

Penerapan *Low Impact Development* Dalam Perencanaan Drainase Perkotaan Di Kawasan Ibu Kota Baru Negara Indonesia

Jose Cristobal¹, Bambang Adi Riyanto¹, S. Sanjaya^{1,*}

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung¹

Koresponden*, Email: sanjaya.stephen@unpar.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	01 September 2022	<p><i>The new capital city (IKN) of Indonesia is planned to be moved to non-built-up area in the East Kalimantan. Consisted of three different function areas, the central government area (KIPP) will be developed into three stages, including its drainage system. A drainage system is an important part in developing a new capital city, due to its possibility to increase the runoff significantly. This study is aimed to evaluate the use of Water Sensitive Urban Drainage (WSUD), in particular the Low Impact Development (LID), to cope with the rise of the runoff in the new capital city of Indonesia. The opted LIDs are Green Roof and Rainwater Harvesting, considering its feasibility. Runoff hydrographs are evaluated using rainfall with 10-year return period for different scenarios. Scenarios 1, 2, and 3 apply Green Roof with 50%, 75%, and 100% from the built-up area, respectively. Meanwhile scenarios 4 and 5 utilize rainwater harvesting using the ratio of reservoir volume to the area, which are 54 m³ and 12 m³ for every 200 m² respectively. The result shows that runoff using 100% Green Roof in the built-up area takes after the natural condition, however it occupies a massive space. The same condition applies to Rainwater Harvesting for Scenario 4. Therefore, Scenario 5 is the most optimal scenario amongst other scenarios, considering its ability to reduce around 26.3%-34.9% of the runoff hydrograph nearly to the natural condition and its feasibility to be applied.</i></p>
Diperbaiki	21 Februari 2023	
Disetujui	28 Desember 2023	

Keywords: PCSWMM, drainage system, LID, hydrograph

Abstrak

Ibu kota baru (IKN) Indonesia direncanakan dipindah ke kawasan tak terbangun di Kalimantan Timur. Terdiri dari tiga wilayah dengan fungsi yang berbeda, Kawasan Inti Pusat Pemerintah (KIPP) akan dikembangkan menjadi tiga tahap, termasuk sistem drainasenya. Sistem drainase merupakan bagian penting dalam pembangunan ibu kota baru, karena dapat meningkatkan limpasan secara signifikan. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan *Water Sensitive Urban Drainage* (WSUD), khususnya *Low Impact Development* (LID), untuk mengatasi peningkatan limpasan di ibu kota baru Indonesia. LID yang dipilih adalah *Green Roof* dan *Rainwater Harvesting* berdasarkan kelayakannya. Hidrograf limpasan dievaluasi menggunakan curah hujan dengan periode ulang 10 tahun untuk skenario yang berbeda. Skenario 1, 2, dan 3 menerapkan *Green Roof* masing-masing 50%, 75%, dan 100% dari luas bangunan, sedangkan skenario 4 dan 5 memanfaatkan *Rainwater Harvesting* dengan menggunakan rasio volume tampungan terhadap luas wilayah, yaitu 54 m³ dan 12 m³ untuk setiap 200 m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa limpasan dengan menggunakan 100% *Green Roof* pada kawasan terbangun mengikuti kondisi alami, namun menempati luas yang sangat besar. Kondisi yang sama juga berlaku untuk *Rainwater Harvesting* untuk Skenario 4. Oleh karena itu, Skenario 5 merupakan skenario yang paling optimal di antara skenario lainnya, mengingat kemampuannya untuk mereduksi hidrograf limpasan sebesar 26,3%-34,9% hingga mendekati kondisi alami dan kelayakannya untuk diterapkan.

Kata kunci: PCSWMM, sistem drainase, LID, hidrograf

1. Pendahuluan

Ibu kota negara Indonesia direncanakan pindah ke wilayah belum terbangun (alami) di antara Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur dengan luas wilayah 256.142,72 ha pada akhir pembangunan. Pembangunan tersebut mengakibatkan adanya perubahan tata guna lahan menjadi perkotaan dengan permukaan yang kedap air, yang semula ialah hutan dengan laju infiltrasi tinggi 0. Penurunan laju infiltrasi ini tentunya

akan mengakibatkan peningkatan limpasan air permukaan. Salah satu upaya untuk menanggulangi peningkatan limpasan dapat dilakukan dengan menggunakan konsep *Water Sensitive Urban Drainage* (WSUD).

Water Sensitive Urban Drainage (WSUD) merupakan salah satu implementasi dari infrastruktur hijau (*green infrastructure*) yang dapat mengatur limpasan air pada suatu perkotaan [2]. WSUD terlahir dari perubahan sudut pandang mengenai sistem drainase perkotaan. Pada awalnya, sistem

drainase direncanakan untuk mengalirkan limpasan hujan secepat mungkin ke hilir. Hal tersebut menyebabkan daerah hilir rawan terhadap banjir karena debit terkonsentrasi pada bagian hilir. Hidrograf banjir dari sistem tersebut tentu memiliki waktu konsentrasi yang cepat dengan nilai debit puncak yang tinggi sehingga tidak menyerupai hidrograf pada kondisi alami.

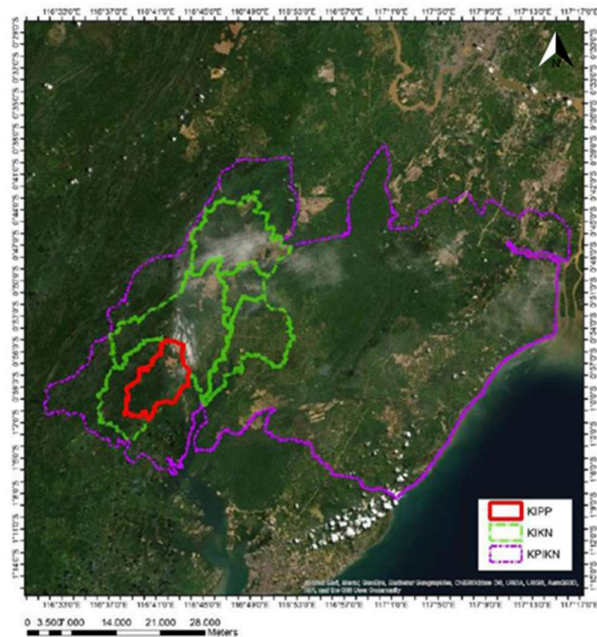
Akibat kendala tersebut, konsep WSUD direncanakan dengan memperlambat laju limpasan dengan cara menampung atau menahan limpasan menggunakan infrastruktur hijau. Diperlambatnya laju limpasan menyebabkan waktu konsentrasi meningkat, sehingga debit puncak juga berkurang. Perubahan bentuk hidrograf tersebut dapat menandakan terjadinya pengurangan volume limpasan yang terjadi karena perubahan bentuk hidrograf menjadi lebih landai. Salah satu infrastruktur hijau yang dapat diterapkan adalah *Low Impact Development (LID)*. LID adalah segala bentuk pembangunan infrastruktur yang bertujuan untuk memperlambat aliran limpasan dengan meningkatkan laju infiltrasi dan/atau evapotranspirasi [3]. Penerapan LID terbukti efektif dalam mengontrol debit puncak dan kualitas air dari limpasan permukaan, serta menanggulangi dampak negatif dari pembangunan [4]. Di New York, Amerika Serikat, penerapan *Green Roof* seluas 7 km² berhasil menurunkan 26% dari limpasan permukaan saluran [5]. Penerapan *Rainwater Harvesting* atau *Rain Barrel* pada umumnya menurunkan limpasan sebesar 20%-77% tergantung dari luas yang digunakan [6]. Selain itu, terdapat juga jenis LID *Infiltration Trench* yang diterapkan dengan luas sebesar 3,77 km² pada Aarhus, Denmark dan mampu menurunkan dampak banjir sebesar 35% [7].

Penerapan LID pada daerah yang telah terbangun biasanya merupakan proses retrofit pada infrastruktur eksisting [14], sedangkan proses ini tidak berlaku apabila daerahnya masih dalam tahap perencanaan seperti wilayah ibu kota baru Indonesia. Penerapan LID sendiri memiliki manfaat dari segi lingkungan maupun ekonomi antara lain peningkatan kualitas air, penurunan frekuensi banjir dan biaya penanganan banjir, restorasi lingkungan akuatik, dan peningkatan proses pengisian air tanah [3]. Apabila LID tersebut diterapkan pada skala yang besar, penerapan LID dapat mengurangi peningkatan suhu pada perkotaan (*urban heat island effect*), menghemat energi, mengurangi polusi udara, dan bahkan mengurangi perubahan iklim [3]. Apabila dilihat dari kondisi Indonesia saat ini, manfaat-manfaat dari penerapan LID tersebut sangat cocok untuk diterapkan pada ibu kota baru Indonesia untuk mencegah dampak negatif dari pembangunan IKN.

Walaupun LID memiliki manfaat yang berlimpah, tidak semua LID dapat diterapkan pada semua situasi. Oleh karena itu, pemodelan yang menerapkan LID pada ibu kota baru

Indonesia bertujuan untuk menentukan LID mana yang dapat diterapkan pada wilayah ibu kota baru Indonesia. Hal tersebut dilakukan dengan meninjau efektifitas dari LID yang digunakan berdasarkan penurunan debit puncak dan volume limpasan. Dimensi dan luas lahan penerapan LID menjadi pengaruh terbesar dari menentukan jenis LID yang paling optimal untuk diterapkan.

Wilayah pada IKN dibagi menjadi 3 bagian, yaitu Kawasan Pengembangan IKN (KPIKN), Kawasan IKN (KIKN), dan Kawasan Inti Pusat Pemerintah (KIPP) seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Wilayah Ibu Kota Negara (IKN) Baru [15]

Pembangunan IKN dimulai dari KIPP, sehingga lokasi studi terletak pada kawasan KIPP. KIPP sendiri dibagi menjadi 3 tahap. Tahap 1A merupakan tahap pembangunan yang paling awal dan kawasan yang ditinjau pada studi ini adalah sebagian kawasan 1A, yaitu pada blok 2, 4, 17, 18, 19, dan 20 seperti pada **Gambar 2**.

2. Metode

Tujuan dari penulisan adalah untuk menentukan skenario dari model PCSWMM dengan aplikasi LID yang cocok dan dapat diterapkan pada wilayah IKN, yaitu blok 2, 4, 17, 18, 19, dan 20. Penentuan skenario tersebut dilakukan dengan menggunakan beberapa metode untuk pemodelan menggunakan PCSWMM yang dijelaskan pada bagian berikut:

2.1. Distribusi Probabilitas GEV

Distribusi probabilitas *Generalized Extreme Value* (GEV) merupakan salah satu jenis distribusi probabilitas yang cocok digunakan untuk menentukan kejadian ekstrim [8]. Distribusi ini digunakan sebagai salah satu jenis distribusi probabilitas pada analisis curah hujan. Persamaan GEV yang digunakan adalah *Probability Distribution Function* (PDF) seperti persamaan (1-3) [8]:

$$GEV(\mu, \sigma, \xi) = \frac{1}{\sigma} t(x)^{\xi+1} e^{-t(x)} \tag{1}$$

yang mana nilai $t(x)$ untuk $\xi \neq 0$:

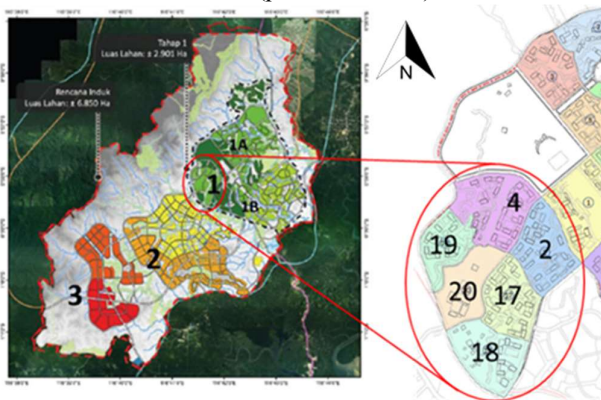
$$t(x) = \left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-1/\xi} \tag{2}$$

sementara untuk $\xi = 0$:

$$t(x) = e^{-\frac{(x-\mu)}{\sigma}} \tag{3}$$

dimana:

- μ : nilai rata-rata (parameter lokasi)
- ξ : variabel acak (parameter bentuk)
- σ : standar deviasi (parameter skala)



Gambar 2. Kawasan KIPP yang Ditinjau [15]

2.2. Distribusi Hujan Temporal (PSA007)

Distribusi hujan temporal bertujuan untuk menggambarkan transformasi data curah hujan harian menjadi curah hujan jam-jaman. Terdapat beberapa jenis distribusi hujan, akan tetap distribusi yang digunakan adalah PSA 007. Distribusi kumulatif PSA007 untuk 6 jam, 9 jam, dan 12 jam ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3 [9].

2.3. Metode Infiltrasi SCS

Limpasan akibat hujan efektif yang terjadi dimodelkan menggunakan metode yang dikembangkan oleh *Soil Conservation Service* (SCS) pada tahun 1972. Metode ini menggunakan besaran *Curve Number*, atau bilangan tak berdimensi yang menggambarkan hubungan jenis tanah, tutupan lahan dan besarnya infiltrasi dan limpasan yang terjadi [10].

Limpasan yang terjadi dimodelkan sebagai fungsi dari tinggi hujan yang terjadi, dan retensi potensial tanah. Nilai dari retensi potensial tanah tersebut merupakan fungsi dari koefisien *Curve Number* (CN). *Curve Number* (CN) ditentukan berdasarkan jenis penutup lahan dan *Hydrological Soil Group* (HSG). Persamaan yang digunakan adalah persamaan (4 dan 5) [10]:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{4}$$

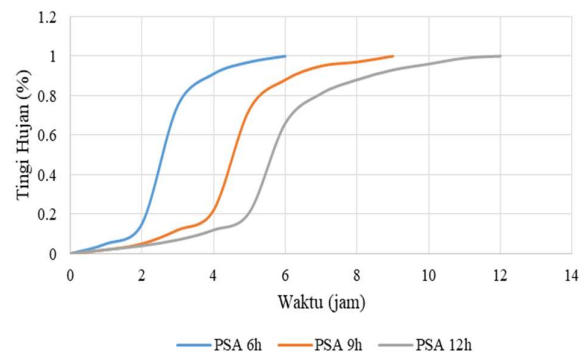
$$I_a = 0,2 S \tag{5}$$

dimana:

- S : kapasitas tampungan tanah (retensi) [mm]
- CN : koefisien *Curve Number*
- I_a : abstraksi awal [mm]

Tabel 1. Distribusi Kumulatif PSA007 [9]

Jam ke -	R/R _t		
	PSA 6h	PSA 9h	PSA 12h
0	0	0	0
1	0,05	0,02	0,02
2	0,15	0,05	0,04
3	0,75	0,12	0,07
4	0,91	0,22	0,12
5	0,97	0,73	0,21
6	1	0,88	0,66
7		0,95	0,81
8		0,97	0,88
9		1	0,93
10			0,96
11			0,99
12			1



Gambar 3. Grafik Distribusi Kumulatif PSA007

2.4. Hidrograf Banjir

Hidrograf banjir merupakan hubungan antara debit banjir pada suatu titik outlet dan waktu [10]. Hidrograf banjir

digunakan untuk mendapatkan nilai debit yang terjadi akibat hujan efektif yang jatuh di atas kawasan yang ditinjau. Bentuk hidrograf banjir sangat dipengaruhi oleh karakteristik hujan efektif dan daerah tangkapan air. Dalam program PCSWMM, pemodelan hidrograf dilakukan dengan *Non-linear Reservoir Model* menggunakan persamaan (6 dan 7) [11]:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \quad (6)$$

$$q = \frac{1,49W\sqrt{S}}{A \times n} (d - d_s)^{5/3} \quad (7)$$

jika $d \leq d_s$, maka menggunakan persamaan (8)

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f \quad (8)$$

dimana:

- i : laju hujan [mm/s]
- e : laju evapotranspirasi permukaan [mm/s]
- f : laju infiltrasi [mm/s]
- q : laju limpasan [mm/s]
- W : lebar lahan [m]
- S : kemiringan lahan
- A : luas penampang saluran [m²]
- n : koefisien kekasaran Manning
- d : kedalaman air [mm]
- d_s : kedalaman depression storage [mm]

2.5. Pemodelan dengan PCSWMM

Pemodelan sistem drainase dilakukan dengan software PCSWMM yang dikembangkan oleh *Computational Hydraulic International* (CHI) pada tahun 1984. PCSWMM digunakan untuk pemodelan pada studi ini karena mampu memodelkan proses hidrologi dan sekaligus hidraulika sehingga memudahkan dalam proses pemodelan sistem drainase [11]. PCSWMM juga dilengkapi dengan fitur LID sehingga dampak dari penerapan LID dapat dikaji dari hasil pemodelan menggunakan PCSWMM. Pemodelan dalam PCSWMM dilakukan dengan membagi rangkaian model menjadi 3 kompartemen yang memiliki parameternya masing-masing [11].

Untuk LID *Green Roof*, terdapat 3 kompartemen dengan persamaannya yang digunakan adalah persamaan (9-13) [11]:

$$\phi_1 \frac{\partial d_1}{\partial t} = i - e_1 - f_1 - q_1 \quad \text{Surface Layer} \quad (9)$$

$$D_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial t} = f_1 - e_2 - f_2 \quad \text{Soil Layer} \quad (10)$$

$$\phi_3 \frac{\partial d_3}{\partial t} = f_2 - e_3 - q_3 \quad \text{Drainage Mat Layer} \quad (11)$$

dengan:

$$q_1 = \frac{1,49}{n_1} \sqrt{S_1} \left(\frac{W_1}{A_1} \right) \phi_1 (d - D_1)^{5/3} \quad (12)$$

$$q_3 = \frac{1,49}{n_3} \sqrt{S_1} \left(\frac{W_1}{A_1} \right) \phi_3 (d_3)^{5/3} \quad (13)$$

Sementara untuk LID *Rainwater Harvesting*, hanya terdapat 1 kompartemen dengan persamaan (14-17) [11]:

$$\frac{\partial d_3}{\partial t} = f_1 - q_1 - q_3 \quad \text{Storage Layer} \quad (14)$$

dengan:

$$f_1 = \min \left(q_0, \frac{(D_3 - d_3)}{\Delta t} + q_3 \right) \quad (15)$$

$$q_1 = \max(0, q_0 - f_1) \quad (16)$$

$$q_3 = \min \left(q_3, \frac{d_3}{\Delta t} \right) \quad (17)$$

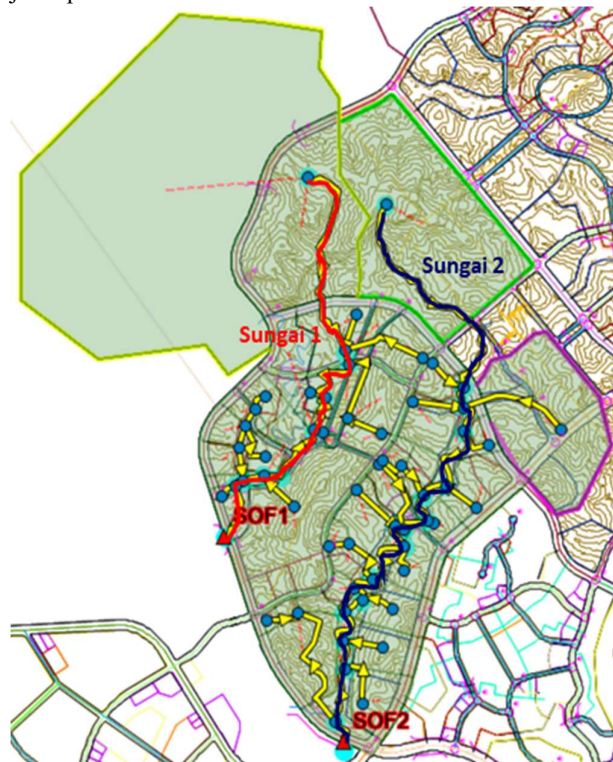
dimana:

- ϕ_1 : fraksi void dari volume permukaan (*Surface Layer*)
- d_1 : kedalaman air tersimpan pada *Surface Layer* [mm]
- i : laju hujan pada permukaan (*Surface Layer*) [mm/s]
- e_1 : laju evapotranspirasi pada *Surface Layer* [mm/s]
- f_1 : laju infiltrasi dari *Surface Layer* ke *Soil Layer* [mm/s]
- q_1 : limpasan (*outflow*) permukaan *Surface Layer* [mm/s]
- D_2 : tebal *Soil Layer* [mm]
- θ_2 : kandungan kelembaban *Soil Layer*
- e_2 : laju evapotranspirasi pada *Soil Layer* [mm/s]
- f_2 : laju infiltrasi dari *Soil Layer* ke *Storage Layer* [mm/s]
- ϕ_3 : fraksi void dari volume tanah (*Soil Layer*)
- d_3 : kedalaman air tersimpan pada *Soil Layer* [mm]
- e_3 : laju evapotranspirasi pada *Storage Layer* [mm/s]
- q_3 : limpasan (*outflow*) *Soil Layer* [mm/s]
- n_1 : koefisien kekasaran Manning *Surface Layer*
- S_1 : kemiringan lahan
- W : lebar *Green Roof* [m]
- A_1 : luas atap bangunan [m²]
- D_1 : *depression storage* dari *Surface Layer* [mm]

2.6. Pemodelan Skenario Menggunakan PCSWMM

Pemodelan sistem drainase pada Blok 2, 4, 17, 18, 19, dan 20 dilakukan menggunakan PCSWMM. Limpasan akibat hujan pada daerah tangkapan air (*subcatchment*) dialirkan ke dalam saluran drainase (*conduit*) dan kemudian dialirkan ke 2 sistem sungai. Selain dari blok tersebut, terdapat juga limpasan tambahan dari DTA (daerah tangkapan air) hulu sungai. Hidrograf ditinjau pada 2 titik outlet yaitu SOF1 dan SOF2 yang terletak di hilir 2 sungai. Sungai 1 (SOF1) menerima limpasan dari blok 4, 19, dan 20, sementara Sungai 2

(SOF2) menerima limpasan dari blok 2, 17, dan 18. Perencanaan skema saluran drainase, yang dimaksud, disajikan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Skema Sistem Drainase pada PCSWMM

Sistem drainase tersebut kemudian dimodelkan pada 7 kondisi untuk menentukan LID yang paling efektif dalam menurunkan hidrograf limpasan pada kedua titik outlet. Skenario eksisting memodelkan kondisi lokasi studi saat belum terbangun dan masih alami. Pemodelan kondisi alami menggunakan persentase lahan terbangun (%Imperv) sebesar 1 dan kekasaran permukaan lahan tidak kedap air (NPerv) sebesar 0,35. Di sisi lain, skenario terbangun memodelkan kondisi setelah terjadinya perubahan tata guna lahan akibat pembangunan dan persentase lahan terbangun (%Imperv) sebesar 45-60% sedangkan kekasaran permukaan lahan tidak kedap air (NPerv) sebesar 0,35. Kedua skenario tersebut akan dijadikan skenario pembandingan untuk 5 skenario selanjutnya. Model kondisi terbangun akan digunakan untuk pemodelan skenario dengan adanya penerapan LID. LID yang digunakan ialah *Green Roof* dan *Rainwater Harvesting* jenis tanah pada KIPP sebagian besar adalah lempung.

Penentuan efektifitas *Green Roof* dilakukan dengan mengubah-ubah persentase lahan terbangun yang diaplikasikan *Green Roof*. Persentase *Green Roof* pada lahan terbangun mengikuti persentase luasan gedung terbangun di atas lahan sebab *Green Roof* diterapkan pada atap-atap bangunan. Atap

bangunan pada umumnya menutupi 40-50% dari semua lahan terbangun [13]. Oleh karena itu, penerapan *Green Roof* yang dimodelkan pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3 menggunakan persentase yang berbeda-beda. Skenario 1 memodelkan kondisi 50% lahan terbangun sedangkan Skenario 2 dan Skenario 3 meningkat masing-masing menjadi 75% dan 100%. Di sisi lain, penerapan *Rainwater Harvesting* dimodelkan pada Skenario 4 dan Skenario 5. Untuk *Rainwater Harvesting*, hanya 1-5% dari lahan yang tersedia pada IKN memungkinkan untuk dibangun tampungan. Akan dilakukan 2 skenario pemodelan *Rainwater Harvesting*, Skenario 4 dengan 5% luas lahan dapat digunakan untuk tampungan, sedangkan Skenario 5 hanya 1% luas lahan yang bisa digunakan untuk tampungan. Dengan demikian Skenario 4 mempunyai rasio tampungan 54 m³ untuk setiap 200 m² lahan dengan dimensi tampungan 4 m x 4,5 m, sedangkan Skenario 5 rasionya adalah 12 m³ tampungan untuk setiap 200 m² lahan terbangun dengan dimensi tampungan menjadi 2 m x 2 m. Kedalaman tampungan ada kedua skenario adalah sebesar 3 m. 7 kondisi yang dimodelkan tersebut terlampir pada

Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Pemodelan Dengan PCSWMM

Skenario	Kondisi
Existing	Alami
Terbangun	Terbangun
Skenario 1	Terbangun + <i>Green Roof</i> 50%
Skenario 2	Terbangun + <i>Green Roof</i> 75%
Skenario 3	Terbangun + <i>Green Roof</i> 100%
Skenario 4	Terbangun + <i>Rainwater Harvesting</i> (54 m ³ setiap 200 m ²)
Skenario 5	Terbangun + <i>Rainwater Harvesting</i> (12 m ³ setiap 200 m ²)

Pemilihan kondisi terbaik ditentukan dengan meninjau penurunan debit puncak dan volume limpasan pada kedua titik outlet pada kondisi penerapan LID yang dibandingkan dengan kondisi alami. Nilai debit puncak didapatkan dari hidrograf hasil pemodelan dengan menggunakan PCSWMM. Di sisi lain, perhitungan volume limpasan dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan menghitung luas di bawah hidrograf dan perkalian antara hujan efektif dengan luas DTA. Hasil dari perbandingan tersebut menunjukkan hanya terdapat selisih hasil terbesar 4,409% untuk Kondisi Eksisting dan 4,304% pada Kondisi Terbangun. Karena selisih hasil pada kedua kondisi di bawah 5%, maka perhitungan volume limpasan dilakukan dengan menghitung luas daerah di bawah hidrograf karena lebih sederhana.

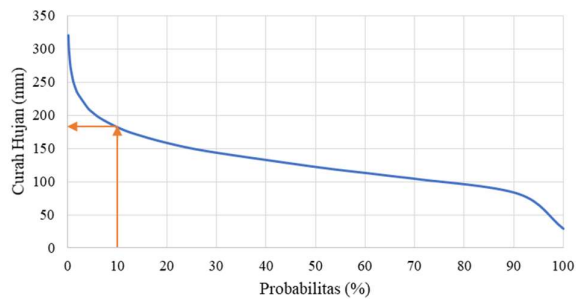
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Nilai CN

Nilai CN ditentukan berdasarkan kelas *Hydrological Soil Group* (HSG) dan tata guna lahan. Berdasarkan pengolahan data dan survey lapangan, tanah pada lokasi studi berjenis lempung (*clay*) dan memiliki kelas HSG D. Nilai CN yang digunakan adalah 80 untuk lahan tidak kedap air pada kondisi terbangun, dan 77 untuk hutan pada kondisi alami.

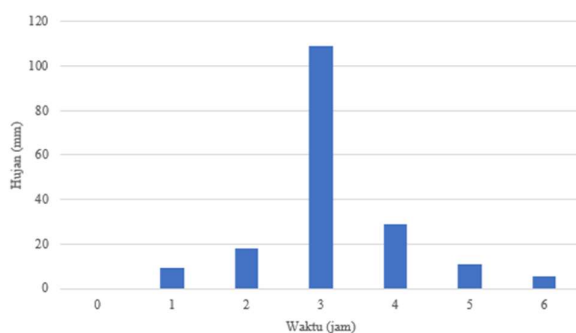
3.2. Analisis Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan untuk analisis curah hujan rencana diperoleh dari Stasiun Hujan Sepinggan dari tahun 1990 hingga 2019. Analisis frekuensi hujan rencana menggunakan distribusi probabilitas GEV karena memiliki nilai simpangan terkecil. Hasil analisis frekuensi hujan rencana pada berbagai periode ulang diberikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik Curah Hujan Analisis Frekuensi GEV

Hujan rencana dengan periode ulang 10 tahun kemudian didistribusikan menjadi hujan jam-jaman menggunakan PSA007 dengan durasi hujan 6 jam. Hasil distribusi hujan jam-jaman tersebut disajikan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Hyteograf Distribusi Hujan PSA007 Untuk Periode Ulang 10 tahun

3.3. Parameter Saluran Drainase dan Parameter Sungai

Posisi saluran drainase direncanakan sesuai peta tata letak bangunan dan peta kontur. Kemiringan saluran direncanakan 0,25% karena akan dilakukan *grading* permukaan tanah.

Dimensi saluran drainase direncanakan berdasarkan penampang ekonomis ($B = 2H$). Apabila kriteria tersebut tidak dapat terpenuhi, maka akan dilakukan penyesuaian dengan tinggi saluran maksimum 1 m. Saluran drainase akan mengalirkan aliran dari masing-masing DTA ke sungai yang mempunyai dasar 1 m di bawah dasar *outlet* saluran drainase. Sungai dimodelkan dengan asumsi berbentuk trapesium ganda dengan kemiringan 0,25% karena keterbatasan data penampang melintang. Lebar bagian atas sungai diasumsikan 15 m dengan kedalaman 2 m. Pengaruh *backwater* pada saluran juga tidak diperhitungkan karena keterbatasan data penampang sungai tersebut dan terdapat terjunan 1 m pada outlet saluran drainase.

3.4. Penentuan Jenis dan Parameter LID

Penentuan jenis LID yang digunakan dilakukan berdasarkan kelas HSG dan jenis tanah yang terdapat pada kawasan KIPP yang ditinjau. Tanah berjenis lempung dengan kelas HSG D, merupakan jenis tanah dengan kemampuan infiltrasi kecil, sehingga LID yang mengandalkan infiltrasi untuk mengurangi limpasan tidaklah cocok. Oleh sebab itu, LID yang digunakan adalah *Green Roof* dan *Rainwater Harvesting*. Nilai parameter untuk memodelkan LID mengikuti referensi dari manual program PCSWMM. Nilai-nilai parameter tersebut disajikan pada **Tabel 3** untuk *Green Roof* dan

Tabel 4 untuk *Rainwater Harvesting*.

Tabel 3. Parameter *Green Roof* [11]

Lapisan	Parameter	Nilai
Surface	<i>Bern Height</i> (mm)	20
	<i>Vegetation Volume</i> (fraction)	0,1
	<i>Surface Roughness</i> (Manning, n)	0,3
Soil	<i>Surface Slope</i> (%)	1
	<i>Thickness</i> (mm)	120
Drainage Mat	<i>Porosity</i> (mm)	0,5
	<i>Thickness</i> (mm)	25
	<i>Void Fraction</i>	0,5
	<i>Roughness</i> (Manning, n)	0,2

Tabel 4. Parameter *Rainwater Harvesting* [11]

Lapisan	Parameter	Nilai
Storage	<i>Barrel Height</i> (mm)	3000
	<i>Drain Coeficient</i> (mm/jam)	0
	<i>Drain Exponent</i>	0,5
Underdrain	<i>Drain Offset Height</i> (mm)	1500
	<i>Drain Delay</i> (jam)	1
	<i>Open Level</i> (mm)	1
	<i>Closed Level</i> (mm)	0

Khusus untuk *Green Roof*, lebar dari *Green Roof* sangat berpengaruh terhadap efektifitas dari kinerja *Green Roof*.

Nilai lebar *Green Roof* tersebut sama besar dengan lebar bangunan gedung. Namun karena keterbatasan data bangunan gedung, maka lebar gedung diasumsikan sebesar 10 m, 15 m, dan 20 m yang disesuaikan dengan luas daerah terbangun. Nilai dari lebar *Green Roof* (gedung) yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Asumsi Lebar Gedung untuk Lebar *Green Roof* [11]

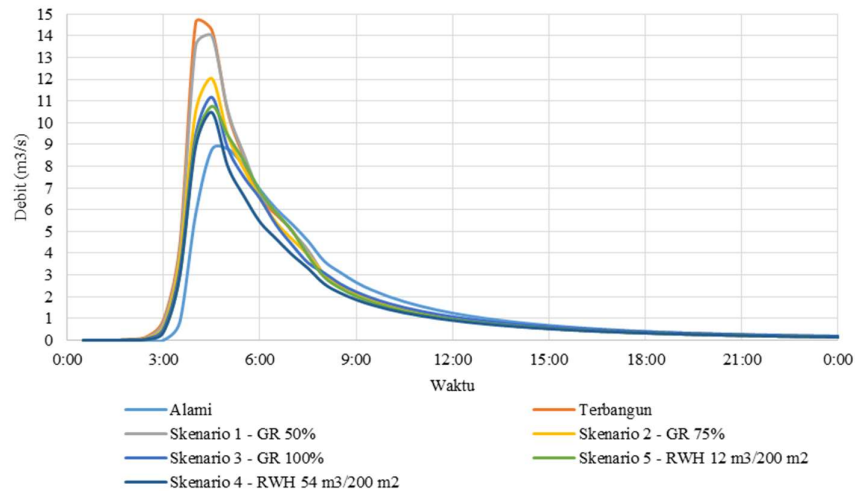
Luas Daerah Terbangun (ha)	Lebar Gedung (m)
0 - 1,5	10
1,5 - 3	15
> 3	20

3.5. Hidrograf Hasil Pemodelan PCSWMM

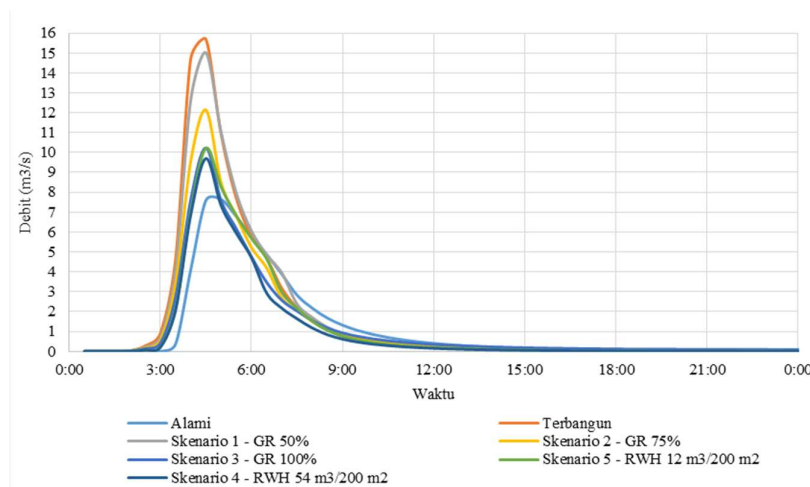
Hasil pemodelan dengan PCSWMM disajikan dalam bentuk hidrograf yang ditinjau pada kedua titik outlet, yaitu SOF1 dan SOF2, untuk setiap skenario. Hidrograf pada

SOF1 dapat dilihat pada **Gambar 7** berikut, sementara hidrograf pada SOF2 dapat dilihat pada **Gambar 8**.

Berdasarkan **Gambar 7** dan **Gambar 8**, dapat dilihat bahwa bentuk hidrograf dengan debit puncak yang paling rendah ialah Skenario eksisting, sementara nilai debit puncak yang paling tinggi ialah Skenario Terbangun. Apabila dilihat dari bentuk hidrografnya, skenario yang paling efektif dan paling mendekati kondisi alami ialah Skenario 3, dan Skenario 4. Skenario 3 merupakan skenario ekstrim dari penerapan *Green Roof* karena penerapan *Green Roof* hingga 100% dari lahan terbangun tidaklah mungkin. Hal tersebut dikarenakan *Green Roof* hanya dapat diaplikasikan pada gedung dan bangunan, sementara tidak mungkin 100% lahan terbangun akan digunakan sepenuhnya untuk bangunan dan gedung, karena masih terdapat infrastruktur terbangun lain seperti jalan, lahan parkir, dan lain-lain. Untuk menentukan skenario yang paling efektif, tidak hanya bentuk dari hidrograf melainkan dari nilai penurunan debit puncak dan penurunan volume limpasan pada kedua titik outlet.



Gambar 7. Hidrograf Setiap Skenario pada SOF1



Gambar 8. Hidrograf Setiap Skenario pada SOF2

Nilai debit puncak dan persentase penurunan yang dihasilkan dari pemodelan Skenario 1 sampai Skenario 5 dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Nilai Debit Puncak dan Persentase Penurunan Debit Puncak terhadap Kondisi Terbangun SOF1 dan SOF2

Skenario	SOF 1		SOF 2	
	Qmax (m ³ /s)	Penurunan (%)	Qmax (m ³ /s)	Penurunan (%)
Eksisting	8,793	-	7,637	-
Terbangun	14,602	-	15,695	-
Skenario 1	14,015	4,017	15,019	4,306
Skenario 2	12,042	17,530	12,134	22,688
Skenario 3	11,176	23,462	10,228	34,830
Skenario 4	10,479	28,236	9,695	38,229
Skenario 5	10,762	26,294	10,214	34,923

Berdasarkan **Tabel 6** dapat disimpulkan bahwa nilai debit terendah ialah pada Skenario Eksisting, yaitu 8,793 m³/s pada SOF1 dan 7,637 m³/s pada SOF2. Di sisi lain, debit puncak terbesar terdapat pada Skenario terbangun, pada SOF1 sebesar 14,602 m³/s sementara pada SOF2 bernilai 15,695 m³/s. Dengan penerapan LID, debit puncak dari Skenario Terbangun tersebut akan diturunkan sampai tingkat kondisi Skenario Eksisting.

Penerapan *Green Roof* pada Skenario 1 menyebabkan debit puncak pada SOF1 berkurang sebesar 4,017% menjadi 14,015 m³/s sementara pada SOF2 berkurang sebesar 4,306% menjadi 15,019 m³/s. Hal ini menunjukkan bahwa Skenario 1 belum cukup untuk menurunkan debit puncak Skenario Terbangun, sehingga persentase penerapan *Green Roof* perlu diperbesar.

Pada Skenario 2, persentase penerapan *Green Roof* ditingkatkan menjadi 75%. Penurunan debit puncak pada SOF1 menjadi sebesar 17,530% dengan debit puncak sebesar 12,042 m³/s, sementara pada SOF2 penurunan debit menjadi

22,688% dengan nilai debit puncak sebesar 12,134 m³/s. Karena nilai debit puncak pada Skenario 2 masih belum mendekati nilai debit puncak pada Skenario Eksisting, maka persentase lahan yang diaplikasikan *Green Roof* perlu ditingkatkan.

Pada Skenario 3, persentase lahan yang digunakan untuk *Green Roof* ditingkatkan menjadi 100%. Skenario 3 ini merupakan kondisi ekstrim di mana pada kenyataan tidak dapat diterapkan, melainkan hanya untuk pembandingan. Debit puncak turun sebesar 23,462% pada SOF1 menjadi 11,176 m³/s sementara pada SOF2 turun sebesar 34,830% menjadi 10,228 m³/s. Skenario 3 ini merupakan kondisi dengan penerapan *Green Roof* yang paling maksimal. Apabila dibandingkan dengan Skenario 1 dan Skenario 2, nilai debit puncak yang didapat dari Skenario 3 merupakan debit yang paling rendah diantara skenario-skenario yang mengaplikasikan *Green Roof*.

Di sisi lain, Skenario 4 dan Skenario 5 menerapkan tampungan untuk Rainwater Harvesting. Pada Skenario 4, diterapkan tampungan dengan rasio 54 m³ setiap 200 m² lahan terbangun. Penurunan debit pada SOF1 menjadi sebesar 28,236% dengan debit puncak 10,479 m³/s, sementara pada SOF2 debit puncak turun sebesar 38,229% menjadi 9,695 m³/s. Skenario 4 merupakan skenario dengan nilai debit puncak yang paling mendekati Skenario Eksisting, namun rasio yang digunakan membutuhkan 5% dari lahan terbangun untuk dijadikan tampungan *Rainwater Harvesting*. Oleh sebab itu, rasio perlu diturunkan supaya hanya menggunakan 1% dari lahan terbangun untuk tampungan *Rainwater Harvesting*.

Pada Skenario 5, rasio untuk *Rainwater Harvesting* adalah 12 m³ setiap 200 m² lahan terbangun. Skenario 5 menurunkan debit sebesar 26,294% menjadi 10,762 m³/s pada SOF1 dan menurunkan debit pada SOF2 sebesar 34,923% menjadi 10,214 m³/s. Terlihat bahwa penurunan rasio tidak menyebabkan perubahan persentase penurunan yang signifikan.

Selain penurunan debit puncak, penurunan volume limpasan juga perlu diperhatikan. Nilai volume limpasan dan persentase penurunan volume limpasan setiap skenario dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Nilai Volume Limpasan dan Persentase Penurunan Volume Limpasan Terhadap Kondisi Terbangun SOF1 dan SOF2

Skenario	SOF 1		SOF2	
	Volume Limpasan (m ³)	Penurunan (%)	Volume Limpasan (m ³)	Penurunan (%)
Eksisting	155.079,521	-	99.559,120	-
Terbangun	178.031,827	-	138.907,481	-
Skenario 1	177.136,497	0,503	137.528,121	0,993
Skenario 2	164.074,665	7,840	115.491,304	16,857
Skenario 3	158.371,327	11,043	104.248,339	24,951
Skenario 4	139.762,723	21,496	87.695,063	36,868
Skenario 5	156.428,847	12,134	101.944,214	26,610

Terlihat dari **Tabel 7**, volume limpasan terendah di kedua titik outlet terdapat pada Skenario Eksisting dengan nilai 155.079,521 m³ pada SOF1 dan 99.559,120 m³ pada SOF2. Setelah dilakukan pembangunan, volume limpasan meningkat menjadi 178.031,827 m³ pada SOF1 dan 138.907,481 m³ pada SOF2. Dengan penerapan *Green Roof* pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3, volume limpasan dari Skenario Terbangun mengalami penurunan. Sama halnya seperti debit puncak, volume limpasan terkecil dari ketiga skenario dengan *Green Roof* tersebut terdapat pada Skenario 3. Skenario 1 hanya menurunkan 0,503% pada SOF1 dan 0,993% pada SOF2. Sementara itu, Skenario 2 menurunkan volume limpasan sebesar 7,840% pada SOF1 dan 16,857% pada SOF2. Kedua skenario tersebut belum mendekati nilai volume limpasan Skenario Eksisting pada kedua titik outlet. Skenario 3 merupakan skenario ekstrim dan menurunkan volume limpasan sebesar 11,043% menjadi 158.371,327 m³ pada SOF1 dan pada SOF2 turun sebesar 24,951% menjadi 104.248,339 m³. Meskipun volume limpasan Skenario 3 paling mendekati Skenario Eksisting, Skenario 3 merupakan skenario ekstrim yang tidak dapat diaplikasikan.

Di sisi lain, volume limpasan dari penerapan *Rainwater Harvesting* pada Skenario 4 dan Skenario 5 lebih mendekati Skenario Eksisting dibandingkan Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3. Skenario 4 berhasil menurunkan volume limpasan sebesar 21,496% menjadi 139.762,723 m³ pada SOF1 dan penurunan sebesar 36,868% menjadi 87.695,063 m³ pada SOF2. Volume limpasan pada Skenario 4 tersebut di bawah volume limpasan pada Skenario Eksisting, namun Skenario 4 membutuhkan luas lahan yang besar yaitu 5%. Lima persen tersebut tergolong besar karena terdapat kendala keterbatasan lahan yang mana hanya tersedia luas lahan maksimal 5% untuk dijadikan volume tampungan. Oleh karena itu, penggunaan persentase lahan untuk volume tampungan akan lebih baik jika dapat diperkecil. Sementara itu, pada Skenario 5 volume limpasan pada SOF1 turun sebesar 12,134% menjadi 156.428,847m³ sementara pada SOF2 turun sebesar 26,610% menjadi 101.944,214 m³. Terlihat bahwa volume limpasan

pada Skenario 5 lebih mendekati Skenario Eksisting dibandingkan Skenario 3, namun tidak sebaik Skenario 4. Meski demikian, Skenario 5 lebih efektif untuk diterapkan daripada Skenario 4 karena membutuhkan lahan untuk *Rainwater Harvesting* yang lebih kecil.

Berdasarkan perbandingan antara 2 jenis LID tersebut, *Rainwater Harvesting* lebih efektif untuk diterapkan pada IKN. Hal tersebut karena *Rainwater Harvesting* menyediakan kebutuhan persentase lahan yang lebih kecil dibandingkan *Green Roof*, namun memberikan penurunan debit puncak dan volume limpasan yang lebih tinggi. Meski demikian, bukan berarti *Green Roof* merupakan LID yang kurang efektif secara umum. Efektifitas dari *Green Roof* sangat terpengaruh oleh dimensinya [6]. Pada perencanaan IKN, dimensi dari bangunan masih belum tersedia sehingga dilakukan asumsi ukuran bangunan menurut luas DTA. Asumsi ini dapat menyebabkan kurangnya tingkat efektifitas dari *Green Roof* tersebut.

Pada *Green Roof* juga terlihat bahwa persentase lahan berpengaruh terhadap efektifitas dari *Green Roof* tersebut. *Green Roof* pada umumnya menempati 40-50% dari seluruh lahan terbangun dengan penurunan debit puncak berkisar 45-70% [13]. Ketika persentase tersebut divariasikan seperti pada 3 skenario pada studi ini, terlihat bahwa perubahan debit puncak dan volume limpasan cukup signifikan. Hal tersebut terlihat signifikan karena variasi yang digunakan adalah 50%, 75%, dan 100%. Seperti telah dibahas di atas, ketidaksesuaian antara hasil analisis dan pengalaman di tempat lain atas penurunan debit dapat terjadi karena dimensi *Green Roof* yang diasumsikan.

Di sisi lain, besar luas lahan untuk *Rainwater Harvesting* tidak terlihat berpengaruh terhadap efektifitas dari *Rainwater Harvesting*. Hal ini dapat terjadi karena lahan yang dapat dialokasikan untuk tampungan di IKN hanya 1-5% sehingga perubahan persentase lahan tidak begitu terlihat signifikan. Pada umumnya, penerapan *Rainwater Harvesting* direkomendasikan menutup 15-50% dengan penurunan debit puncak berkisar antara 24-77% [6].

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. LID yang dapat diaplikasikan pada kawasan KIPP merupakan *Green Roof* dan *Rainwater Harvesting*. Hal tersebut karena jenis tanah merupakan tanah lempung (*clay*) dengan kemampuan infiltrasi rendah sehingga, LID yang mengandalkan infiltrasi tidak cocok untuk diterapkan.
2. *Green Roof* kurang efektif untuk diterapkan dalam kawasan KIPP yang ditinjau. Salah satu faktor penyebabnya adalah kurangnya data dimensi bangunan yang direncanakan, padahal lebar dari *Green Roofs* sangat berpengaruh terhadap efektifitas dari *Green Roof*. Penerapan *Rainwater Harvesting* dengan rasio tampungan 12 m³ setiap 200 m² lahan terbangun pada Skenario 5 merupakan Skenario yang paling optimal, yaitu penggunaan lahan yang relatif kecil akan tetapi mampu menahan limpasan seperti kondisi alami.

Daftar Pustaka

- [1] Butler, D. (2011). *Urban Drainage (3rd Edition)*. London: Spon Press.
- [2] Hoyer, J. (2011). *Water Sensitive Urban Design: Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future*. Berlin: JOVIS.
- [3] EPA. (2012). *LID Barrier Busters Fact Sheet Series*. Washington: EPA.
- [4] Martin-Mikle, C., de Beurs, K., Julian, J., & Mayer, P. (2015). Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed. *Landscape Urban Plan*, 29-41.
- [5] Montalto, F., Behr, C., Alfredo, K., Ayre, M., & Walsh, M. (2007). Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control. *Landscape and Urban Planning* 82, 117-131.
- [6] Ahiablame, L., & Shayka, R. (2016). Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. *Journal of environmental management*, 81-91.
- [7] Zhou, Q., Panduro, T., Thorsen, B., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2013). Adaptation to Extreme Rainfall with Open Urban Drainage System: An Integrated Hydrological Cost-Benefit Analysis. *Environmental Management* 51, 580-601.
- [8] Muraleedharam, G., Soares, C. G., & Lucas, C. (2009). Characteristic And Moment Generating Functions of Generalised Extreme Value Distribution (GEV). *Nova Science Publishers, Inc.*, 2-10.
- [9] Christian, K., Yudianto, D., & Rusli, S. R. (2017). Time-Distribution Analysis For Flood Discharge Computation Case Study Upper Cikapundung Watershed. *Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia*, 1-8.
- [10] Chow, V. T. (1988). *Applied Hydrology*. USA: McGraw Hill.
- [11] Rossman, L. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. Cincinnati: EPA.
- [12] Dahmen, E. R. (1990). *Screening of Hydrological Data: Tests for Stationarity and Relative Consistency*. Netherlands: ILRI Publication No.49.
- [13] Mentens, J., & D., R. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 217-226.
- [14] Eckart, K., McPhee, Z., & Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development – A review, *Scient of. The Science of the Total Environment*, 413-432.
- [15] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Cipta Karya; Direktorat Pengembangan Kawasan Pemukiman. (2021). *Rencana Induk Terintegrasi Infrastruktur Dasar Pemukiman KIPP-IKN Tahun Anggaran 2021*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.