

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Drainase

Drainase berasal dari kata *drainage* yang mempunyai arti mengalirkan, mengeringkan, atau membuang air. Secara umum drainase merupakan ilmu yang mempelajari tentang usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan pada suatu kawasan (Riduansyah et al, 2022). Drainase merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk menangani permasalahan air berlebih, yang tidak diperlukan baik di atas permukaan tanah maupun yang berada di permukaan tanah (Humairo Saidah et al., 2021). Tujuan dari drainase adalah membuang air berlebih di atas permukaan tanah ataupun menurunkan atau menjaga muka air tanah supaya tidak menjadi genangan, sehingga dampak negatif adanya genangan air dapat dihindari (Dwi Nurwahyuni, 2010).

2.2 Banjir

Banjir adalah genangan air pada tanah sampai melebihi batas tinggi tertentu yang mengakibatkan kerugian (Safitri et Al, 2022). Banjir adalah masalah umum yang sering terjadi di wilayah Indonesia, terutama di wilayah pada penduduk, contohnya di daerah perkotaan (Safitri et Al, 2022). Banjir dapat terjadi karena peluapan air yang berlebihan di suatu wilayah akibat hujan besar, pecahnya bendungan sungai, meningkatnya air di permukaan laut, es mencair (Safitri et Al, 2022).

Banjir dapat menjadi sebuah peristiwa atau bencana bagi manusia ketika terjadi pada kawasan yang merupakan tempat aktivitas manusia. Terdapat dua klasifikasi banjir, kedua peristiwa banjir terjadi karena limpasan air banjir dari sungai yang disebabkan oleh debit banjir yang lebih besar dari kapasitas pengaliran sungai yang ada (Safitri et Al, 2022).

2.3 Tata Guna Lahan

Tata guna lahan dapat didefinisikan sebagai suatu hasil produk akhir dari persebaran manusia di permukaan bumi dalam hubungannya dengan lingkungan geografis (Gultom et al., 2022). Penggunaan lahan penggambaran dari bentuk

penggunaan atau fungsi yang mewujudkan beberapa bentuk tutupan lahan. Ketidakseimbangan antara penggunaan lahan dengan alam dapat mengakibatkan permasalahan.

Perubahan fungsi lahan di daerah tertentu dari kawasan pertanian atau lahan hutan yang juga berfungsi sebagai daerah resapan air, berubah menjadi daerah perumahan, industri dan kegiatan usaha non pertanian lainnya, berdampak pada ekosistem alami setempat (Hidayat et al., 2024). Perubahan tata guna lahan mengakibatkan beberapa fenomena seperti penurunan jumlah dan mutu lingkungan, baik kualitas maupun kuantitasnya, yaitu menurunnya sumberdaya alam seperti, tanah dan keanekaragaman hayati serta adanya perubahan perilaku tata air (siklus hidrologi). Perubahan siklus hidrologi adalah terjadinya perubahan perilaku dan fungsi air permukaan, yaitu menurunnya aliran dasar dan meningkatnya aliran permukaan, yang menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan tata air dan terjadinya banjir dan genangan di daerah hilir (Hidayat et al., 2024).

2.4 Daerah Tangkapan Air (*Catchment Area*)

Daerah tangkapan air merupakan daerah cakupan atau tangkapan apabila terjadi hujan. Daerah tangkapan air ditentukan dari peta topografi dan daerah aliran sungainya. Prinsip dasar dari penentuan daerah tangkapan adalah dengan prinsip beda tinggi. Air akan mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang lebih rendah.

Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggungan gunung/pegunungan dimana air hujan yang jatuh didaerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu stasiun yang ditinjau (Muhammad Khalis Ilmi at Al, 2020). Daerah Tangkapan Air (DTA) merupakan bagian terpenting dari suatu DAS, karena di dalam DAS terdapat sub DAS kemudian di dalam sub DAS terdapat DTA. Air hujan yang ditampung pada daerah tangkapan air akan mengalir melalui aliran permukaan, aliran dibawah permukaan dan aliran dalam bergerak menuju aliran sugai yang membentuk DAS.

2.5 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi adalah proses pengolahan data curah hujan, data luas dan bentuk pengaliran (*catchment area*), data kemiringan lahan atau beda tinggi, dan

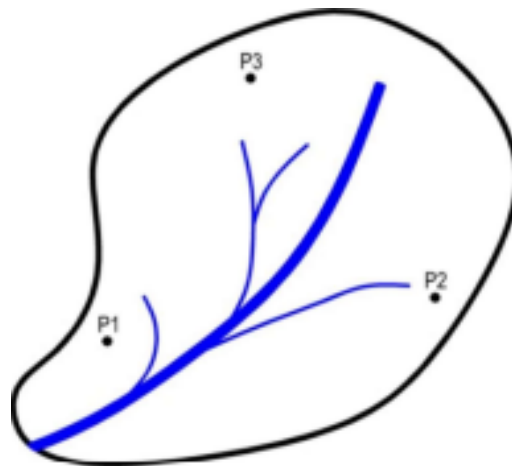
data-data tata guna lahan. Analisis hidrologi diperlukan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana yang mana debit banjir rencana akan berpengaruh besar terhadap besarnya debit maksimum (Muhammad Khalis Ilmi at Al, 2020).

2.5.1 Hujan Kawasan

Curah hujan yang jatuh ke permukaan tidak akan semuanya meresap ke dalam tanah atau digunakan oleh tanaman akan tetapi sebagian hujan yang jatuh akan menjadi limpasan air permukaan (*surface runoff*) (PUH, Tahun, 2020). Dalam analisis hidrologi untuk menentukan hujan rerata wilayah, ada tiga macam metode, (Adam et al., 2019) yaitu :

- a) Metode Rerata Aritmatik (Aljabar)

Metode ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran pada beberapa stasiun dalam waktu bersamaan, kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah stasiun yang ada. Perhitungan menggunakan stasiun hujan yang berada di dalam DAS, namun apabila stasiun berada diluar DAS dan masih berdekatan dapat diperhitungkan.



Gambar 2.1 Metode Rerata Aritmatik
Sumber : (Muslich, 2020)

Hujan rerata pada suatu DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{p_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2.1)$$

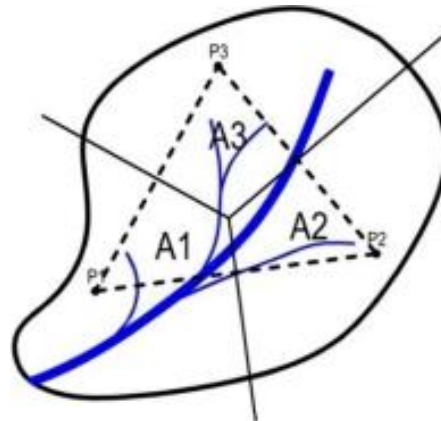
Dimana:

	Simbol	Arti
P		Hujan rerata wilayah (mm)

Simbol	Arti
P1, P2, P3,...Pn	Hujan titik pengamatan pada stasiun 1,2,3,...,n
n	Jumlah titik pengamatan

b) Metode Poligon Thiessen

Dalam metode ini, curah hujan rata-rata didapatkan dengan membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua stasiun hujan. Dengan demikian setiap stasiun penakar hujan akan terletak pada suatu wilayah poligon tertutup luas tertentu.



Gambar 2.2 Metode Poligon Thiessen
Sumber : (Muslich, 2020)

$$P = \frac{A1.p1 + A2.P2 + A3.P3 + \dots + An.Pn}{A1 + A2 + A3 + \dots + An} \quad (2.2)$$

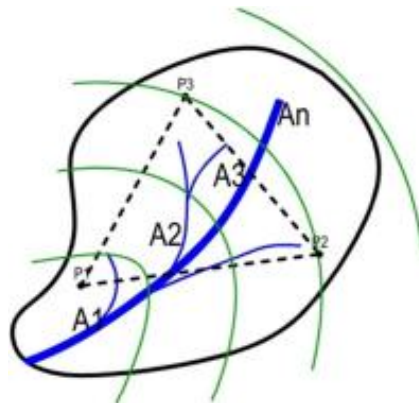
Hujan rerata pada suatu DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Simbol	Arti
P	Hujan rerata wilayah (mm)
P1, P2, P3,...,Pn	Hujan pada stasiun 1,2,3,...,n
A1, A2, A3,...,An	Jumlah stasiun 1,2,3,...,n

c) Metode Isohyet

Isohyet merupakan garis yang menghubungkan titik-titik yang memiliki kedalaman hujan sama. Metode ini menganggap hujan pada suatu daerah yang berada diantara dua garis isohiet adalah merata atau sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet tersebut dan merupakan cara yang paling teliti untuk memperhitungkan kedalaman dari hujan rerata di suatu daerah, tetapi

membutuhkan pekerjaan dan perhatian lebih banyak dibandingkan dua metode lainnya.



Gambar 2.3 Metode Isohyet
Sumber : (Muslich, 2020)

Hujan rerata pada suatu DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{A_1 \cdot \frac{I_1 I_2}{2} + A_2 \cdot \frac{I_2 I_3}{2} + \dots + A_n \cdot \frac{I_n I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

Dimana:

Simbol	Arti
P	Hujan rerata wilayah (mm)
$I_1, I_2, I_3, \dots, P_n$	Hujan pada stasiun ke 1,2,3,...,n, n+1
$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$	Luas daerah yang dibatasi oleh garis isohyet ke 1 dan 2

2.5.2 Analisis Frekuensi

1. Metode Distribusi Normal

Rumus yang digunakan dalam analisis frekuensi banjir menggunakan metode ini (Nahak, 2017), sebagai berikut:

$$X_t = X_r + (K_t \times S_x) \quad (2.4)$$

Dimana:

Simbol	Arti
X_t	Perkiraan nilai curah hujan (mm)
X_r	Curah hujan rerata (mm)
K_t	Nilai faktor frekuensi distribusi
S_x	Simpangan baku

2. Metode Distribusi Log Normal

Metode distribusi ini adalah hasil transformasi distribusi normal dengan mengubah variabel y dengan nilai logaritmik variabel x (Nahak, 2017). Rumus yang digunakan dalam analisis frekuensi banjir menggunakan metode ini adalah:

$$\text{Log}X_t = X_r + (K_t \times S_{\log x}) \quad (2.5)$$

$$X_t = (10)^{\log X_t} \quad (2.6)$$

Dimana:

Simbol	Arti
$\log X_t$	Perkiraan nilai curah hujan (mm)
$S_{\log x}$	Standar deviasi

3. Metode Distribusi Log Person III

Rumus yang digunakan dalam analisis frekuensi banjir menggunakan metode ini (Nahak, 2017), sebagai berikut:

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_r + (G_t \times S_{\log x_t}) \quad (2.7)$$

$$X_t = (10)^{\log X_t} \quad (2.8)$$

Dimana:

Simbol	Arti
$\log X_t$	Perkiraan nilai curah hujan (mm)
$\log X_r$	Curah hujan rerata
G_t	Koefisien frekuensi
$S_{\log x_i}$	Standar deviasi

2.5.3 Uji Distribusi

1. Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat adalah uji kesesuaian distribusi dengan penyimpangan data yang digunakan ke arah vertikal agar dapat mengetahui data yang digunakan sesuai atau tidak terhadap jenis sebaran teoritis yang telah dipilih. Nilai χ^2 yang telah dihitung dibandingkan dengan nilai χ^2 yang didapat dari tabel dengan nilai keyakinan tertentu. Apabila nilai χ^2 hitung $<$ χ^2 yang berasal dari tabel maka data telah sesuai (Heryana, 2020).

$$k = 1 + (3.322 \times \log n) \quad (2.9)$$

$$DK = K - (P + 1) \quad (2.10)$$

$$EF = \frac{n}{K} \quad (2.11)$$

$$\Delta X_i = \frac{\text{Log}X_i - \text{Log}X_{i \text{ min}}}{K - 1} \quad (2.12)$$

$$\text{Maks tiap kelas} = \text{Log}X_{i \text{ min}} + EF \quad (2.13)$$

Dimana:

Simbol	Arti
K	Banyak kelas
ΔX_i	Selisih X_i
DK	Derajat kebebasan
EF	Nilai yang diharapkan
OF	Nilai yang diamati

2. Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov adalah uji kesesuaian distribusi dengan pembelokan data yang digunakan pada arah horizontal agar dapat mengetahui apakah data yang digunakan sesuai atau tidak terhadap jenis sebaran teoritis yang telah dipilih. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan perbandingan probabilitas setiap data, perbandingan dilakukan terhadap sebaran empiris dan sebaran teoritis yang dilambangkan dalam (Δ). Nilai delta maksimal dibandingkan dengan nilai delta kritis yang diperoleh dari tabel dengan nilai keyakinan tertentu. Apabila nilai delta maks lebih kecil daripada nilai delta kritis maka distribusi frekuensi yang telah dipilih dapat diterima (Limantara 2010, n.d.).

$$P_{(x)} = \frac{m}{n + 1} \quad (2.14)$$

$$P_{(x)} = 1 - P_{(x)} \quad (2.15)$$

$$P'_{(x)} = \frac{m}{n + 1} \quad (2.16)$$

$$P'_{(x <)} = 1 - P'_{(x)} \quad (2.17)$$

$$\Delta P = P_{(x <)} - P'_{(x)} \quad (2.18)$$

Dimana:

Simbol	Arti
$P_{(x)}$	Peluang teoritis

Simbol	Arti
$P'_{(\times<)}$	Peluang empiris

2.5.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan ketinggian atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Semakin singkat intensitas hujan maka waktu yang diperlukan semakin lama. Dan sebaliknya semakin lama intensitas huja, maka waktu yang perlukan semakin pendek (Gultom et al., 2022). Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas – Durasi – Frekuensi (*IDF = Intensity – Duration – Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit untuk membentuk lengkung IDF.

Sedangkan hujan yang turun selama 5 menit sampai 2 jam metode yang dapat digunakan untuk menghitung Intensitas curah hujan adalah:

1. Rumus Talbot (1881)

Rumus Talbot banyak digunakan karen mudah diterapkan dimana tetapan tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang diukur.

$$I \frac{a}{t + b} \quad (2.19)$$

Dimana:

Simbol Arti

I	= Intensitas hujan (mm/jam)
t	= Lamanya hujan (jam)
a & b	= Konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi

2. Rumus Sherman (1905)

Rumus Sherman biasanya digunakan dan cocok untuk hujan yang lamanya lebih dari dua jam. Perhitungan untuk metode ini menggunakan rumus sebagai berikut.

$$I \frac{a}{t^n} \quad (2.20)$$

Dimana:

Simbol Arti

I	= Intensitas hujan (mm/jam)
t	= Waktu hujan (jam)

Simbol Arti

n = Konstanta

3. Rumus Ishiguro (1953)

Rumus yang dikenal oleh Dr. Ishiguro pada tahun 1953

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (2.21)$$

Dimana:

Simbol Arti

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Waktu hujan (jam)

a & b = Konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi

4. Rumus Mononobe

Apabila data hujan yang tersedia hanyalah data hujan harian, maka dapat menggunakan rumus Mononobe.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.22)$$

Dimana:

Simbol Arti

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)

2.6 Debit Banjir Rencana

Debit rencana dihitung dengan menggunakan rumus rasional. Data yang diperlukan antara lain luas DTA (*Cathment Area* masing-masing saluran), intensitas hujan selama waktu konsentrasi dan nilai koefisien limpasan. Intensitas hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe. Debit kapasitas dihitung menggunakan rumus Manning dengan data masukan yaitu data dimensi saluran. Data-data yang dibutuhkan diantaranya data karakteristik sungai, data hujan, data debit sungai, data hidrograf banjir dan data morfologi sungai. Metode yang digunakan dalam menghitung debit banjir sangat bergantung pada ketersediaan data (Al, 2022).

Perhitungan debit puncak untuk drainase di daerah perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus rasional atau hidrograf satuan. Perhitungan

debit rencana berdasar periode ulang hujan tahunan, 2 tahunan, 5 tahunan dan 10 tahunan, dan 25 tahunan. Data yang diperlukan meliputi data batas dan pembagian daerah tangkapan air, tata guna lahan dan data hujan. Standar yang telah ditetapkan baik debit rencana dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran didapat dipakai dalam perencanaan saluran drainase, Standar desain untuk saluran drainase disajikan pada Tabel 2.1 (Simatupang et al., 2024).

Tabel 2.1 Standar Desain Saluran Drainase

Luas DTA (ha)	Periode Ulang (tahun)	Metode Perhitungan Debit Banjir
< 10	2	Rasional
10 – 100	2 – 5	Rasional
101 – 500	5 – 20	Rasional
> 500	10 – 25	Hidrograf satuan

Besarnya debit rencana drainase perkotaan umumnya dihitung dengan metode rasional. Hal ini karena daerah aliran tidak terlalu luas, kehilangan air sedikit dan waktu genangan relatif pendek. Metode rasional ini sangat mudah digunakan namun terbatas pada DTA dengan ukuran kecil tidak lebih dari 500 ha (Simatupang et al., 2024).

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.23)$$

Dimana:

Q = Debit Rencana (m^3/det);

C = Koefisien aliran permukaan ($0 \leq C \leq 1$)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam);

A = Luas DAS (ha)

2.6.1 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Koefisien limpasan untuk drainase perkotaan sangat dipengaruhi oleh daerah kedap air. Koefisien tersebut merupakan kombinasi tiga faktor yaitu topografi datar, bergelombang, dan berbukit. Dua kategori tata guna lahan dan tiga tekstur tanah (Cambodia, 2020).

Tabel 2.2 Koefisien Limpasan dan Persentase Kedap Air Tata Guna Lahan

Tata guna lahan	Karakteristik	C	Im (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0,90	100	
Industri	Bangunan Penuh	080	80	Berkurang untuk bangunan tidak penuh.
Pemukiman (kepadatan menengah-tinggi)	20 rmh/ha 30 rmh/ha 40 rmh/ha 60 rmh/ha	0,48 0,55 0,65 0,75	30 40 60 75	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
Permukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0,40	<20	CN=85 (Curve Number)
Taman	Daerah datar	0,30	0	
Pedesaan	Tanah berpasir Tanah berat (<i>heavy soil</i>) Daerah irigasi		0 0 0	C = 020; CN = 60 C = 0,35; CN = 75 C = 0,50; CN = 85

Sumber: (Ajar et al., n.d.)

Tabel 2.3 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Tata Guna Lahan

Karakteristik Tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan I
Campuran pasir dan/atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dann sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,30
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Sumber: (Ajar et al., n.d.)

Tabel 2.4 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Tata Guna Lahan

Karakteristik Tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan I
Campuran pasir dan/atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dann sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
Lempung dan sejenisnya	Hutan	0,30
	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Sumber: (Ajar et al., n.d.)

Tabel 2.5 Nilai Koefisien Limpasan

Jenis Daerah	Koefisien Aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien Aliran
Daerah Perdagangan Kota Sekitaran kota	0,70-0,95	Jalan Aspal Aspal dan Beton	0,70-0,95
	0,50-0,70	Batu bata dan batakao	0,70-0,85
Daerah Pemukiman Satu Rumah Banyak Rumah, terpisah Banyak rumah, rapat Pemukiman, pinggiran kota Apartemen	0,30-0,50	Atap Rumah	0,70-0,95
	0,40-0,60	Halaman berumput, tanah pasir	0,05-0,10
	0,60-0,75	Datar, 2% Rata-rata 2-7%	0,10-0,15
	0,25-0,40	Curam, 7% atau lebih	0,15-0,20
Daerah industri Ringan Padat	0,50-0,80	Halaman berumput, tanah pasir padat	0,13-0,17
	0,60-0,90	Datar 2% Rata-rata, 2-7% Curam, 7% atau lebih	

Jenis Daerah	Koefisien Aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien Aliran
Lapangan, kuburan dan sejenisnya	0,10-0,25		
Halaman, jalan kerta api dan sejenisnya	0,20-0,35		
Lahan tidak dipelihara	0,10-0,30		

Sumber: (Ajar et al., n.d.)

2.6.2 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir suatu aliran. Waktu konsentrasi dibagi atas 2 bagian:

- Inlet time* (t_o) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.
- Conduit time* (t_d) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir.

Rumus waktu konsentrasi yang digunakan, sebagai berikut:

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.24)$$

Dengan parameter yang digunakan:

$$t_c = \left(\frac{2}{3}\right) \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \quad (2.25)$$

$$t_c = \frac{Ls}{60v} \quad (2.26)$$

Keterangan:

S = Kemiringan saluran

L = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)

Ls = Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m)

v = Kecepatan rata-rata di dalam saluran (m/det)

n = Angka kekasaran manning

Kecepatan rata-rata dapat dipertimbangkan dari nilai kemiringan rata-rata, seperti yang disajikan pada Tabel 2.6 (Andini, 2023).

Tabel 2.6 Kemiringan Rata-rata terhadap Kecepatan Rata-rata

Kemiringan Rata-rata (%)	Kecepatan Rata-rata (m/det)
<1	0,4
1 sampai <2	0,6
2 sampai <4	0,9
4 sampai <6	1,2
6 sampai 10	1,5
10 sampai <15	2,4

Besarnya debit rencana drainase perkotaan umumnya dihitung dengan metode rasional. Hal ini karena daerah aliran tidak terlalu luas, kehilangan air sedikit dan waktu genangan relatif pendek. Metode rasional ini sangat mudah digunakan namun terbatas pada DTA dengan ukuran kecil tidak lebih dari 500 ha (Kandis, n.d.).

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.27)$$

Dimana:

Q = Debit Rencana (m^3/det);

C = Koefisien aliran permukaan ($0 \leq C \leq 1$)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam);

A = Luas DAS (ha)

2.6.3 Intensitas Hujan

Intensitas hujan mempunyai pengaruh terhadap limpasan permukaan yang sangat bergantung pada laju infiltrasi, maka akan terjadi limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan. Namun, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan meningkatnya intensitas hujan dikarenakan adanya genangan yang terjadi dipermukaan tanah (Suripin, 2004).

Debit maupun volume limpasan sangat berpengaruh pada intensitas hujan.

2.6.4 Luas Daerah Pengaliran

Luas daerah pengaliran merupakan aliran yang jatuh dalam suatu daerah tangkapan air yang luas daerah alirannya dihitung berdasarkan *catchment area* yang masuk menjadi beban pada saluran drainase (Kandis, n.d.).

2.7 Analisis Hidrolika

Dalam sistem drainase, saluran memegang peranan penting dalam menyalurkan air hujan maupun air limbah yang akan dibuang ke saluran pembawa utama atau sungai (Ajar et al., n.d.). Analisis hidrologi merupakan lanjutan dari analisis hidrolika yang khususnya akan menghasilkan penentuan dimensi saluran berdasarkan debit banjir rancangan. Analisis hidrolika terdapat 3 cara tahap analisis, yaitu analisis terhadap kapasitas maksimum saluran drainase eksisting, evaluasi kapasitas saluran terhadap debit rancangan dan evaluasi tinggi dan kemiringan saluran yang ideal berdasarkan kapasitas atau volume air yang masuk. Namun pada awal perencanaan, dapat diasumsikan terjadi aliran seragam. Rumus *Manning* dapat digunakan pada tahapan perencanaan aliran seragam (Pania et al., 2013).

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{0,5} \quad (2.28)$$

$$V = A \cdot \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{0,5} \quad (2.29)$$

Dimana:

Q = Debit pada saluran (m^3/det)

V = Kecepatan rata-rata aliran saluran (m/det)

A = Luas penampang basah (m^2)

B = Lebar dasar saluran (m)

H = Kedalaman air (m)

P = Keliling penampang basah (m)

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

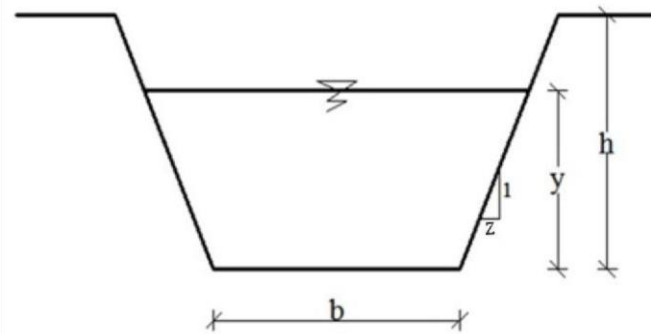
Tabel 2.7 Harga Koefisien *Manning* (n) untuk Berbagai Tipe Saluran

No.	Tipe Saluran	Kondisi		
		Baik	Cukup	Buruk
	Saluran Buatan:			
1	Saluran tanah, lurus beraturan.	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah, digali biasa.	0,028	0,030	0,040
3	Saluran batuan, tidak lurus dan tidak beraturan.	0,040	0,045	0,050
4	Saluran dari pasangan batu tanpa plengsengan.	0,020	0,023	0,025
5	Saluran dari pasangan batu dengan pasangan.	0,013	0,014	0,015
6	Saluran batuan, lurus beraturan.	0,030	0,033	0,035
7	Saluran batuan, vegetasi pada sisinya.	0,030	0,035	0,040
8	Dasar tanah, sisi batu koral.	0,030	0,030	0,040
9	Saluran berliku-liku kecepatan rendah.	0,025	0,028	0,030
	Saluran Alami:			
1	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir dan tanpa celah.	0,028	0,030	0,033
2	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir, tanpa celah, vegetasi & kerikil.	0,033	0,035	0,040
		0,035	0,040	0,045
3	Berliku, bersih, tapi berpasir dan berlubang.	0,045	0,050	0,055
4	Berliku, bersih, tapi brpasir, berlubang, dangkal & tak teratur	0,040	0,045	0,050
		0,050	0,055	0,060
5	Berliku, bersih, tapi berpasir, berlubang, batuan dan vegetasi.	0,060	0,070	0,080
		0,100	0,125	0,150
6	Aliran lambat, banyak tanaman dan lubang.	0,015	0,017	0,020
7	Tumbuhan tinggi dan padat.			
8	Dengan rumput.			
	Saluran dilapisi:			
1	Batu kosong tanpa adukan semen.	0,030	0,033	0,035
2	Batu kosong dengan adukan semen.	0,020	0,025	0,030
3	Beton	0,015	0,016	0,017
4	Dengan beton pratekan.	0,016	0,019	0,021
5	Lapisan beton sangat halus.	0,011	0,012	0,013
6	Lapisan beton biasa dengan tulangan baja	0,014	0,014	0,015
7	Lapisan beton biasa dengan tulangan baja	0,016	0,016	0,018

Fungsi dan unsur geometris penampang saluran:

a. Trapesium

Trapesium berfungsi untuk menyalurkan limbah dan air hujan dengan debit besar yang sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi kecil. Lokasinya pada daerah yang masih cukup lahan.



Gambar 2.4 Penampang Saluran Trapesium

$$\text{Luas } (A) = (b + zh)h \quad (2.30)$$

$$\text{Keliling basah } (P) = b + 2h\sqrt{1 + z^2} \quad (2.31)$$

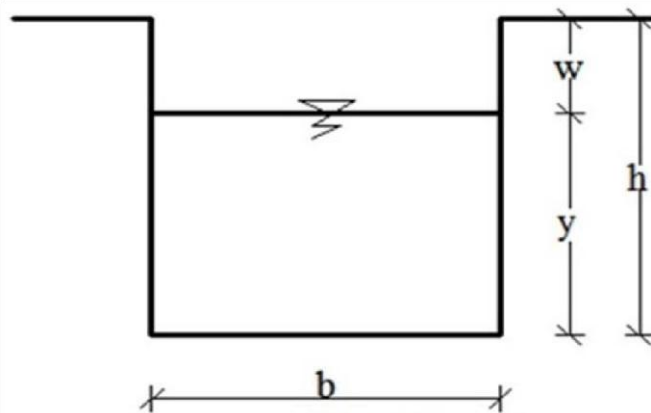
$$\text{Jari - jari hidrolis } (r) = \frac{(b + zh)h}{b + 2h\sqrt{1 + z^2}} \quad (2.32)$$

$$\text{Lebar puncak } (T) = b + 2zy \quad (2.33)$$

$$\text{Faktor penampang } (Z) = \frac{(b + zh)h^{1.5}}{\sqrt{b + 2zh}} \quad (2.34)$$

b. Persegi

Persegi sama dengan trapesium, bedanya adalah dimana lokasi jalur saluran tidak atau kurang tersedia lahan yang cukup.



Gambar 2.5 Penampang Saluran Persegi

$$\text{Luas } (A) = b \cdot h \quad (2.35)$$

$$\text{Keliling basah } (P) = b + 2h \quad (2.36)$$

$$\text{Jari - jari hidrolis} = h \quad (2.37)$$

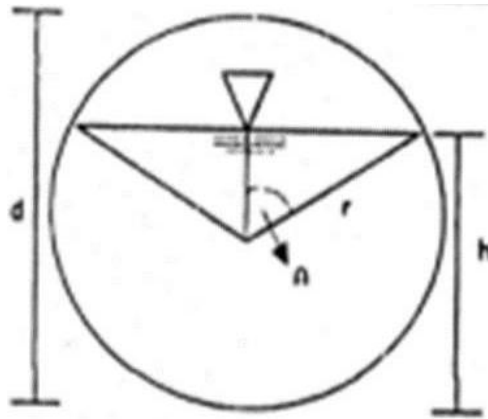
$$\text{Kecepatan aliran}(V) = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.38)$$

$$\text{Debit aliran } (Q) = A \times V \quad (2.39)$$

$$\text{Tinggi jagaan } (w) = \sqrt{0,5 \times h} \quad (2.40)$$

c. Lingkaran

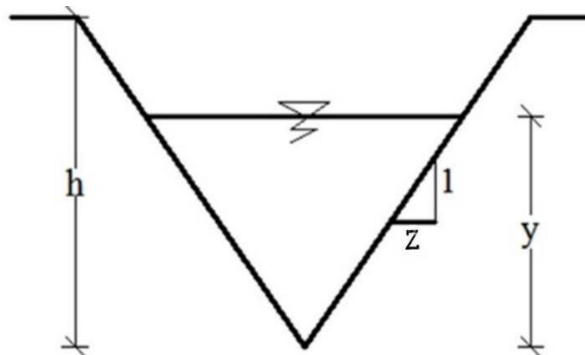
Lingkaran berfungsi untuk menyalurkan air bersih, limbah dan air hujan. Pada penggunaannya biasanya untuk gorong-gorong atau pipa distribusi air bersih.



Gambar 2.6 Penampang Saluran Persegi

d. Segitiga

Saluran drainase bentuk segitiga tidak banyak membutuhkan ruang sebagai konsekuensi dari saluran bentuk ini, saluran harus dari pasangan. Bentuk ini juga berfungsi sebagai saluran air hujan, air rumah tangga maupun air irigasi.



Gambar 2.7 Penampang Saluran Segitiga

$$\text{Luas penampang basah}(A) = \sqrt{0,5 \times h} \quad (2.41)$$

$$\text{Keliling basah } (P) = zh\sqrt{1 + z^2} \quad (2.42)$$

$$\text{Jari – jari hidrolis } (r) = \frac{zh}{2\sqrt{1 + z^2}} \quad (2.43)$$

2.7.1 Kapasitas Saluran

Perhitungan yang dipakai dalam menghitung kapasitas saluran drainase adalah menggunakan rumus manning (Suripin, 2004).

$$Q = V \times A \quad (2.44)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.45)$$

Dengan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/det)

n = Koefisien kekasaran *manning*

Q = Kapasitas saluran (m³/det)

A = Luas penampang (m²)

S = Kemiringan dasar saluran

2.7.2 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya. Hal ini disebabkan adanya geser di dasar dan dinding saluran dan keberadaan permukaan bebas. Kecepatan yang diizinkan sesuai dengan jenis materialnya di sajikan pada Tabel 2.8 dan kemiringan rata-rata saluran terhadap kecepatan rata-rata pada Tabel 2.9 (Suripin, 2004).

Tabel 2.8 Kecepatan yang Diijinkan Sesuai dengan Jenis Material

No.	Jenis Bahan	V yang diizinkan
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lanau alluvial	0,60
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75
6	Lempung padat Kerikil	1,10
7	Kasar	1,20
8	Batu-batu besar	1,50
9	Pasangan bata	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton bertulang	1,50

Tabel 2.9 Kemiringan Rata-rata Saluran terhadap Kecepatan Rata-rata

No.	Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/det)
1	< 1	0,4
2	1 sampai < 2	0,6
3	2 sampai < 4	0,9
4	4 sampai < 6	1,2
5	6 sampai < 10	1,5
6	10 sampai < 15	2,4

Perhitungan kecepatan aliran pada aliran terbuka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.46)$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran rata-rata dalam saluran (m/det)

N = Koefisien kekasaran *manning*

R = Jari-jari hidrolis saluran (m)

S = Kemiringan dasar saluran

2.8 EPA SWMM

EPA *Storm Water Management Model* (EPA SWMM) merupakan perangkat lunak pemodelan hidrologi dan hidraulika yang dikembangkan oleh *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) untuk menganalisis sistem drainase perkotaan. Perangkat lunak ini dirancang untuk mensimulasikan proses hujan–limpasan, aliran dalam jaringan saluran, serta interaksi antara limpasan permukaan dan infrastruktur drainase, baik pada kondisi eksisting maupun skenario pengembangan (Oksy Priamitra Jatnika, 2024).

EPA SWMM mampu memodelkan berbagai komponen sistem drainase, termasuk subcatchment, jaringan saluran terbuka dan tertutup, bangunan pelengkap, serta fasilitas pengendalian limpasan. Melalui pemodelan ini, EPA SWMM dapat digunakan untuk menganalisis debit aliran, kapasitas saluran, tinggi muka air, potensi limpasan berlebih, serta titik-titik rawan genangan atau banjir

pada suatu kawasan. Selain itu, EPA SWMM mendukung analisis kejadian hujan tunggal maupun simulasi kontinu dalam periode waktu tertentu.

Keunggulan EPA SWMM terletak pada kemampuannya untuk mengintegrasikan pendekatan drainase konvensional dengan konsep pengelolaan air hujan berkelanjutan melalui fitur *Low Impact Development* (LID). Fitur ini memungkinkan simulasi penerapan infrastruktur hijau, seperti *bioretensi*, *rain garden*, *rain barrel*, *permeable pavement*, dan *vegetative swale*, yang bertujuan untuk mengurangi limpasan permukaan, meningkatkan infiltrasi, serta menunda aliran menuju saluran utama (Oksy Priamitra Jatnika, 2024)..

Dengan kemampuan analisis yang komprehensif, EPA SWMM banyak digunakan sebagai alat bantu perencanaan, evaluasi, dan pengelolaan sistem drainase perkotaan. Penggunaan EPA SWMM dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kinerja sistem drainase eksisting serta menilai efektivitas penerapan infrastruktur hijau dalam mengurangi genangan dan meningkatkan kapasitas sistem drainase secara berkelanjutan.

2.8.1 Komponen dan Parameter

Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM) merupakan pemodelan yang digunakan untuk merencanakan, menganalisis dan mendesain suatu model yang berhubungan dengan limpasan air hujan dan sistem drainase perkotaan. SWMM adalah model simulasi dinamis hubungan antara curah hujan dan limpasan (*rainfall-runoff*) (Agency, U S Environmental Protection, 2010).

Kegunaan program SWMM ini diantaranya sebagai perencanaan dan dimensi jaringan pembuang untuk mengendalikan banjir serta perencanaan daerah penahan sementara untuk pengendalian banjir. Parameter yang diinputkan dan diperlukan pada simulasi yaitu sebagai berikut:

1. *Rain Gages*

SWMM menggunakan objek *rain gage* untuk menampilkan input data ke sistem. *Rain gage* menyuplai data presipitasi untuk satu atau lebih *subcatchment area* pada studi wilayah.

- a. *Rain Format* : Data hujan yang di *input* berupa intensitas atau kumulatif
 - b. *Rain Interval* : Interval waktu pengamatan antara pembacaan *gage*
 - c. *Data Source* : Sumber data hujan dapat berupa *time series* atau *file external*
2. Daerah Tangkapan Air (*subcatchment*)

Subcatchment adalah unit hidrologi dari tanah dimana topografi dan elemen sistem drainase menunjukkan permukaan limpasan pada satu titik pelepasan. Data yang diperlukan diantaranya *rain gage*, *outlet*, luas, lebar, % lahan kedap air, % kemiringan *subcatchment*, N-*Imperv* dan N-*Pervious* serta metode infiltrasi.

Parameter yang dimasukkan dalam *subcatchment* adalah sebagai berikut:

No	Parameter	:	Penjelasan
a.	Luas (<i>Area</i>)	:	Luas <i>subcatchment</i>
b.	Lebar (<i>Widht</i>)	:	Panjang aliran.
c.	Kemiringan (% <i>slope</i>)	:	Persentase kemiringan <i>subcatchment</i>
d.	% kedap air (% <i>Impervious</i>)	:	Persentase area tanah yang <i>impervious</i> .
e.	<i>Manning</i> kedap air (N- <i>Imperv</i>)	:	Nilai n <i>manning</i> untuk aliran permukaan di daerah <i>impervious</i> .
f.	<i>Manning</i> tidak kedap air (N- <i>Perv</i>)	:	Nilai n <i>manning</i> untuk aliran permukaan di daerah <i>pervious</i> .
g.	Kedap air absolut (% Zero- <i>Imperv</i>)	:	Persentase dari <i>impervious</i> area tanpa <i>depressiom storage</i> .
h.	<i>Infiltration Model</i>	:	Pilihan untuk metode perhitungan infiltrasi dan parameternya
i.	<i>Rain gage</i>	:	Berkaitan dengan <i>subcatchment</i> .
j.	<i>Outlet</i>	:	Menerima <i>runoff subcatchment</i> .

Tinggi genangan pada EPA SWMM atau limpasan hujan pada masing-masing *subcatchment* menggunakan konsep yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$D_1 = D_t + R_t \quad (2.47)$$

Keterangan:

D_1 = Kedalaman air setelah terjadi hujan (mm)

D_t = Kedalaman air pada subdas pada saat waktu t (mm)

R_t = Intensitas hujan pada interval waktu t (mm/jam)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperhitungkan harga infiltrasi dalam simulasi menggunakan metode *SCS Curve Number*. Metode ini mengasumsikan bahwa infiltrasi tanah yang terjadi didapatkan melalui pemilihan jenis tata guna lahan.

Tabel 2.10 Harga Infiltrasi dari Berbagai Jenis Tanah

No	Pengertian	Infiltrasi Min
A	Potensi limpasan yang rendah, tanah mempunyai Tingkat infiltrasi yang tinggi meskipun ketika tergenang dan kedalaman genangan yang tinggi, pengeringan/ penyerapan baik untuk pasir dan batuan	$\geq 0,45$
B	Tanah mempunyai Tingkat infiltrasi biasa/ medium/ Tengah-tengah etika tergenang dan mempunyai Tingkat dengan keadaa biasa ke baik didapat dari <i>moderately to moderately coarse</i>	0,30 – 0,15
C	Tanah mempunyai Tingkat infiltrasi rendah jika lapisan tanah untuk pengaliran air dengan Tingkat <i>texture</i> bisa ke <i>texture</i> baik. Contoh lempung, pasir berlanau	0,15 – 0,05
D	Potensi limpasan yang tinggi mempunyai Tingkat infiltrasi rendah ketika terfenang tanah lempung dengan potensi <i>sweeling</i> yang tinggi, tanah dengan ketinggian air tanah yang tinggi, tanah dengan lapisan lempung dekat dengan permukaan dan <i>shallow</i> yang berdekatan dengan material yang kedap air	0,05 – 0,00

Sumber: (Agency, U S Environmental Protection, 2010)

Tabel 2.11 Klasifikasi Besarnya Laju Infiltrasi

Kelas	Klasifikasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)
0	Sangat Lambat	<1
1	Lambat	1 – 5
2	Agak Lambat	5 – 20
3	Sedang	20 – 63
4	Agak Cepat	63 – 127
5	Cepat	127 – 254
6	Sangat Cepat	>254

Sumber: (Agency, U S Environmental Protection, 2010)

3. *Junction/Node*

Junction dapat menimbulkan pertemuan dari saluran permukaan alami, lubang got dari sistem pembuangan atau pipa penghubung. Data yang diperlukan diantaranya elevasi dan kedalaman maksimum. *Junction* atau *node* adalah unit yang dimodelkan sebagai penerima *inflow* dan limpasan dari *subcatchment*. Parameter yang dimasukkan yaitu sebagai berikut:

- a. *Node Invert*
- b. *Node Max Depth*
- c. *Node Pounded Area*
- d. *Conduit Length*
- e. *Conduit Geometry*
- f. *Conduit Roughness*
- g. *Flow Units*
- h. *Link offset*
- i. *Routing Method*

4. *Conduit/Links*

Conduits merupakan saluran yang menghubungkan antara *junction* satu dengan *junction* lainnya atau dari *junction* ke *outfall*. Parameter yang dimasukkan adalah:

- a. Bentuk Saluran

- b. Kedalaman maksimum saluran
- c. Panjang saluran, angka kekasaran atau angka Manning. Besarnya angka manning tergantung dari jenis bahan yang digunakan pada saluran.

5. *Outfalls*

Outfalls Node adalah titik pemberhentian dari sistem drainase yang menentukan batas hilir. *Outfall* ini hanya dihubungkan oleh satu link. Parameter yang dimasukkan Adalah:

- a. *Invert Elevation*
- b. *Tide Gate*
- c. *Fixed Stage*

6. LID

Low Impact Development (LID) digunakan untuk merepresentasikan penerapan infrastruktur hijau dalam pengelolaan limpasan air hujan. LID pada EPA SWMM dirancang untuk mensimulasikan proses pengurangan limpasan melalui mekanisme penahanan, peresapan, penyimpanan sementara, dan pengaliran terkendali air hujan pada skala tapak maupun kawasan.

Komponen LID dalam EPA SWMM dimodelkan dalam bentuk beberapa lapisan (*layers*) yang merepresentasikan kondisi fisik dan hidrologi fasilitas infrastruktur hijau. Lapisan tersebut meliputi lapisan permukaan (*surface layer*), lapisan tanah (*soil layer*), lapisan tampungan (*storage layer*), serta lapisan drainase (*drain layer*). Setiap lapisan memiliki parameter hidrologi yang menggambarkan karakteristik aliran, infiltrasi, dan kapasitas tampung air hujan. Parameter yang di masukan Adalah:

- a. *Surface Layer* (Lapisan Permukaan)

Tabel 2.12 Parameter *Surface Layer*

Parameter	Satuan	Keterangan
<i>Berm Height</i>	mm	Tinggi maksimum genangan air di atas permukaan LID sebelum terjadi limpasan keluar
<i>Vegetation Volume Fraction</i>	–	Fraksi volume vegetasi yang memengaruhi kapasitas tampungan permukaan

Parameter	Satuan	Keterangan
<i>Surface Roughness (Manning's n)</i>	–	Kekasaran permukaan yang memengaruhi kecepatan aliran di atas LID
<i>Surface Slope</i>	%	Kemiringan permukaan fasilitas LID
<i>Surface Width</i>	m	Lebar efektif permukaan aliran pada unit LID

b. *Soil Layer* (Lapisan Tanah)

Tabel 2.13 Parameter *Soil Layer*

Parameter	Satuan	Keterangan
<i>Thickness</i>	mm	Ketebalan lapisan tanah
<i>Porosity</i>	–	Rasio volume pori terhadap volume total tanah
<i>Field Capacity</i>	–	Kadar air maksimum yang dapat ditahan tanah setelah drainase
<i>Wilting Point</i>	–	Kadar air minimum tanah sebelum tanaman layu
<i>Saturated Hydraulic Conductivity</i>	mm/jam	Kemampuan tanah menghantarkan air dalam kondisi jenuh
<i>Suction Head</i>	mm	Tekanan kapiler tanah yang memengaruhi infiltrasi

c. *Storage Layer* (Lapisan Tampung)

Tabel 2.14 Parameter *Storage Layer*

Parameter	Satuan	Keterangan
<i>Thickness</i>	mm	Ketebalan lapisan tampungan
<i>Void Ratio</i>	–	Perbandingan volume rongga terhadap volume padat media
<i>Seepage Rate</i>	mm/jam	Laju perembesan air dari lapisan tampungan ke tanah dasar
<i>Clogging Factor</i>	–	Faktor pengurangan infiltrasi akibat penyumbatan media

d. *Drain Layer* (Lapisan Drainase)

Tabel 2.15 Parameter *Drain Layer*

Parameter	Satuan	Keterangan
<i>Drain Coefficient</i>	mm/jam	Koefisien aliran drain yang mengontrol debit keluaran
<i>Drain Exponent</i>	–	Eksponen hubungan debit dan tinggi air
<i>Drain Offset Height</i>	mm	Ketinggian outlet drain dari dasar lapisan tampungan
<i>Drain Delay</i>	jam	Waktu tunda sebelum drain mulai mengalir

e. LID Usage (Penggunaan LID Pada *Subcatchment*)

Tabel 2.16 Parameter LID Usage

Parameter	Satuan	Keterangan
<i>Area of Each Unit</i>	m ²	Luas satu unit LID
<i>Number of Units</i>	unit	Jumlah unit LID pada subcatchment
<i>Percent of Impervious Area Treated</i>	%	Persentase area kedap yang dilayani LID
<i>Width per Unit</i>	m	Lebar hidraulik unit LID
<i>Initial Saturation</i>	%	Kondisi kejenuhan awal lapisan LID

2.9 Infrastruktur Hijau

Infrastruktur hijau (*green infrastructure*) merupakan pendekatan pengelolaan sumber daya air yang menekankan pemanfaatan proses alami untuk mengendalikan limpasan air hujan secara berkelanjutan. Konsep ini bertujuan untuk meniru fungsi hidrologi alami dengan cara meningkatkan infiltrasi, penyimpanan sementara, dan evapotranspirasi air hujan, sehingga dapat mengurangi volume dan debit limpasan yang masuk ke sistem drainase konvensional (Tansar et al., 2024).

Penerapan infrastruktur hijau menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya urbanisasi dan perubahan tata guna lahan yang menyebabkan berkurangnya area resapan alami. Kondisi tersebut berdampak pada meningkatnya limpasan permukaan, penurunan kualitas air, serta meningkatnya risiko genangan dan banjir di kawasan perkotaan. Infrastruktur hijau dirancang sebagai solusi yang tidak hanya berfokus pada pengendalian banjir, tetapi juga memperhatikan aspek lingkungan, sosial, dan keberlanjutan jangka panjang.

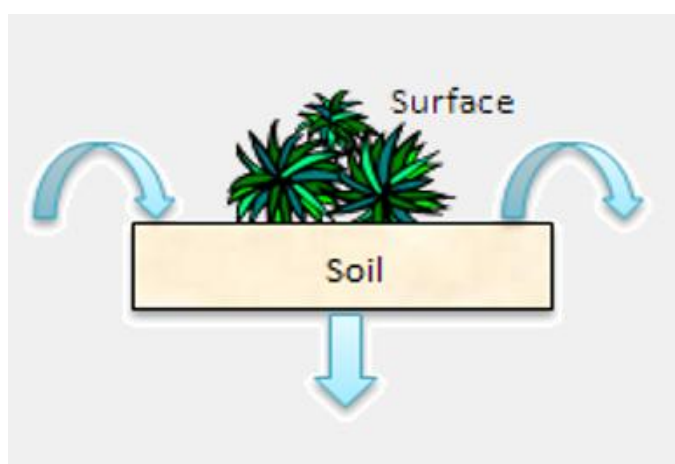
Bentuk penerapan infrastruktur hijau meliputi berbagai teknik pengelolaan air hujan berbasis alam, seperti *bioretensi*, *rain garden*, *sumur resapan*, *permeable pavement*, *green roof*, *vegetative swale*, dan fasilitas *Low Impact Development* (LID) lainnya. Fasilitas-fasilitas tersebut berfungsi untuk menahan dan meresapkan air hujan di lokasi terjadinya hujan, sehingga dapat mengurangi beban aliran yang masuk ke jaringan drainase utama (Tansar et al., 2024).

Selain berperan dalam pengurangan limpasan dan genangan, infrastruktur hijau juga memberikan manfaat tambahan, antara lain peningkatan kualitas air melalui proses filtrasi alami, pengisian kembali air tanah, perbaikan kualitas lingkungan perkotaan, serta peningkatan estetika dan kenyamanan kawasan. Oleh

karena itu, integrasi infrastruktur hijau dengan sistem drainase konvensional merupakan salah satu strategi yang efektif dalam pengelolaan air hujan perkotaan yang berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan iklim. Ada beberapa bentuk penerapan infrastruktur hijau yang umum digunakan dalam sistem drainase perkotaan, (Tansar et al., 2024) meliputi:

1. *Rain Garden*

Rain Garden adalah fasilitas LID berupa cekungan dangkal bervegetasi yang dirancang untuk menampung sementara dan meresapkan air hujan dari permukaan kedap seperti jalan dan atap.



Gambar 2.8 *Rain Garden*
Sumber: (Software EPA SWMM)

a) Fungsi:

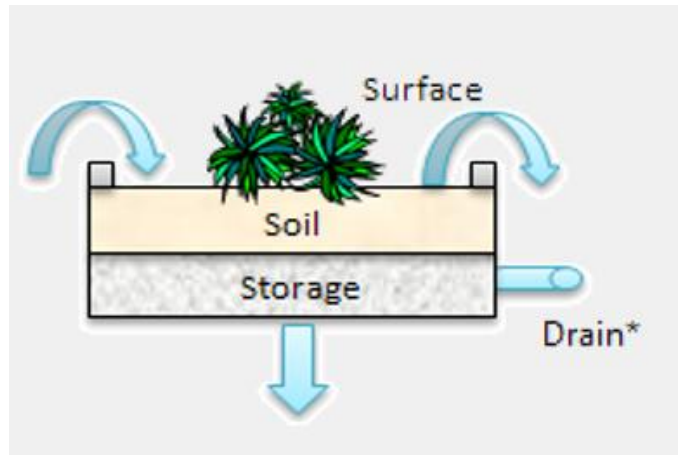
1. Menahan limpasan permukaan (*runoff*) sementara.
2. Meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah.
3. Menurunkan debit puncak limpasan.

b) Kegunaan:

1. Cocok untuk fasilitas umum, taman lingkungan, area parkir.
2. Digunakan untuk pengendalian limpasan skala kecil–menengah.
3. Efektif pada kawasan pemukiman.

2. *Bio-retention Cell*

Bioretention Cell merupakan bentuk rain garden yang lebih kompleks, dilengkapi lapisan tanah rekayasa, lapisan tampungan, dan sistem drainase bawah (*underdrain*).



Gambar 2.9 *Bio-retention Cell*
Sumber: (*Software EPA SWMM*)

a) Fungsi:

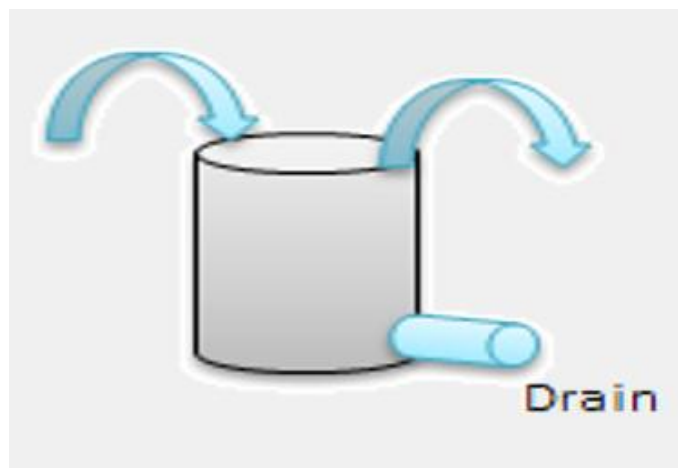
1. Menyaring polutan.
2. Menahan dan meresapkan limpasan.
3. Mengatur pelepasan air secara terkontrol.

b) Kegunaan:

1. Cocok untuk kawasan padat bangunan.
2. Digunakan saat infiltrasi alami terbatas.
3. Umum dipakai dalam desain LID perkotaan.

3. *Rain Barrel*

Rain Barrel adalah tangki penampung air hujan yang menampung limpasan dari atap bangunan sebelum dialirkan ke sistem drainase.



Gambar 2.10 *Rain Barrel*
Sumber: (*Software EPA SWMM*)

a) Fungsi:

1. Menyimpan air hujan.
2. Menunda aliran limpasan.
3. Mengurangi beban saluran drainase.

b) Kegunaan:

1. Dipasang di setiap rumah atau bangunan.
2. Cocok untuk pengendalian limpasan atap.
3. Dapat dimanfaatkan ulang (*reuse*).

4. *Infiltration Trench*

Infiltration Trench adalah parit berisi material berpori yang dirancang untuk menyerap air hujan langsung ke tanah.

a) Fungsi:

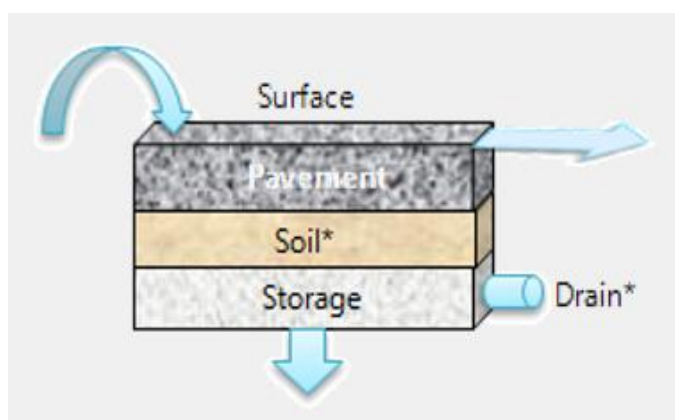
1. Mengalirkan limpasan ke dalam tanah.
2. Mengurangi volume limpasan permukaan.
3. Meningkatkan pengisian air tanah.

b) Kegunaan

1. Cocok di sepanjang jalan.
2. Efektif pada tanah dengan infiltrasi tinggi.
3. Digunakan untuk limpasan dari jalan dan halaman.

5. *Permeable Pavement*

Permeable Pavement adalah perkerasan berpori yang memungkinkan air hujan menembus permukaan dan disimpan sementara di lapisan bawah.



Gambar 2.11 *Permeable Pavement*
Sumber: (*Software* EPA SWMM)

a) Fungsi:

1. Mengurangi limpasan permukaan.

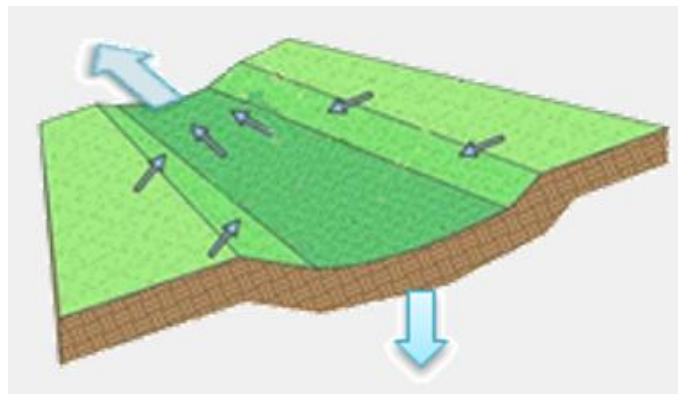
2. Menyimpan dan meresapkan air hujan.
3. Menggantikan perkerasan kedap air.

b) Kegunaan:

1. Area parkir.
2. Jalan lingkungan.
3. Trotoar.

6. *Vegetative Swale*

Vegetative Swale adalah saluran terbuka bervegetasi yang berfungsi menyalurkan dan memperlambat aliran air hujan.



Gambar 2.12 *Vegetative Swale*
Sumber: (Software EPA SWMM)

a) Fungsi:

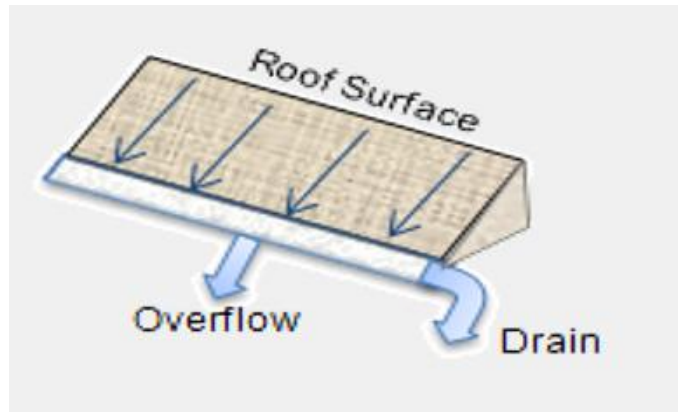
1. Mengurangi kecepatan aliran.
2. Menyaring sedimen.
3. Meningkatkan infiltrasi sepanjang saluran.

b) Kegunaan:

1. Pengganti saluran beton.
2. Area pinggir jalan.
3. Kawasan terbuka.

7. *Rooftop Disconnection*

Rooftop Disconnection adalah teknik memutus aliran air hujan dari atap agar tidak langsung masuk ke saluran drainase.



Gambar 2.13 *Rooftop Disconnection*
Sumber: (Software EPA SWMM)

a) Fungsi:

1. Mengalirkan air ke area resapan.
2. Mengurangi debit langsung ke saluran.
3. Meningkatkan infiltrasi alami.

b) Kegunaan:

1. Bangunan rumah tinggal.
2. Digunakan bersama rain garden atau halaman.
3. Biaya rendah dan mudah diterapkan.