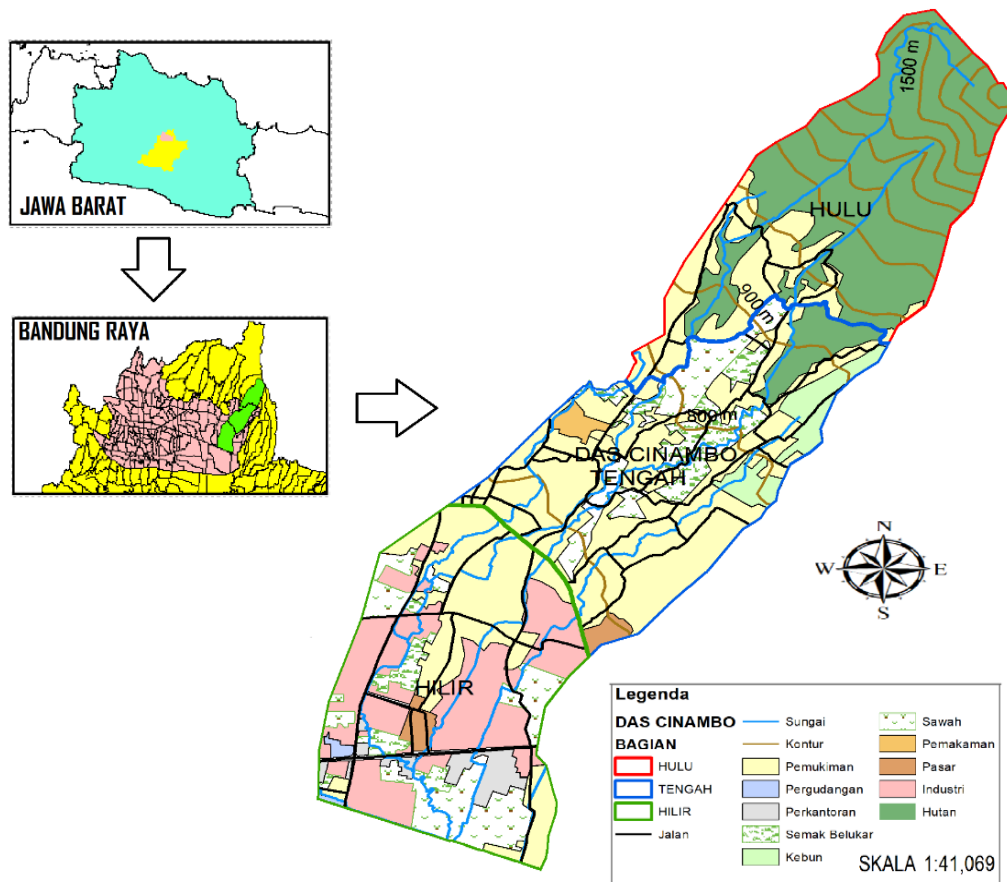
### 2.1. Wilayah Studi

Konsep sistem drainase berkelanjutan akan direncanakan dan dikembangkan untuk kawasan Daerah aliran sungai (DAS) Cinambo. DAS Cinambo merupakan sebuah sub DAS Citarik yang berada di DAS Citarum bagian hulu dengan luas area sebesar 17,64 km<sup>2</sup>. Berdasarkan data topografi, pada google earth, kawasan DAS Cinambo bagian ini memiliki elevasi 663-1545 meter di atas permukaan laut yang merupakan rangkaian dataran tinggi ke dataran rendah. Pada proses perencanaan, area DAS Cinambo dibagi menjadi tiga sub area seperti pada **Gambar 1**.

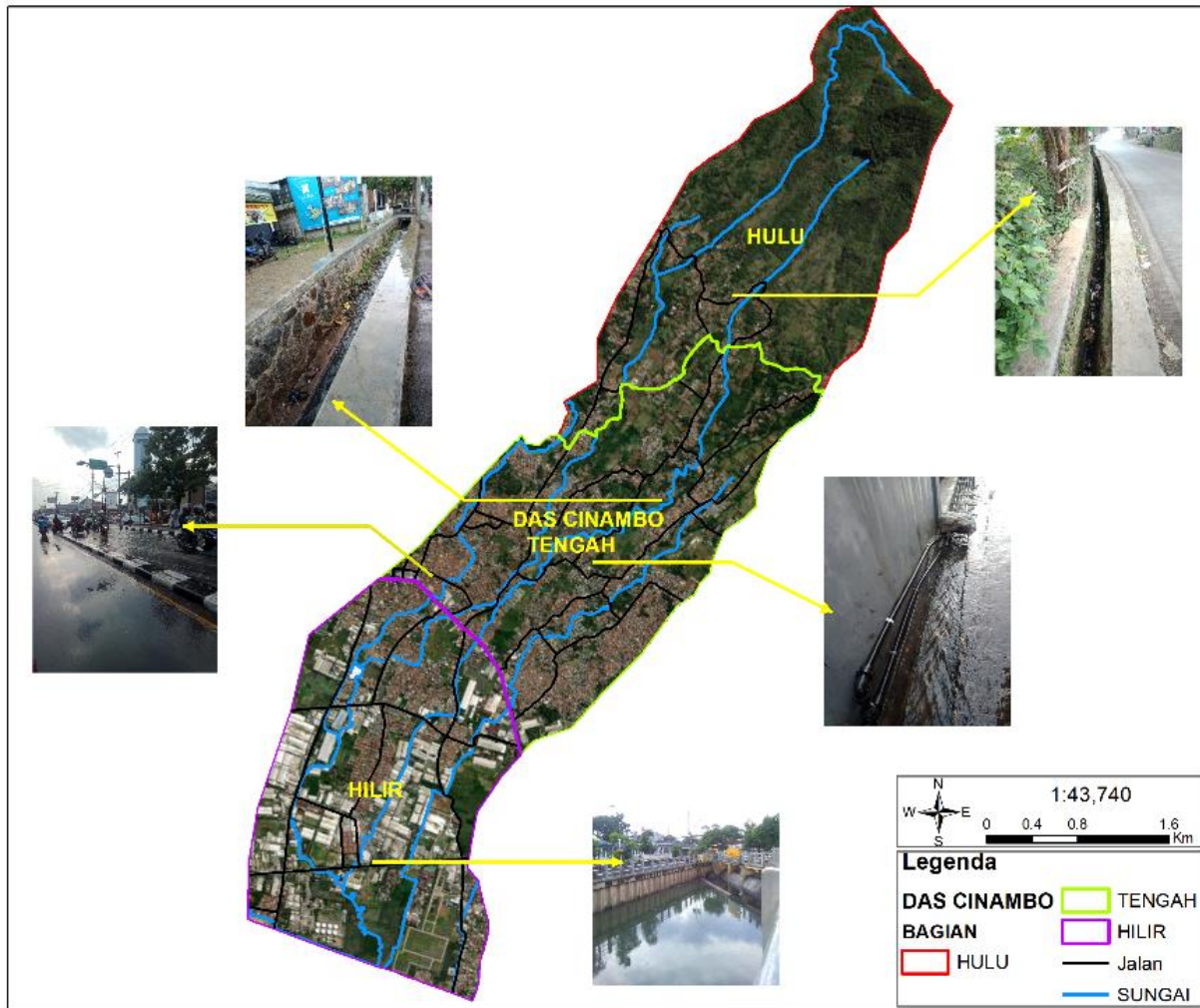
Bagian hulu mencakup wilayah Kecamatan Cilengkrang yang merupakan wilayah Kab. Bandung. Sedangkan bagian tengah dan hilir mencakup wilayah Kecamatan Cibiru, Ujung Berung, Kecamatan Cinambo, Panyileukan, dan Kecamatan Gedebage yang merupakan wilayah Kota Bandung. DAS Cinambo sendiri memiliki beragam tataguna lahan yang tersebar dari bagian hulu hingga hilir. Penggunaan lahan tersebut teridentifikasi

berdasarkan hasil digitasi komputer menggunakan *software arcgis 10.1*, dengan data dasar yang bersumber dari *GIS User Communit dan Ina Geospasial*. Penggunaan lahan pada bagian hulu, didominasi oleh hutan (437,65 Ha) yang merupakan kawasan resapan dan tidak dikembangkan sebagai pemukiman (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Bandung, 2016).

Pada bagian tengah, didominasi oleh pemukiman (368,67 Ha), semak belukar (63,75 Ha), perkebunan (49,71 Ha), dan persawahan (38,90 Ha). Sedangkan pada bagian hilir, didominasi oleh industri (1.127,09 Ha), pergudangan (4,90 Ha), perdagangan (20,95 Ha), persawahan (86,43 Ha), pemukiman (374,67 Ha), dan perkantoran (28,56 Ha). Khusus wilayah Kecamatan Gedebage yang merupakan bagian hilir DAS Cinambo, akan dikembangkan menjadi pusat primer kedua dengan menitikberatkan pada pengembangan kawasan pemukiman, perdagangan dan jasa, serta pusat pemerintahan yang sesuai dengan RTRW Kota Bandung tahun 2011-2031 yang diperbaharui pada RTRW 2022-2042 (Mohammad Revi Rasika dkk., 2023). Besarnya persentase wilayah terbangun pada bagian tengah dan hilir DAS Cinambo dan dimulainya pengembangan wilayah oleh pemerintah daerah, menjadikan fokus studi ini dilakukan pada kedua wilayah ini.



**Gambar 1.** Peta DAS Cinambo



Gambar 2. Sebaran Kondisi Eksisting di DAS Cinambo

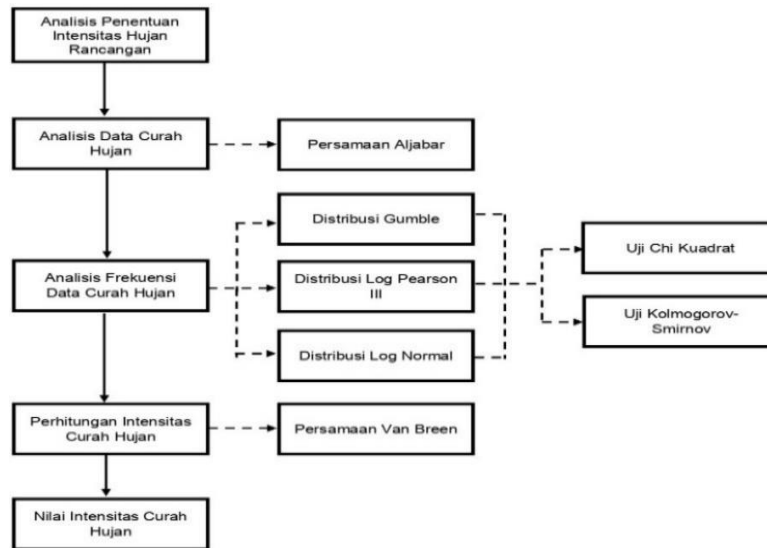
Perkembangan wilayah yang tengah dilakukan, tentunya akan berdampak pada kuantitas limpasan air hujan. Peningkatan kuantitas limpasan tersebut perlu dikontrol oleh sistem drainase yang baik dan terintegrasi. Namun berdasarkan hasil survei sistem drainase di DAS Cinambo, sistem drainase yang ada kurang terintegrasi, kurang terawat, dan memiliki ukuran yang beragam seperti pada Gambar 2. Tercatat dimensi saluran drainase yang tersedia sebagian besar berukuran 30 x 40 cm, ditemukan juga dimensi saluran yang berukuran 30 x 30 cm dan 50 x 50 cm. Pada saluran banyak ditemukan pendangkalan akibat sampah dan pasir pada dasar saluran yang menyebabkan luapan air. Kondisi menggenangnya air di DAS Cinambo tersebar di sejumlah titik, seperti Jl. Rumah Sakit, Jl. Soekarno-Hatta, Simpang Gedebage, Jl. Ujung Berung, dan Pasar Induk Gedebage (Badan Penelitian dan Pengembangan Kota Bandung, 2018).

## 2.2. Analisis Kondisi Wilayah Studi

Tahap ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kondisi wilayah DAS Cinambo terhadap kuantitas limpasan air sebagai dasar perencanaan sistem drainase. Kuantitas limpasan air saat hujan, dipengaruhi oleh tataguna lahan berdasarkan perubahan nilai koefisien limpasan (C). Proses analisis yang dilakukan, yaitu menganalisis pengaruh tataguna lahan terhadap perubahan nilai koefisien limpasan (C) yang dikaitkan dengan elevasi, lokasi genangan, dan kapasitas saluran drainase.

## 2.3. Analisis Penentuan Intensitas Hujan Rencana

Tahap ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan nilai intensitas hujan berdasarkan data curah hujan yang tersedia. Nilai intensitas hujan digunakan dalam menentukan dimensi saluran drainase yang akan direncanakan. Terdapat sejumlah tahap dalam analisis penentuan intensitas hujan seperti pada Gambar 3, yaitu: analisis data curah hujan, analisis frekuensi curah hujan, dan perhitungan intensitas hujan.



Gambar 3. Tahapan Analisis Penentuan Intensitas Hujan Rencana

**2.3.1. Analisis Data Curah Hujan**

Analisis data curah hujan merupakan sebuah tahap pengolahan data curah hujan berdasarkan ketersediaan data curah hujan yang dihimpun. Proses analisis meliputi penentuan pos curah hujan utama dan pembanding. Ketersediaan data yang kerap kali terbatas akibat tidak tercatat atau hilang, dapat dilakukan dengan pengisian data menggunakan persamaan aljabar. Persamaan aljabar didasarkan pada jumlah pos yang terbatas dan luas das kurang dari 500 km<sup>2</sup>. Persamaan yang digunakan, yaitu (Suripin, 2004):

$$\hat{P} = \frac{P1+P2+\dots+Pn}{n} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan P1, P2, ..., Pn adalah data curah hujan yang tercatat pada pos penakar dan n adalah banyaknya pos penakar hujan (Suripin, 2004).

**2.3.2. Analisis Frekuensi Data Curah Hujan**

Analisis frekuensi curah hujan bertujuan untuk mengetahui pengulangan nilai curah hujan yang disamai atau dilampaui pada suatu periode ulang. Analisis frekuensi erat kaitannya dengan frekuensi kejadian yang menerapkan probabilitas berdasarkan besarnya kejadian ekstrem di masa yang akan datang (Anik Sarminingsih dkk., 2022). Proses analisis menggunakan tiga distribusi, yaitu: distribusi gumbel, log Pearson III, dan distribusi log normal.

• **Distribusi Gumbel**

Konsep dasar yang dikembangkan oleh gumbel menunjukkan bahwa nilai ekstrem seperti terjadinya banjir, mempunyai fungsi distribusi yang eksponensial. Proses analisis dengan metode distribusi ini dapat dilakukan walau dengan jumlah data yang terbatas, dengan persamaan sebagai berikut (C.D. Soemarto, 1987):

$$X = \hat{X} + S \times K \dots\dots\dots(2)$$

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan Xbar adalah nilai rata-rata sampel, S adalah nilai simpangan baku sampel, K adalah nilai faktor probabilitas, Y<sub>Tr</sub> adalah nilai *reduced variate*

sebagai fungsi waktu balik, Y<sub>n</sub> adalah nilai *reduced mean* berdasarkan jumlah sampel, dan S<sub>n</sub> adalah nilai *reduced standard deviasi* yang juga berdasarkan jumlah sampel (C.D. Soemarto, 1987).

• **Distribusi Log Pearson III**

Merupakan salah satu metode distribusi yang dikembangkan oleh Pearson. Terdapat tiga parameter penting dalam distribusi Log Pearson III, yaitu: nilai rata-rata, simpangan baku dan koefisien kemencengan (C.D. Soemarto, 1987).

$$\log X_T = \log \hat{X} + K \times S \dots\dots\dots(4)$$

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

Dengan X<sub>T</sub> adalah nilai peluang hujan dengan periode ulang T, Xbar adalah nilai rata-rata data, S adalah nilai simpangan baku data, dan K adalah koefisien kemencengan (C.D. Soemarto, 1987).

• **Distribusi Log Normal**

Distribusi log normal merupakan hasil dari perubahan dari metode normal. Perubahan yang terjadi adalah nilai pada data diubah menjadi bentuk logaritma (Soewarno, 1995).

$$\log X = \widehat{\log X} + k \times \log S \dots\dots\dots(6)$$

Dengan Xbar adalah rata-rata nilai varian, S adalah nilai standar deviasi, dan K adalah nilai faktor frekuensi Log Normal (Soewarno, 1995).

Setelah dilakukan analisis frekuensi data menggunakan distribusi gumbel, log Pearson III, dan distribusi log normal, selanjutnya dilakukan pengujian frekuensi data. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Soewarno, 1995). Proses pengujian melibatkan dua jenis analisis, yaitu Chi kuadrat dan Kolmogorov-Smirnov.

• **Uji Chi Kuadrat**

Uji Chi kuadrat bertujuan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih sesuai dan mewakili distribusi statistik sampel yang dianalisis. Proses pengujian didasarkan pada nilai X<sup>2</sup> sama atau melebihi nilai chi kuadrat sebenarnya (X<sup>2</sup>) (Suripin, 2004):

$$X^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan parameter  $X^2$  adalah nilai chi kuadrat terhitung,  $O_i$  adalah jumlah nilai pengamatan pada tiap sub grup,  $E_i$  adalah jumlah nilai teoritis pada tiap sub grup, dan  $K$  adalah jumlah sub kelompok (Suripin, 2004).

- Uji Kolmogorov-Smirnov

Uji Kolmogorov-Smirnov merupakan sebuah analisis kecocokan distribusi peluang yang bersifat non-parametrik. Proses pengujian didasarkan pada nilai selisih terbesar ( $\Delta P$ ) yang lebih besar atau lebih kecil dari nilai kritis Kolmogorov-Smirnov pada persamaan berikut (Soewarno, 1995) :

$$\Delta P = P - P' \dots\dots\dots(8)$$

Dengan ( $\Delta P$ ) adalah selisih nilai peluang pengamatan dan nilai peluang teoritis,  $P$  adalah nilai peluang pengamatan dan  $P'$  adalah nilai peluang teoritis (Soewarno, 1995).

### 2.3.3. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Analisis intensitas hujan harian bertujuan untuk mengetahui ketinggian curah hujan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu. Penentuan intensitas curah hujan menggunakan metode Van breen, di mana metode ini mampu memperhitungkan durasi curah hujan yang terjadi selama 24 jam dengan persamaan berikut (Siti Amalia Fajriyah dan Eka Wardhani, 2020).

$$I = \frac{54R_T + 0,07R_T^2}{t_c + 0,3R_T} \dots\dots\dots(9)$$

Di mana  $I$  adalah nilai intensitas curah hujan (mm/menit),  $t_c$  adalah waktu konsentrasi (menit), dan  $R_T$  adalah curah hujan maksimum pada suatu periode ulang hujan (mm) (Siti Amalia Fajriyah dan Eka Wardhani, 2020). Nilai intensitas curah hujan yang telah dihitung akan dilihat hubungannya dengan durasi dan frekuensi hujan dalam bentuk kurva. Studi hubungan intensitas-durasi-frekuensi sangat bermanfaat dalam pengukuran efektivitas kinerja suatu sistem drainase (Aderita Mariana Takeleb dkk., 2022).

### 2.4. Skenario Perencanaan Sistem Drainase

Perencanaan sistem drainase pada DAS Cinambo ini direncanakan berdasarkan analisis hidrologi dan hidraulika. Sistem drainase yang direncanakan akan menggunakan konsep berkelanjutan dengan model LID. Prinsip model LID adalah dengan mengontrol air hujan melalui infrastruktur hijau dan ruang hijau sehingga memungkinkan untuk mengurangi jumlah limpasan dengan cara ditampung dan dimanfaatkan (K Eckart dkk., 2017). Sistem drainase yang direncanakan disusun berdasarkan tiga skenario pengurangan limpasan. Tiga skenario yang direncanakan, yaitu: (1) sistem drainase tanpa model LID, (2) sistem drainase dengan model LID berupa sistem PAH, dan (3) sistem drainase dengan model LID berupa sistem PAH dan kolam retensi. Masing-masing skenario akan dibandingkan berdasarkan

jumlah limpasan dan skenario terpilih akan diterapkan pada perencanaan sistem drainase di DAS Cinambo. Proses perbandingan ditampilkan dalam bentuk hidrograf volume limpasan berdasarkan simulasi SWMM 5.2. Penentuan volume limpasan pada simulasi SWMM 5.2 didasarkan pada persamaan rasional, yaitu (Lewis A. Rossman dan Wayne C. Huber, 2016):

$$Q = C \times A \times I \dots\dots\dots(10)$$

Dengan  $Q$  adalah debit limpasan dalam satuan  $m^3/detik$ ,  $C$  adalah koefisien limpasan,  $A$  adalah luas subcatchment dalam satuan  $m^2$ , dan  $I$  adalah intensitas hujan dalam satuan  $m/detik$ . Kemudian, nilai debit yang dihasilkan akan dibagi setiap interval jam sesuai dengan durasi hujan yaitu 6 jam. Nilai tersebut akan diplotkan pada grafik hidrograf, dengan nilai debit sebagai sumbu  $Y$  dan interval waktu sebagai sumbu  $X$  (Lewis A. Rossman dan Wayne C. Huber, 2016). Selain menghitung jumlah limpasan hasil simulasi SWMM 5.2 juga menunjukkan arah aliran serta debit yang dilengkapi tanda panah. Potensi luapan pada saluran ditunjukkan dengan warna pada node, jika warna pada node mendekati warna biru maka limpasan air dapat tertampung, namun jika warna node yang mendekati merah maka terjadi luapan air.

Desain saluran drainase yang direncanakan adalah saluran terbuka dengan material penyusun beton, yang berbentuk persegi dengan dimensi  $0,4 m \times 0,5 m$  di jalan lokal dan  $1 m \times 1 m$  di jalan arteri. Sedangkan untuk intensitas hujan, akan digunakan data PUH 5 tahun dengan durasi hujan 6 jam. Sistem PAH ini direncanakan pada bagian tengah dan hilir DAS Cinambo pada 83 subcatchment berupa area pemukiman, dengan mengasumsikan kebutuhan air harian. Kebutuhan air harian yang digunakan adalah  $150 \text{ lt/orang/hari}$  (Badan Standardisasi Nasional, 2005). Jika mengasumsikan jumlah orang dalam satu rumah adalah 5, maka jumlah kebutuhan air total adalah  $750 \text{ lt/orang}$ . Dengan total kebutuhan air tersebut, akan digunakan tampungan air yang tersedia di pasaran dengan diameter  $1,05 m$  dan tinggi  $1,42 m$  yang berkapasitas  $1 m^3$ . Penggunaan sistem PAH sebagai bagian dari penerapan LID di DAS Cinambo bertujuan memanfaatkan air hujan sebagai sumber air bersih yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber air ketika musim kemarau dan mengurangi potensi banjir saat musim hujan (MF Haidar dkk., 2022).

Sedangkan kolam retensi, direncanakan berada di samping aliran anak Sungai Cinambo di area bagian hilir DAS Cinambo, tepatnya Kec. Gedebage. Hal tersebut didasarkan pada faktor rekayasa dan faktor sosial ekonomi. Faktor rekayasa menitikberatkan pada standar perencanaan dengan kondisi lokasi eksisting, seperti tingkat infiltrasi, curah hujan, nilai koefisien limpasan ( $C$ ), elevasi tanah, kedalaman air tanah, jarak menuju saluran drainase, dan jarak menuju sungai. Sedangkan faktor sosial-ekonomi berfokus pada pengaruh keberadaan rencana kolam retensi terhadap sosial-ekonomi, seperti: jarak

menuju perumahan padat, area genangan, jalan arteri, dan penggunaan tanah (area) (Darman F Saragih dkk., 2020).

Dengan demikian, Kec. Gedebage dipilih sebagai lokasi rencana kolam retensi didasarkan pada rendahnya elevasi lahan, jarak lahan dengan area genangan, aliran sungai, dan saluran drainase eksisting, serta didukung dengan keberadaan kolam retensi eksisting yang berkapasitas 5.425 m<sup>3</sup>. Selain itu, faktor tutupan lahan yang sebagian besar berupa area kedap lebih diutamakan. Mengingat jika dibangun pada area hulu, tentunya akan banyak mengubah tutupan lahan eksisting. Dengan dimensi kolam 40 x 30 x 3 m yang berkapasitas 3.600 m<sup>3</sup>, justru dapat mengakibatkan peningkatan nilai koefisien limpasan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisis Kondisi Wilayah Studi

DAS Cinambo yang meliputi dataran tinggi hingga rendah, memiliki tataguna lahan yang beragam. Keberagaman tataguna lahan tersebut berdampak pada kuantitas limpasan air yang dihasilkan saat terjadi hujan. Kondisi tersebut dipicu oleh perubahan nilai koefisien pengaliran (C) dari masing-masing penggunaan lahan. Nilai koefisien C dipengaruhi oleh sifat dan kondisi tanah, seperti: porositas, kelembapan, permeabilitas, kekerasan, kemiringan, dan keberadaan vegetasi (Haruetai Moskong dan Chatchai Jothityangkoon, 2016). Menurut suripin (2004), semakin mudah limpasan air untuk meresap, maka semakin kecil nilai koefisien C. Begitu pula sebaliknya, semakin sulit limpasan air untuk meresap, maka semakin besar nilai koefisien C. Bagian hulu DAS Cinambo yang didominasi oleh hutan akan mudah meresapkan limpasan air, karena memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi yang berperan dalam pengurangan jumlah limpasan air yang dihasilkan. Sedangkan pada bagian tengah dan hilir DAS Cinambo yang didominasi oleh area kedap, akan menghasilkan limpasan air yang lebih tinggi.

Dengan tingginya limpasan air yang dihasilkan akibat beda elevasi dan area yang dominan kedap, akan memicu luapan dan mengakibatkan banjir. Luapan yang terbentuk sejatinya telah diantisipasi dengan keberadaan kolam retensi di Kecamatan Gedebage. Kolam retensi tersebut difungsikan untuk menampung air hujan dan memotong limpasan air saat jam puncak sebelum dialirkan menuju badan air (Z Syofyan, 2022). Namun dengan tingginya curah

hujan dan minimnya area resapan, mengakibatkan banjir tetap terjadi. Kondisi tersebut memperkuat akan diperlukannya perencanaan system drainase berkelanjutan guna mengurangi peningkatan limpasan di wilayah studi.

### 3.2. Penentuan Intensitas Curah Hujan

#### 3.2.1. Analisis Data Curah Hujan

Pos curah hujan utama yang digunakan adalah pos cibiru yang akan dibandingkan dengan pos cinambo dan pos cidurian balai. Proses analisis data curah hujan dilakukan menggunakan data curah hujan harian maksimum (CHHM) yang berasal dari Tahun 2011 hingga Tahun 2020. Penggunaan data CHHM bertujuan untuk perencanaan saluran drainase yang dapat menampung debit limpasan puncak dengan maksimal (Suripin, 2004). Berikut data curah hujan yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

#### 3.2.2. Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi curah hujan menggunakan tiga metode, yaitu: metode gumbel, log Pearson III, dan metode log normal. Kemudian akan diuji secara chi kuadrat dan kolmagorov-smirnof untuk melihat kecocokan dengan distribusi probabilitas pada tabel 2. Analisis frekuensi curah hujan dengan metode gumbel dinilai "Tidak OK" pada uji chi kuadrat, karena nilai X<sup>2</sup> hitung lebih besar dari nilai X<sup>2</sup> tabel chi kuadrat. Sedangkan pada uji kolmagorov-smirnof dinilai "OK", karena nilai Δ Max lebih kecil dari nilai Δ kritis tabel kolmagorov-smirnof sehingga sesuai dengan distribusi probabilitas pada uji kolmagorov-smirnof. Analisis frekuensi curah hujan dengan metode log Pearson dinilai "OK" pada uji chi kuadrat, karena nilai X<sup>2</sup> hitung lebih kecil dari nilai X<sup>2</sup> tabel chi kuadrat. Sedangkan pada uji kolmagorov-smirnof dinilai "OK", karena nilai Δ Max lebih besar dari nilai Δ kritis tabel kolmagorov-smirnof, maka akan sesuai dengan distribusi probabilitas pada uji chi kuadrat. Analisis frekuensi curah hujan dengan metode log normal dinilai "OK", karena nilai X<sup>2</sup> hitung dan nilai Δ Max lebih kecil dari nilai X<sup>2</sup> tabel chi kuadrat dan nilai Δ kritis tabel kolmagorov-smirnof. Berdasarkan hasil tersebut, sehingga sesuai dengan distribusi probabilitas berdasarkan uji chi kuadrat dan kolmagorov-smirnof. Berdasarkan hasil tersebut, maka hasil analisis frekuensi metode log normal akan digunakan dalam analisis intensitas curah hujan.

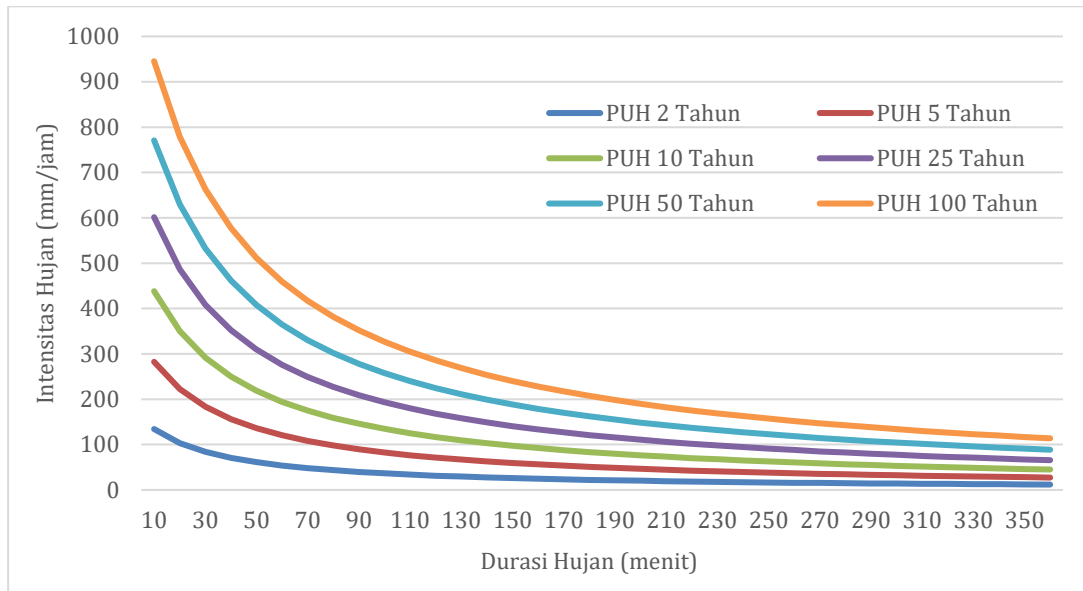
**Tabel 1.** Data Curah Hujan PCH Cibiru, Cidurian Balai, dan PCH Cinambo Tahun 2011-2020

No	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm/tahun)		
		PCH Cibiru	PCH. Cidurian Balai	PCH. Cinambo
1	2011	56	55	64,3
2	2012	55	60,5	66,6
3	2013	80	60,5	82,3
4	2014	132	65,5	76
5	2015	61	175	61,9
6	2016	128	120	78
7	2017	60	77,5	79,2
8	2018	66	105	54
9	2019	78	103	65,6
10	2020	80	123	127

Sumber: (Balai Besar Wilayah Sungai Citarum, 2011-2020)

**Tabel 2.** Hasil Analisis Frekuensi

No.	Tipe Distribusi	Ketentuan	< / >	Hasil	Keterangan
1	Gumbel	$X^2 = 5,99$ $\Delta$ Kritis = 0,41	< >	$X^2 = 9$ $\Delta$ Max = 0,179	Tidak Ok Ok
2	Log Pearson III	$X^2 = 5,99$ $\Delta$ Kritis = 0,41	> <	$X^2 = 3$ $\Delta$ Max = 0,897	Ok Tidak Ok
3	Log Normal	$X^2 = 5,99$ $\Delta$ Kritis = 0,41	> >	$X^2 = 3$ $\Delta$ Max = 0,160	Ok Ok



**Gambar 4.** Kurva IDF

### 3.2.3. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan merupakan nilai yang menyatakan tinggi hujan dalam satuan waktu. Besarnya nilai intensitas dipengaruhi oleh waktu konsentrasi pada periode tertentu (R. Harahap dkk., 2020). Penentuan nilai intensitas hujan menggunakan persamaan Van Breen dengan durasi hujan 6 jam, disajikan dalam bentuk kurva IDF pada **Gambar 4**. Besarnya nilai intensitas curah hujan dipengaruhi oleh periode ulang hujan yang terjadi. Hal tersebut ditandai dengan semakin besar periode ulang hujan, maka semakin besar pula intensitas hujan yang terbentuk. Selain itu, nilai intensitas curah hujan erat kaitannya dengan durasi hujan. Kondisi tersebut dapat diketahui dengan semakin lama durasi hujan, maka intensitas hujan akan semakin berkurang (E.T. Asmorowati dkk., 2021). Informasi terkait periode ulang hujan dan durasi hujan yang berkaitan dengan nilai intensitas hujan, akan memudahkan proses perencanaan dimensi saluran drainase.

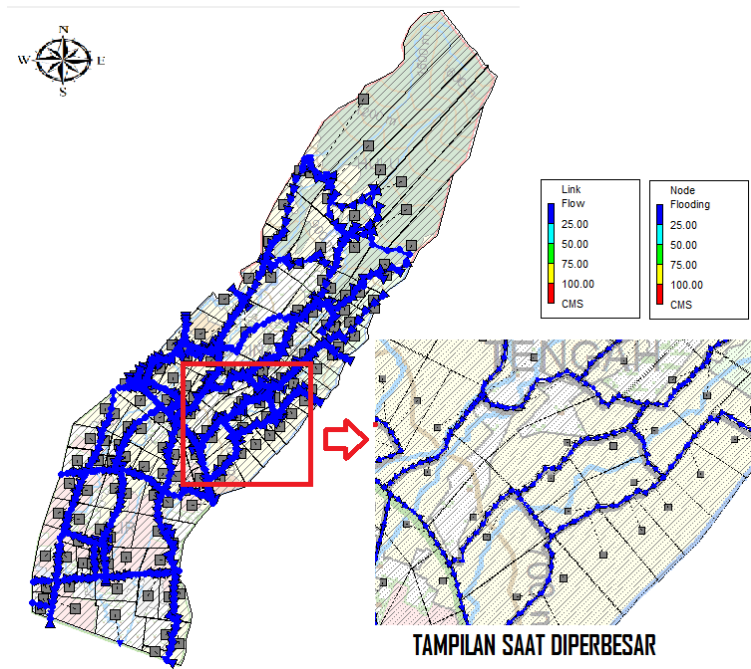
### 3.3. Skenario Perencanaan Sistem Drainase

Simulai yang dilakukan pada SWMM 5.2 didasarkan warna yang ditampilkan pada node baik biru maupun merah. Warna biru akan terlihat jika tidak terjadi luapan dan tidak berpotensi banjir, sedangkan warna merah akan terlihat jika terjadi

luapan dan berpotensi terjadi banjir. Hasil simulai pada **Gambar 5**, menampilkan node berwarna biru secara keseluruhan bukan warna merah setelah proses simulai pengaliran limpasan air selama durasi 6 jam. Hal tersebut menunjukkan tidak terjadi luapan dari saluran drainase yang direncanakan dan tidak berpotensi menimbulkan banjir. Saluran drainase yang direncanakan berupa saluran terbuka dengan material beton, yang memiliki nilai kekasaran manning sebesar 0,011 (Suripin, 2004). Dimensi saluran pada jalan lokal adalah 0,4 m x 0,5 m dan diperbesar menjadi 1 m x 1 m pada jalan arteri. Pembesaran dimensi saluran pada jalan arteri, berfungsi untuk menampung seluruh limpasan air yang mengalir pada saluran drainase di jalan lokal dan mengalirkannya menuju sungai.

Berdasarkan hasil simulasi, DAS Cinambo menghasilkan volume limpasan rata-rata sebesar 24.126,85 m<sup>3</sup> selama 6 jam hujan dan akan mengalir pada sistem drainase secara gravitasi menuju sungai. Rata-rata debit limpasan air pada saluran drainase 0,469 m<sup>3</sup>/detik dengan kecepatan 2,49 m/detik. Nilai kecepatan sesuai dengan kriteria desain saluran terbuka, yaitu: 0,6-3,0 m/detik (V. Te Chow, 1959). Dengan tidak adanya pengurangan limpasan, maka jumlah limpasan yang mengalir menuju sungai adalah tetap.





Gambar 5. Hasil Simulasi Menggunakan Software SWMM 5.2



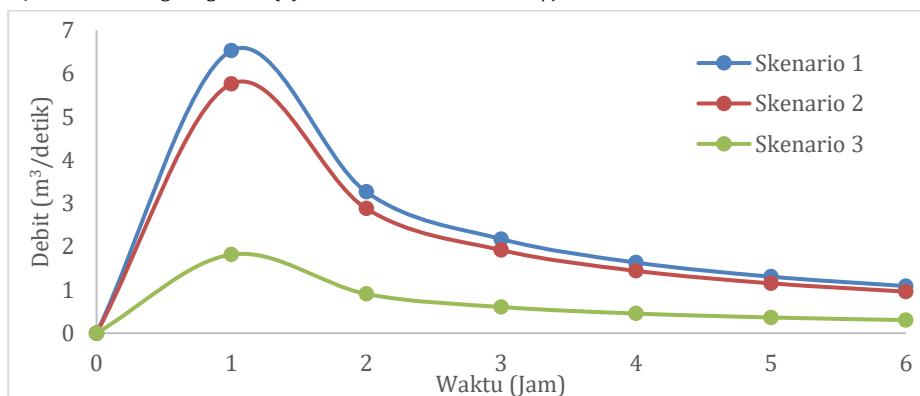
Gambar 6. Lokasi Perencanaan Kolam Retensi

Pada skenario kedua, jumlah sistem PAH yang digunakan adalah 10.605 buah dengan diameter 1,05 m dan tinggi 1,42 m yang berkapasitas 1 m<sup>3</sup>. Berdasarkan hasil pengkajian, penggunaan sistem PAH pada area pemukiman dapat mengurangi limpasan sebesar 1.360,37 m<sup>3</sup>. Penggunaan sistem PAH bertujuan menjadikan air hujan sebagai sumber air bersih bagi masyarakat, terlebih tingkat cakupan pelayanan air bersih oleh PDAM Kota Bandung hanya mencapai 7,05 % dari jumlah penduduk secara total per Desember 2020 (Badan Pusat Statistik, 2020). Disamping itu, penggunaan sistem PAH dapat menjadi sumber air dikala krisis air saat musim kemarau dan mengurangi potensi luapan saat musim hujan. Lebih jauh, dari sisi ekonomi penggunaan dan penerapan sistem PAH ini sangat terjangkau, murah dan mudah diterapkan (MF Haidar dkk., 2022).

Pada skenario ketiga, tiga kolam retensi yang tersebar di bagian hilir DAS Cinambo dengan dimensi 40 m x 30 m x 3 m, dapat menampung limpasan air sebanyak 10.800 m<sup>3</sup>. Penempatan lokasi rencana kolam retensi di bagian hilir DAS Cinambo yang merupakan, tepatnya Kec. Gedebage seperti pada Gambar 6 hasil citra satelit Google Earth (2023).

Kecamatan Gedebage dipilih sebagai lokasi rencana kolam retensi, didasarkan pada sejumlah faktor, seperti berada pada elevasi terendah, cukup dekat dengan area genangan maupun dengan sungai sebagai badan air penerima limpasan air. Selain itu bagian hilir DAS Cinambo merupakan area kedap, sangat mungkin untuk mengalami banjir akibat beda elevasi dan minimnya area resapan (Darman F Saragih dkk., 2020).

Dengan adanya kolam retensi baru serta kolam retensi eksisting yang berkapasitas 5.425 m<sup>3</sup>, diharapkan dapat mengurangi jumlah limpasan air yang mengalir ke sungai dan mencegah meluapnya sungai itu sendiri. Sebagaimana hasil pengkajian, penggunaan sistem PAH dan kolam retensi dapat mengurangi limpasan sebesar 17.585,37 m<sup>3</sup>. Setelah mengetahui jumlah limpasan yang dapat dikurangi oleh masing-masing skenario, selanjutnya akan dilakukan perbandingan sisa jumlah limpasan setelah dilakukan pengurangan. Proses perbandingan akan ditampilkan dalam bentuk hidrograf limpasan seperti pada Gambar 7. Skenario dengan penurunan nilai debit terbesar tiap jamnya, akan diterapkan pada perencanaan sistem drainase DAS Cinambo.



Gambar 7. Perbandingan Jumlah Limpasan pada Skenario Pengurangan Limpasan

Berdasarkan hidrograf skenario, volume limpasan terbesar terjadi pada jam pertama yang mana awal terbentuknya limpasan. Jumlah tersebut akan semakin berkurang seiring dengan durasi hujan yang terjadi. Pada skenario pertama, menghasilkan volume limpasan terbesar dibandingkan dengan skenario kedua dan ketiga. Hal tersebut dapat terjadi karena tidak ada pengurangan yang terjadi.

Pada skenario kedua, volume limpasan dapat sedikit berkurang dengan adanya penggunaan sistem PAH. Hal tersebut dapat dilihat pada debit puncak limpasan yang dihasilkan lebih rendah 2% dari skenario pertama. Pada skenario ketiga, jumlah limpasan yang dihasilkan adalah paling sedikit dibandingkan kedua skenario awal. Hal tersebut dapat terjadi, karena limpasan terlebih dahulu dikurangi oleh penggunaan sistem PAH dan kolam retensi. Penggunaan sistem PAH dan kolam retensi, memungkinkan untuk mengurangi jumlah limpasan sebesar 72% dari jumlah limpasan awal.

Dengan demikian, skenario pengurangan limpasan yang akan diterapkan pada perencanaan sistem drainase di DAS Cinambo adalah skenario ketiga. Hasil rekapitulasi pengurangan limpasan pada masing-masing skenario tiap detiknya dalam rentang 6 jam pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Penurunan Nilai Debit pada Setiap Skenario

t (jam)	t (detik)	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
0	0	0	0	0
1	3600	6,702	5,764	1,817
2	7200	3,351	2,882	0,909
3	10800	2,234	1,921	0,606
4	14400	1,675	1,441	0,454
5	18000	1,340	1,153	0,363
6	21600	1,117	0,961	0,303

#### 4. KESIMPULAN

Perencanaan sistem drainase di DAS Cinambo akan dirancang menggunakan sistem drainase berkelanjutan dengan model LID. Dari tiga skenario yang direncanakan, skenario ketiga, dianjurkan untuk diterapkan di DAS Cinambo karena dapat mengurangi jumlah limpasan air yang menuju saluran drainase menjadi 6.541,48 m<sup>3</sup> dari jumlah semula 24.126,85 m<sup>3</sup> atau berkurang 72%. Berdasarkan skenario terpilih (skenario 3), saluran drainase direncanakan dapat

mengalirkan debit limpasan rata-rata sebesar 0,469 m<sup>3</sup>/detik dengan kecepatan 2,49 m/detik. Sistem PAH yang direncanakan pada skenario ini berjumlah 10.605 buah dengan kapasitas masing-masing 1 m<sup>3</sup> yang bertujuan sebagai sumber air bersih baru bagi masyarakat. Sedangkan kolam retensi yang direncanakan berjumlah tiga kolam retensi berdimensi 40 m x 30 m x 3 m dengan kapasitas 3.600 m<sup>3</sup>.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abighail, S. H., Kridasantausa, I., Farid, M., & Moe, I. R. (2022). *Pemodelan banjir akibat perubahan tata guna lahan di daerah aliran sungai Ciliwung*. *J. Tek. Sipil*, 29(1), 61-68.
- Ahiablame, L. M., Engel, B. A., & 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.019>
- Asmorowati, E. T., Rahmawati, A., Sarasanty, D., Kurniawan, A. A., Rudiyanto, M. A., Nadya, E. dkk. (2021). *Drainase Perkotaan: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia*.
- Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R., & Zeng, X. (2018). *Storm Water Management Of Low Impact Development In Urban Areas Based On SWMM*. *Water*, 11(1), 33.
- Bandung, B. P. d. P. K. (Producer). (2018, 6 September 2022). *Sistem Informasi Tata Ruang berbasis Mitigasi Bencana Kota Bandung. Peta Resiko Banjir Kota Bandung*. Retrieved from <https://sitaruna.cityplan.id/map.html>
- Bandung, B. P. P. D. K. (2016). *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bandung 2016-2036*. Kabupaten Bandung: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Bandung.
- Chen, W., Zheng, M., Gao, Q., Deng, C., Ma, Y., & Ji, G. (2021). *Simulation of surface runoff control effect by permeable pavement*. *Water Science and Technology*, 83(4), 948-960.
- Citarum, B. B. W. S. (2011-2020). *Data Curah Hujan Tahun 2011-2020*. Retrieved from Bandung:
- DeBusk, K., & Wynn, T. (2011). *Storm-water bioretention for runoff quality and quantity mitigation*. *Journal of Environmental Engineering*, 137(9), 800-808.
- Dirgawati, M., Sururi, M. R., & Suhendar, D. Y. (2023). *Determination of Strategy Planning of Domestic*

- Wastewater Management System in a Commercial Area of Tasikmalaya City. Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 20(2), 280-294.
- Eckart, K., McPhee, Z., & Bolisetti, T. (2017). *Performance and implementation of low impact development—A review. Science of the total environment*.
- Fajriyah, S. A., & Wardhani, E. (2020). *Analisis Hidrologi untuk Penentuan Metode Intensitas Hujan di Wilayah Kecamatan Bogor Barat, Kota Bogor. Jurnal Serambi Engineering*, 5(2).
- Google (Producer). (2023, 23 Januari 2023). *Google Earth: Peta Lokasi Perencanaan Kolam Retensi*.
- Haidar, M., Nugraha, R., Wahidah, A., & Prawira, M. (2022). *Rainwater harvesting as a solution for mitigation and adaptation to flood disasters (study case: Cisurupan)*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Harahap, R., Jeumpa, K., & Silitonga, E. M. (2020). *Drainase Pemukiman: Prinsip Dasar & Aplikasinya: Yayasan Kita Menulis*.
- Hidup, D. L. (2022). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (DIKPLHD) Jawa Barat*. Bandung: DLH Jabar.
- Lloyd, S. D., Wong, T. H., & Chesterfield, C. J. (2002). *Water sensitive urban design: a stormwater management perspective*. Victoria, Australia: Cooperative Research Centre (CRC).
- Meng, X. (2022). *Understanding the effects of site-scale water-sensitive urban design (WSUD) in the urban water cycle: a review. Blue-Green Systems*, 4(1), 45-57.
- Meng, X., & Kenway, S. (2018). *Analysing water sensitive urban design options. Water e-Journal*, 3(4), 1-18.
- Moskong, H., & Jothityangkoon, C. (2016). *Analysis of drainage capacity and flood risk areas for integrated urban planning of Sam Khok District, Pathumthani Province. Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 13(2), 41-56.
- Nasional, B. S. (2005). SNI 03-7065-2005 In *Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing*. Jakarta.
- Ozgun, K., Moulis, A., & Leardini, P. (2017). *Water-potential-mapping for urban flood/drought resilience: A holistic approach to sustainable spatial planning and design by augmenting use, reuse and storage capacity of storm water in south east Queensland*.
- Rasika, M. R., Kurniawan, E. B., & Sasongko, W. (2023). *Kajian Pengembangan Ruang Terbuka Hijau Publik Kecamatan Gedebage Dengan Pendekatan Water Sensitive Urban Design. Planning for Urban Region and Environment Journal (PURE)*, 11(4), 151-162.
- Rezaei, A. R., Ismail, Z., Niksokhan, M. H., Dayarian, M. A., Ramli, A. H., & Yusoff, S. (2021). *Optimal implementation of low impact development for urban stormwater quantity and quality control using multi-objective optimization. Environmental Monitoring and Assessment*, 193(4), 241. doi:10.1007/s10661-021-09010-4
- Rossmann, L. A., & Huber, W. C. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual In Volume I – Hydrology (Revised)*.
- Saragih, D. F., Abdullah, R., & Ahamad, M. S. S. (2020). *Pemilihan Lokasi Kolam Retensi Untuk Pengelolaan Air Hujan Perkotaan Menggunakan Metode Gis-MCDA And AHP*.
- Sarminingsih, A. (2019). *Drainage System Evaluation as An Effort to Reduce Flood Inundation in Gedebage Area, Bandung-West Java*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Sarminingsih, A., Handayani, D. S., & Astriani, A. (2022). *Design of Drainage System of Kedungmundu Road, Semarang City with the Implementation of the Sustainable Urban Drainage System (SUDS). Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 19(2), 251-261.
- Sharifian, H., Emami-Skardi, M. J., Behzadfar, M., & Faizi, M. (2022). *Water sensitive urban design (WSUD) approach for mitigating groundwater depletion in urban geography; through the lens of stakeholder and social network analysis. Water Supply*, 22(6), 5833-5852.
- Soemarto, C. D. (1987). *Hidrologi teknik*. Surabaya Usaha Nasional.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: Nova.
- Statistik, B. P. (2011-2020). *Kota Bandung Dalam Angka*. Bandung: Badan Pusat Statistik Kota Bandung.
- Statistik, B. P. (2020). *Jumlah Pelanggan Air Minum dan Air Limbah PDAM Tirtawening Kota Bandung*. from Badan Pusat Statistik Kota Bandung <https://opendata.bandung.go.id/dataset/jumlah-pelanggan-air-minum-dan-air-limbah-pdam-tirtawening-kota-bandung>
- Statistik, B. P. (2023). *Kota Bandung Dalam Angka Bandung*: Badan Pusat Statistik Kota Bandung.
- Suripin. (2004). *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi.
- Sururi, M. R., Dirgawati, M., Wiliana, W., Fadlurrohman, F., & Widiyati, N. (2023). *Performance evaluation of domestic waste water treatment system in urban Indonesia. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100507.
- Syofyan, E. (2020). *Model hidrologi terdistribusi untuk analisis debit terserap pada sumur resapan, lubang biopori dan kolam retensi. Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*.
- Syofyan, Z. (2022). *Kolam Retensi Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Batang Pangian. Rang Teknik Journal*, 5(1), 124-136.
- Takeleb, A. M., Fajriani, Q. R., & Ximenes, M. A. (2022). *Determination of Rainfall Intensity Formula and Intensity Duration Frequency (IDF) Curve at the Quelicai Administrative Post, Timor Leste. Timor-Leste Journal of Engineering and Science*, 3, 1-10.
- Te Chow, V. (1959). *Open-channel Hydraulics*: McGraw-Hill.