

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konsep drainase di Indonesia saat ini memiliki paradigma bahwa seluruh air hujan yang jatuh di suatu wilayah harus langsung dibuang ke sungai melalui saluran drainase. Paradigma diatas akan mengakibatkan terjadinya genangan disekitar saluran drainase serta luapan sungai (Mardyanto, 2015). Kemampuan saluran dalam mengalirkan besarnya air limpasan di pengaruhi oleh dimensi saluran dan peningkatan pembangunan infrastruktur perkotaan (Haryoko, 2013).

Kecamatan Denpasar Utara merupakan salah satu kecamatan yang sedang berkembang di Kota Denpasar yang merupakan pusat perdagangan dan jasa, perumahan, pelayanan transportasi, dan jasa pergudangan umum berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Denpasar Tahun 2021-2041. Kecamatan Denpasar Utara, khususnya di Jalan Pidada merupakan salah satu kawasan yang diproyeksikan sebagai pusat perekonomian baru di Kota Denpasar. Proyeksi ini didukung oleh adanya berbagai proyek pembangunan dan peningkatan infrastruktur di wilayah tersebut.

Peningkatan pembangunan infrastruktur suatu wilayah dengan adanya perubahan tata guna lahan dari areal hijau menjadi areal pemukiman atau industri mengakibatkan terganggunya daya resap tanah sehingga aliran permukaan (*run off*) menjadi semakin besar, kondisi inilah yang menyebabkan timbulnya genangan.

Banyak ruang terbuka hijau di Kota Denpasar yang seharusnya mampu menyerap air hujan, saat ini beralih fungsi menjadi tempat berbagai aktivitas berlangsung karena alih fungsi spasial secara signifikan di perkotaan. Akibatnya, ketika lahan mengalami alih fungsi yang tidak terencana atau tidak memperhitungkan sistem drainase yang memadai, maka saluran drainase tidak dapat menampung air limpasan dengan baik, sehingga mengakibatkan genangan, banjir, atau bahkan kerusakan pada infrastruktur dan lingkungan.

Permasalahan tersebut terjadi pada Jalan Pidada, Denpasar Utara. Banyak pembangunan yang tidak memperhitungkan daya dukung tanah serta alih fungsi lahan yang cenderung ke arah penutupan lahan dengan bahan-bahan yang tidak tembus air (*impervious*) seperti beton, semen, dan aspal, sehingga mengakibatkan terganggunya keseimbangan hidrologi. Kondisi seperti ini akan semakin parah apabila kapasitas saluran drainase yang diharapkan mampu membawa air ke sungai tidak mencukupi, sehingga menimbulkan genangan yang apabila dibiarkan akan semakin meluas dan menimbulkan kerusakan fungsi prasarana kota lainnya.

Terkait dengan permasalahan tersebut, maka penulis mengambil penelitian dalam menganalisis perubahan pola spasial terhadap drainase perkotaan di Jalan Pidada, Denpasar Utara.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan pola spasial terhadap drainase perkotaan di Jalan Pidada, Denpasar Utara?

2. Bagaimana pengaruh perubahan pola spasial terhadap limpasan di Jalan Pidada, Denpasar Utara?
3. Bagaimana hasil evaluasi kapasitas saluran drainase di Jalan Pidada, Denpasar Utara?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perubahan pola spasial terhadap drainase perkotaan di Jalan Pidada, Denpasar Utara.
2. Menganalisis pengaruh perubahan pola spasial terhadap limpasan di Jalan Pidada, Denpasar Utara.
3. Menganalisis terkait hasil evaluasi kapasitas saluran drainase di Jalan Pidada, Denpasar Utara.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan mahasiswa dalam menganalisis perubahan pola spasial terhadap drainase perkotaan.
2. Sebagai informasi dan bahan kajian bagi instansi terkait.
3. Sebagai informasi kepada masyarakat untuk menyadari pentingnya menjaga dan merawat saluran drainase yang ada di lingkungan tempat tinggal.

1.5. Batasan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas agar lebih sederhana dan lebih teliti, maka dalam penelitian ini perlu adanya batasan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Fokus objek penelitian yaitu perubahan pola spasial terhadap drainase perkotaan di Jalan Pidada, Denpasar Utara.

2. Data spasial yang di analisis hanya ruang terbuka hijau (RTH) dan tutupan lahan.
3. Menghitung curah hujan dengan data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan rata-rata selama 10 tahun, yaitu dari tahun 2013 s/d 2022.
4. Perhitungan analisis curah hujan menggunakan metode *Polygon Thiessen*.
5. Penelitian ini tidak menghitung sedimentasi.
6. Penelitian ini tidak menghitung limbah.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perubahan Tata Guna Lahan

Perubahan tata guna lahan merupakan penyebab utama banjir dibandingkan dengan yang lainnya (Kodoatie dan Sjarief, 2005). Terdapat 2 (dua) pendekatan dalam pengendalian banjir dan genangan air (Cifor, 2002) yaitu:

1. Pengendalian Struktural (Pengendalian terhadap Genangan dan Banjir)

Dilakukan melalui kegiatan rekayasa teknis, terutama dalam penyediaan prasarana dan sarana, serta penanggulangan banjir.

2. Pengendalian Non Struktural (Pengendalian terhadap Pemanfaatan Ruang)

Dilakukan untuk meminimalkan kerugian yang terjadi akibat bencana banjir, baik korban jiwa maupun materi.

Perubahan tata guna lahan yang tidak mempertimbangkan keseimbangan ekologi, seperti perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan pemukiman, lahan terbuka menjadi kawasan industri. Fenomena ini memberi konsekuensi logis terjadinya 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) dan keanekaragaman hayati.

2.2. Pola Spasial Permukiman di Perkotaan

2.2.1. Pola Spasial

Pola spasial adalah sesuatu yang menunjukkan penempatan atau susunan benda-benda di permukaan bumi (Jay Lee, 2001). Suatu pola dapat membantu menangani masalah mengenai ketepatan (*constancy*) dan perubahan (*change*) dalam perancangan kota serta membantu menentukan pedoman-pedoman dasar

untuk menentukan sebuah perancangan lingkungan kota yang konkret sesuai konteksnya (Rachman, 2010). Penggunaan lahan dalam suatu wilayah atau kota baik terencana atau tidak terencana akan membentuk suatu pola perkembangan penggunaan lahan, dimana pada kota yang terencana, pola penggunaan lahannya lebih mudah dikenali, jenis pola perkembangan penggunaan lahan seperti apa yang terbentuk karena penempatan-penempatan penggunaan lahan telah ditentukan terlebih dahulu dalam bentuk regulasi penataan kota, yang biasanya memiliki tujuan tertentu dalam justifikasi penempatan jenis aktivitas penggunaan lahan di daerah tersebut (Setyaningsih dan Pradoto, 2015).

Marpaung dan Silaban (2017) mengungkapkan bahwa sistem struktur ruang membentuk suatu pola tersendiri. Pola spasial adalah susunan benda-benda di permukaan bumi yang dikelompokkan berdasarkan area gerak dan berkumpul masyarakat, letak bangunan, letak jalan, serta fasilitas air bersih atau utilitas. Pola spasial terbentuk karena kebutuhan masyarakat yang terkumpul di tempat tersebut. Pola spasial dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan penggunaan tata guna lahan, perubahan sistem jaringan jalan, perkembangan permukiman, dan lain-lain. Pola spasial juga dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan tata guna lahan (*land use*) dan tutupan lahan (*land cover*).

2.2.2. Pola Spasial dengan Pendekatan Morfologi Kota

Pendekatan morfologi kota memfokuskan pada bentuk-bentuk atau karakteristik kota yang tercermin dari penggunaan lahan di kota maupun desa, serta mengidentifikasi eksistensi keruangan yang ada (Yunus, 1999). Morfologi merupakan pendekatan yang mempelajari bentuk dan struktur fisik dari kawasan, termasuk penggunaan lahan yang mencerminkan aktivitas di kawasan, pola

sirkulasi atau jaringan jalan yang menghubungkan antar kawasan, serta pola dan fungsi bangunan di dalamnya (Soetomo, 2009).

Penggunaan lahan merupakan bagian dari morfologi yang memperhatikan komposisi penggunaan lahan di suatu kawasan. Penggunaan lahan di perkotaan dibedakan menjadi penggunaan lahan terbangun dan lahan tidak terbangun. Lahan terbangun yaitu seperti perumahan permukiman, perdagangan dan jasa, industri, dan perkantoran. Sedangkan penggunaan lahan tidak terbangun adalah lahan yang belum dikembangkan. Lahan tidak terbangun dibagi menjadi dua jenis, yaitu lahan tidak terbangun untuk kegiatan perkotaan dan non perkotaan. Lahan tidak terbangun untuk menunjang kegiatan perkotaan yaitu rekreasi, pemakaman, transportasi, ruang terbuka hijau (RTH). Selain itu, lahan tidak terbangun untuk kegiatan non perkotaan contohnya seperti produksi dan pengembangan sumber daya alam, perkebunan, pertanian, dan area perairan.

2.3. Analisis Perubahan Pola Spasial

Analisis perubahan pola spasial (lahan) adalah proses yang digunakan untuk memahami dan mengevaluasi perubahan dalam distribusi, hubungan, dan karakteristik spasial dari berbagai fenomena atau objek di suatu area dari waktu ke waktu. Analisis ini penting dalam banyak bidang, termasuk perencanaan kota, ekologi, manajemen sumber daya alam, dan geografi (Longley, P. A., 2015).

2.3.1. Perubahan Pola Spasial

Analisis perubahan dalam penginderaan jarak jauh telah maju secara signifikan selama bertahun-tahun, memungkinkan analisis terperinci tentang perubahan pola spasial menggunakan citra satelit. Perhitungan perubahan pola spasial (lahan) dapat dilakukan dengan menghitung area dari setiap kategori penggunaan lahan pada dua periode waktu yang berbeda. Persentase perubahan

dihitung dengan membandingkan luas area pada waktu (T2) dengan luas area pada waktu (T1) dan dinyatakan dalam persentase. Untuk menghitung persentase perubahan tutupan lahan menggunakan formula umum yang digunakan yaitu (Lunetta, R. S., & Elvidge, C. D., 1999):

$$\text{Persentase Perubahan} = (\text{Luas Lama} - \text{Luas Baru}) / \text{Luas Lama} \times 100\%$$

Dimana:

Luas Baru = menunjukkan luas spasial transisi tutupan lahan yang terdeteksi antara periode waktu yang berbeda.

Luas Lama = merupakan seluruh area yang diteliti.

Pendekatan ini memfasilitasi pemahaman yang jelas tentang luas dan sifat dinamika tutupan lahan, yang mendukung pemantauan dan pengelolaan lingkungan.

2.4. Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup (Triatmodjo, 2008).

Pada perkembangannya, hidrologi banyak dipelajari khususnya dibidang teknik sipil, salah satunya digunakan dalam memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air, baik itu mata air, sungai, maupun danau guna dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan), irigasi, pembangkit listrik. tenaga air, perikanan, peternakan dan lain sebagainya (Triatmodjo, 2008).

2.5. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan salah satu bagian dari keseluruhan rangkaian dalam perencanaan bangunan air seperti sistem drainase, gorong-

gorong, tanggul penahan banjir dan sebagainya. Di dalam hidrologi, salah satu aspek analisis yang diharapkan dihasilkan untuk menunjang perancangan bangunan-bangunan air adalah penetapan variabel-variabel rancangan, baik hujan, banjir, maupun unsur hidrologi lainnya (Fakhli, 2014).

2.5.1 Curah Hujan

Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan pada tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap dan tidak mengalir. Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan debit banjir adalah hujan yang terjadi pada daerah aliran sungai pada waktu yang sama.

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan area dan dinyatakan dalam mm (Sosrodarsono, 2003).

2.5.2. Uji Konsistensi Data

Uji Konsistensi Data Hujan merupakan suatu seri yang bisa terjadi *Nonhomogenites* data dan ketidaksamaan (*Inconsistency*) data. Faktor yang menyebabkan data menjadi tidak homogen dan tidak konsisten meliputi:

1. Perubahan mendadak pada sistem hidrologis, misalnya karena adanya pembangunan gedung atau tumbuhnya pohon, gempa bumi dan sebagainya.
2. Pemindahan alat ukur.
3. Perubahan cara pengukuran, misalnya penggantian alat dengan jenis dan spesifikasi alat baru atau metode yang berbeda.

Data tidak homogen maupun data tidak konsisten menyebabkan hasil analisis tidak teliti. Oleh karena itu sebelum data tersebut dipakai untuk analisis,

terlebih dahulu harus dilakukan uji konsistensi data. Uji konsistensi data sudah meliputi uji homogenitas data karena data yang konsisten juga berarti data tersebut adalah homogen (Sri Harto, 1993).

Metode yang digunakan untuk pengujian data yaitu dengan Metode Metode *Double Mass Analysis* dan RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).

1. Metode Double Mass Analysis

Metode *Double Mass Analysis* secara umum menggambarkan besaran hujan secara kumulatif stasiun yang diuji dengan besaran kumulatif rata-rata stasiun referensi di sekitarnya. Ketidakkonsistenan data ditunjukkan oleh penyimpangan garis terhadap garis lurusanya. Persamaan yang dipakai adalah:

$$X_t = \sum_{n=1}^{i=1} R. At$$

$$Y_t = \sum_{n=1}^{i=1} Ri$$

Dimana:

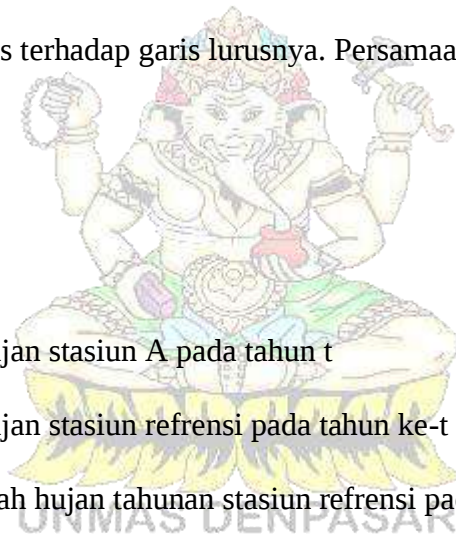
X_t = Kumulatif hujan stasiun A pada tahun t

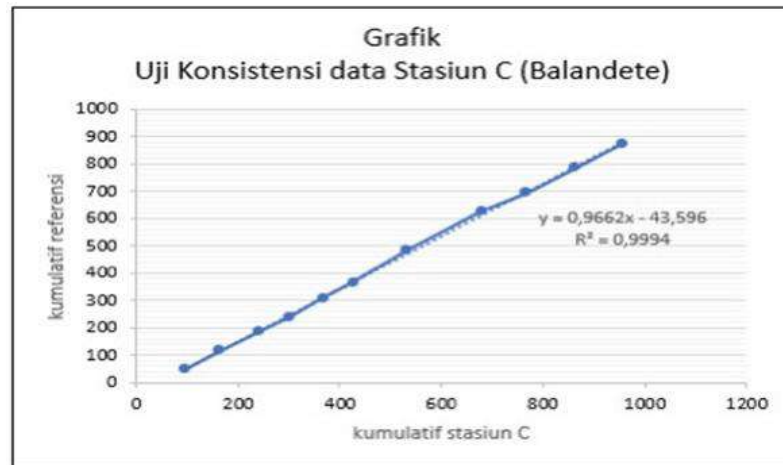
Y_t = Kumulatif hujan stasiun referensi pada tahun ke-t

Ri = Rata-rata curah hujan tahunan stasiun referensi pada tahun ke-t

$R.At$ = Curah hujan tahunan di stasiun A

DMC_t = Titik koordinat kurve di lengkung massa ganda tahun ke-t





Gambar 2.1. Grafik Metode *Double Mass Analysis*

(Sumber: Gencivil, 2020)

Keselarasan model regresi dapat diterangkan dengan menggunakan nilai R^2 . Semakin besar nilai tersebut maka model semakin baik. Jika nilai mendekati 1 maka model regresi semakin baik. Nilai R^2 mempunyai karakteristik antara lain selalu positif, nilai R^2 maksimum sebesar 1. Jika R^2 sebesar 1 mempunyai arti kesesuaian yang sempurna, maknanya seluruh variasi dalam variabel Y dapat diterangkan oleh model regresi. Sebaliknya jika R^2 sama dengan 0 maka tidak ada hubungan linier antara X dan Y.

2. Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Analisis uji konsistensi hujan bertujuan untuk mengetahui nilai data curah hujan yang diolah sudah konsisten atau tidak. Perhitungan data dilakukan dengan menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Sk^* = Yi - \bar{Y} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$S_k^{**} = 0, \text{ dengan } k = 0, 1, 2, \dots, n \dots \dots \dots (2.2)$$

$$D_y^2 = \sum_i^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

Y_i = Data hujan ke-n

S_k^{**} = Hasil nilai uji RAPS

$\bar{Y}$ = Data hujan rerata-n

D_y^2 = Standar deviasi

n = Jumlah data

Nilai statik:

$$Q = \max |S_k^{**}|, 0 \leq k \leq n \dots\dots\dots (2.4)$$

$$R \text{ (Range)} = \text{maksimum } S_k^{**} - \text{minimum } S_k^{**}, 0 \leq k \leq n \dots\dots\dots (2.5)$$

Syarat konsistensi dari metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) adalah sebagai berikut:

$$Q/\sqrt{n} \text{ hitung} < Q/\sqrt{n} \text{ tabel}$$

$$R/\sqrt{n} \text{ hitung} < R/\sqrt{n} \text{ tabel}$$

Nilai kritik Q dan R ditunjukkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1. Nilai Statik Q dan R

n	Q/ $\sqrt{n}$			R/ $\sqrt{n}$		
	90 %	95 %	99 %	90 %	95 %	99 %
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78

100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

(Sumber: Sri Harto, 1993)

2.5.3. Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Ada 3 (tiga) macam cara dalam menentukan tinggi curah hujan rerata pada wilayah tertentu dari angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat yaitu sebagai berikut:

1. Metode *Polygon Thiessen*

Metode *Polygon Thiessen* atau disebut dengan metode rata-rata timbangan (*weighted mean*). Metode ini memberikan skala luasan daerah pengaruh stasiun hujan untuk membantu ketidakseragaman jarak. Daerah yang berpengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sambung tegak lurus terhadap garis penghubung tiga stasiun terdekat. Dapat diperkirakan bahwa variasi hujan antara stasiun pengamatan hujan satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarangan stasiun hujan dapat ditafsirkan mewakili kawasan terdekat (Hadisusanto, 2010). Berikut merupakan persamaan metode *Polygon Thiessen*:

$$P = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2.6)$$

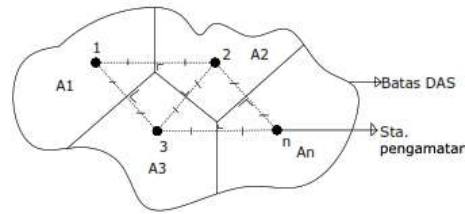
Dimana:

P = Curah hujan rata-rata daerah

A = Luas total

$P_1, P_2, \dots, P_n$ = Curah hujan di titik-titik pengamatan

$A_1, A_2, \dots, A_n$ = Luas setiap bagian



Gambar 2.2. Pembagian Daerah dengan Metode *Polygon Thiessen*
(Sumber: Sri Harto, 1993)

2.5.4. Uji Pemilihan Distribusi

Uji pemilihan distribusi dilakukan berdasarkan syarat pengujian tagihan data untuk menggunakan analisis frekuensi. Pemilihan metode perhitungan hujan rencana ditetapkan berdasarkan parameter dasar statistiknya. Perhitungan parameter dasar statistik (Sri Harto, 1993):

1. Nilai Rata-Rata

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^i X_i \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata

X_i = Nilai varian ke-i

n = Jumlah data

2. Standar Deviasi (Sd)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

Sd = Standar deviasi

X = Tinggi hujan rata-rata selama n tahun (mm)

X_i = Tinggi hujan (mm)

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

3. Koefisien Skewness (C_s)

$$C_s = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{S_d^3} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

C_s = Koefisien skewness

X_i = Nilai varian ke-i

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah data

S_d = Standar deviasi

4. Koefisien Kurtosis (C_k)

$$C_k = \frac{\frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4}}{\dots\dots\dots} (2.10)$$

Dimana:

C_k = Koefisien skewness

X_i = Nilai varian ke-i

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah data

S_d = Standar deviasi

5. Koefisien Variasi (C_v)

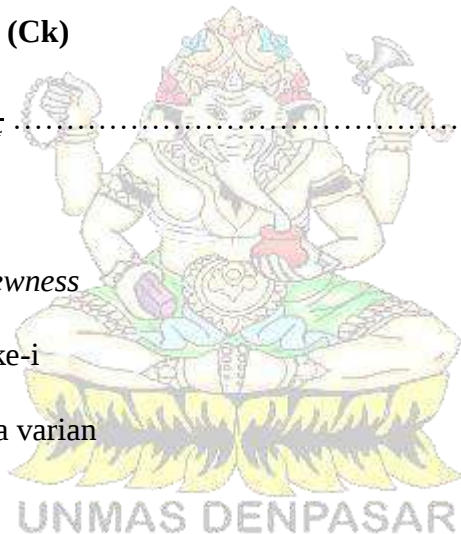
$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

C_v = Koefisien variasi

S_d = Standar deviasi

$\bar{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)



Syarat pengujian yang dipakai pada pengujian pemilihan distribusi adalah sebagai berikut (Sri Harto, 1993):

Tabel 2.2. Pengujian Pemilihan Distribusi

No.	Sebaran	Syarat
1.	Distribusi Normal	$C_s = 0$
		$C_k = 3$
2.	Distribusi <i>Log Normal</i>	$C_s \approx 3 C_v + C_v^2 = 3$
		$C_k = 5,38$
3.	Distribusi <i>Log-Pearson Type III</i>	$C_s \neq 0$
4.	Distribusi Gumbel	$C_s \leq 1,14$
		$C_k \leq 5,40$
5.	Bila tidak ada yang memenuhi syarat digunakan sebaran <i>Log-Person Type III</i>	

(Sumber: Sri Harto, 1993)

2.6. Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana digunakan dalam menentukan jumlah probabilitas besaran curah hujan rencana dalam berbagai periode ulang. Dasar perhitungan distribusi curah hujan rencana adalah ukuran yang berkaitan dengan analisis data dimana berisi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien *skewness* (kemencengan). Analisis curah hujan rencana dapat dihitung dengan cara distribusi Normal, *Log Normal*, *Log Pearson Type III*, dan Gumbel (Suripin, 2004), yaitu:

2.6.1. Distribusi Normal

Persamaannya dapat dihitung dengan menggunakan rumus yaitu sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T – tahunan

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata hitung varian

S = Deviasi standar nilai varian

K_T = Faktor frekuensi

Tabel 2.3. Distribusi Normal

No	Periode Ulang (T) Tahun	Peluang	K_T
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,250	0,800	-0,84
3	1,670	0,600	-0,25
4	2,500	0,400	0,25
5	2,000	0,500	0
6	5,000	0,200	0,84
7	10,000	0,100	1,28
8	20,000	0,050	1,64
9	50,000	0,020	2,05
10	100,000	0,010	2,33

(Sumber: Suripin, 2004)

2.6.2. Distribusi Log Normal

Distribusi *Log Normal* merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah nilai X menjadi logaritmik X. distribusi *Log Pearson Type III* akan menjadi distribusi Log Normal apabila nilai koefisien kemencengan (C_s) = 0,00. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan parameter statistik:

1. Ubah data dalam bentuk logaritma, $X_i = \text{Log } X_i$ (2.13)

2. Hitung harga rata-rata, $\overline{\text{Log } X_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n}$ (2.14)

3. Hitung harga standar deviasi, $S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X_i})^2}{n-1}}$ (2.15)

4. Hitung koefisien variasi, $C_v = \frac{S_d}{\overline{\text{Log } X_i}}$ (2.16)

5. Hitung koefisien kemencengan, $C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X_i})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3}$ (2.17)

6. Hitung pengukuran kurtosis, $C_k = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X_i})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4}$ (2.18)

7. Hitung logaritma hujan atau banjir periode kala ulang T,

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X_t} + K.S_d \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

K = Variabel standar

$\bar{X}$ = Harga rata-rata

S = Simpangan baku

Cs = Koefisien kemencengan

$\overline{\text{Log } X_t}$ = Nilai rata-rata hitung varian

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T

Tabel 2.4. Standar Variabel (Kt) untuk Metode Log Normal

T (Tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt
1	-1.86	20	1.89	90	3.34
2	-0.22	25	2.1	100	3.45
3	0.17	30	2.27	110	3.53
4	0.44	35	2.41	120	3.62
5	0.64	40	2.54	130	3.7
6	0.81	45	2.65	140	3.77
7	0.95	50	2.75	150	3.84
8	1.06	55	2.86	160	3.91
9	1.17	60	2.93	170	3.97
10	1.26	65	3.02	180	4.03
11	1.35	70	3.08	190	4.09
12	1.43	75	3.6	200	4.14
13	1.5	80	3.21	221	4.24
14	1.57	85	3.28	240	4.33
15	1.63	90	3.33	260	4.42

(Sumber: Soewarno, 1995)

2.6.3. Distribusi Log Pearson Type III

Distribusi *Log Pearson Type III* merupakan perkembangan fungsi probabilitas yang dilakukan oleh *Pearson*. Metode yang dianjurkan dalam

pemakaian distribusi *Log Pearson Type III* ialah dengan mengkonversikan rangkaian datanya menjadi bentuk logaritmis.

Nilai rerata:

$$\overline{\log X} = \sum_{i=1}^n \frac{\log X}{n} \dots\dots\dots (2.20)$$

Atau dengan cara:

$$\sigma \log x = \frac{\sum (\log x)^2 - (\sum \log x)^2 / n}{n-1}$$

$$C_s = \frac{n^2 \sum (\log x)^3 - 3n \sum (\log x)^2 + 2 (\sum \log x)^3}{n(n-1)(n-2)(\sigma \log x)^3} \dots\dots\dots (2.21)$$

Standar deviasi:

$$\sigma \log x = \sum_{i=1}^n \frac{(\log X - \log \bar{X})^2}{n-1} \dots\dots\dots (2.22)$$

Koefisien asimetri:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(\sigma \log x)^3} \dots\dots\dots (2.23)$$

Tabel 2.5. Nilai Kemencengan (K) Distribusi *Log Pearson Type III*

Cs	Interval kejadian (<i>Recurrence interval</i>), tahun (periode ulang)							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui (<i>percent change of being exceeded</i>)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,2	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,192	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,399
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891
0,7	-1,880	-0,857	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,0	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,2	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029

Interval kejadian (<i>Recurrence interval</i>), tahun (periode ulang)								
Cs	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui (<i>percent change of being exceeded</i>)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
-0,6	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,8	-2,891	-0,780	0,122	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,0	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-2,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-2,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,6	-2,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,6	-3,889	-0,490	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	-3,973	-0,469	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,0	-7,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,669

(Sumber: Suripin, 2004)

2.6.4. Distribusi Gumbel

Metode Gumbel dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K.S_x \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana:

X_T = Variate yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rancangan untuk periode ulang T tahun

$\bar{X}$ = Harga rerata dari data, dimana $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

S_x = Standar deviasi, dimana $S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \bar{X} \sum_{i=1}^n X_i}{n-1}}$

K = Faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang (*return periode*) dan tipe distribusi frekuensi

Untuk menghitung faktor frekuensi *Gumbel Type I* digunakan rumus:

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana:

Y_t = Fungsi periode ulang

T (th) = $-\ln(-\ln(T-1)/T)$

Y_n = *Reduced mean* sebagai fungsi dari banyaknya data n

S_n = *Reduced standard* deviasi sebagai fungsi dari banyaknya data n

Dengan mensubstitusikan ketiga persamaan diatas diperoleh:

$$X_t = \bar{X} + \frac{S_x}{S_n} (Y_t - Y_n) \dots\dots\dots (2.26)$$

Jika:

$$\frac{1}{a} = \frac{S_x}{S_n}$$

$$b = \bar{X} - (S_x/S_n) \cdot Y_n$$

Persamaan diatas menjadi:

$$X_t = b + (1/a) \cdot Y_T \dots\dots\dots (2.27)$$

Tabel 2.6. Nilai Rata-Rata dari *Reduced Variate* (Y_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5032	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5520
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5309	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5553	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5507	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

(Sumber: Suripin, 2004)

Tabel 2.7. Deviasi Standar dari *Reduced Variate* (S_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844

70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

(Sumber: Suripin, 2004)

Tabel 2.8. Nilai *Reduced Variate* (Y_T)

Periode Ulang Tr. (tahun)	<i>Reduced Variate</i> Y_{Tr}	Periode Ulang Tr. (tahun)	<i>Reduced Variate</i> Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

(Sumber: Suripin, 2004)

2.7. Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian distribusi frekuensi menggunakan metode *Smirnov-Kolmogorof*, metode ini digunakan untuk pengujian kecocokan distribusi dapat dilakukan lebih sederhana dengan membandingkan probabilitas untuk semua varian, dari distribusi empiris dan teoritisnya akan terdapat perbedaan (α) tertentu (Sri Harto, 1993). Berdasarkan persamaan *Smirnov-Kolmogorov*:

$$\alpha = P \{ \max |P(X) - P(X_i)| \} \Delta_{cr}$$

Apabila nilai Δ_{max} yang terbaca pada kertas kemungkinan (Δ_{cr} yang didapat dari tabel Δ kritis untuk Uji *Smirnov Kolmogorov*) Untuk derajat nyata (*level of significance*) dan banyaknya varian yang tertentu, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi hanya karena kesalahan-kesalahan yang terjadi secara kebetulan. Urutan pemeriksaan ini adalah sebagai berikut:

1. Susun data curah hujan harian rerata tiap tahun dari kecil ke besar atau sebaliknya.

2. Hitung probabilitas untuk masing-masing data hujan dengan persamaan *Weibull* sebagai berikut:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana:

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data dari seri data yang telah disusun

n = Banyak data

3. Gambarkan (*plot*) distribusi empiris maupun distribusi teoritis pada kertas grafik probabilitas yang sesuai.
4. Kemudian cari harga mutlak perbedaan maksimum antara distribusi empiris (P empiris) dengan distribusi teoritis (P teoritis).
5. Maks = maksimum | P teoritis – P empiris |.
6. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan nilai Δ kritis.
7. Apabila $\Delta \text{ maks} \leq \Delta \text{ kritis}$, maka distribusi teoritisnya dapat diterima dan bila terjadi sebaliknya maka distribusi teoritisnya tidak dapat diterima.

Tabel 2.9. Nilai Delta Kritis (Δ_{cr}) untuk Uji *Smirnov-Kolmogorov*

α n	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,67
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

(Sumber: Shahin, 1976)

2.8. Analisis Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah banyaknya kuantitas hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan pada setiap satuan waktu tertentu (Lutjito, 2019). Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periodenya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) digunakan rumus pendekatan Mononobe (Sosrodarsono, 1995), sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Durasi hujan (jam)

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

Untuk mendapatkan persamaan lengkung IDF dipakai cara kwadrat terkecil (*lest square*) dari tiga jenis metode yang umum dipakai yaitu:

1. Metode Talbot (1881)

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dengan:

$$a = \frac{[It][I^2] - [I^2t][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][It] - N[I^2t]}{N[I^2] - [I][I]}$$

2. Metode Sherman (1905)

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dengan:

$$\text{Log } a = \frac{[\log I][(\log t)^2] - [\log t \log I][\log t]}{N[\log t^2] - [\log t][\log t]}$$

$$n = \frac{[\log I][\log t] - N[\log t \log I]}{N[\log t^2] - [\log t][\log t]}$$

3. Metode Ishiguro (1953)

$$I = \frac{a}{\sqrt{t}+b} \dots\dots\dots (2.32)$$

Dengan:

$$a = \frac{[I\sqrt{t}][I^2] - [I^2\sqrt{t}][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][I\sqrt{t}] - N[I^2\sqrt{t}]}{N[I^2] - [I][I]}$$

Besarnya deviasi rata-rata dari ketiga jenis rumus harus dihitung untuk mengetahui metode yang memberikan hasil yang optimum sebagai rumus persamaan kurva lengkung IDF.

2.9. Analisis Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit maksimum pada periode ulang yang akan dialirkan ke saluran drainase yang telah direncanakan untuk mencegah terjadinya genangan atau banjir. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1986), angka periode ulang yang digunakan untuk bangunan air atau sungai adalah:

1. Tubuh bendungan = 1000 th
2. Pelimpah bendungan = 100 th
3. Cover DAM pada bendungan = 20 th
4. Bendung sungai besar sekali = 100 th
5. Bendung sungai sedang = 50 th
6. Bendung sungai kecil = 25 th
7. Tanggul sungai besar/daerah penting = 25 th
8. Tanggul sungai kecil/daerah tidak penting = 10 th

- | | |
|----------------------------------|---------|
| 9. Jembatan jalan penting | = 25 th |
| 10. Jembatan jalan tidak penting | = 10 th |
| 11. Drainase perkotaan | = 5 th |

Banjir rancangan adalah debit maksimum di sungai atau saluran dengan periode ulang yang sudah ditentukan. Berdasarkan analisis curah hujan rancangan dari data curah hujan harian maksimum dapat dihitung besarnya debit banjir rancangan dengan kala ulang 5, 10, 25, 50. Analisis debit banjir rancangan dibedakan antara banjir di sungai dan banjir pada saluran drainase.

Saluran sekunder digunakan intensitas hujan dengan periode ulang 5 tahun, sedangkan saluran tersier menggunakan periode ulang 2 tahun. Perhitungan kapasitas saluran tersebut dilakukan dengan memperhatikan koefisien kekasaran manning, bentuk penampang saluran dan prinsip saluran terbuka. Parameter yang menentukan dalam perhitungan debit adalah sebagai berikut:

1. Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran merupakan daerah cakupan hujan yang terjadi di dalam daerah pengaliran. Penentuan daerah pengaliran sangat tergantung dari kontur permukaan.

2. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi persatuan waktu, pada air tersebut terkonsentrasi.

3. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variabel yang didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut.

Tabel 2.10. Koefisien Pengaliran

No	Jenis Daerah	Koefisien C
1	Daerah perdagangan a. Perkotaan (<i>down town</i>) b. Pinggiran	0,70 – 0,90 0,50 – 0,70
2	Pemukiman a. Perumahan satu keluarga b. Perumahan berkelompok, terpisah- pisah c. Perumahan berkelompok, bersambungan d. Suburban e. Daerah apartemen	0,30 – 0,50 0,40 – 0,60 0,60 – 0,75 0,25 – 0,40 0,50 – 0,70
3	Industri a. Daerah industri ringan b. Daerah industri berat	0,50 – 0,80 0,60 – 0,90
4	Taman, perkuburan	0,10 – 0,25
5	Tempat bermain	0,20 – 0,35
6	Daerah stasiun kereta api	0,20 – 0,40
7	Daerah belum diperbaiki	0,10 – 0,30
8	Jalan	0,70 – 0,95
9	Bata a. Jalan, hamparan b. Atap	0,75 – 0,85 0,75 – 0,95

(Sumber: Arsyad, 2006)

2.9.1. Analisis Koefisien *Run-Off*

Koefisien pengaliran dari suatu bidang tanah/suatu daerah tergantung dari tata guna lahan, kepadatan penduduk, struktur geologi tanah. Besar koefisien pengaliran rata-rata dari suatu wilayah dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_iA_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \dots\dots\dots (2.33)$$

Keterangan:

C = Koefisien pengaliran

A = Luas wilayah pengaliran

2.9.2. Limpasan

Limpasan adalah apabila intensitas yang jatuh di suatu DAS melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan pada permukaan tanah. Limpasan permukaan terjadi ketika laju hujan lebih besar dari pada laju infiltrasi dan persamaan limpasan permukaan selalu dikembangkan berdasarkan pada kondisi tersebut (Asdak, 2010).

Setelah cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir (melimpas) diatas permukaan tanah. Faktor yang menyebabkan limpasan dan genangan air hujan dipengaruhi lima hal yaitu intensitas curah hujan, jenis tutupan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan kerapatan aliran.

Beberapa variabel yang ditinjau dalam analisis banjir adalah volume banjir, debit puncak, tinggi genangan, lama genangan dan kecepatan aliran. Menurut Hariyanto (2022), komponen limpasan terdiri dari:

1. Aliran Permukaan

Aliran Permukaan (*surface flow*) adalah bagian dari air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas permukaan tanah. Aliran permukaan disebut juga aliran langsung (*direct runoff*). Aliran permukaan dapat terkonsentrasi menuju sungai dalam waktu singkat, sehingga aliran permukaan merupakan penyebab utama terjadinya banjir.

2. Aliran Antaran

Aliran antara (*interflow*) adalah aliran dalam arah lateral yang terjadi di bawah permukaan tanah. Aliran antara terdiri dari gerakan air dan lengas tanah secara lateral menuju elevasi yang lebih rendah.

3. Aliran air tanah

Aliran air tanah adalah aliran yang terjadi di bawah permukaan air tanah ke elevasi yang lebih rendah yang akhirnya menuju sungai atau langsung ke laut.

2.9.3. Koefisien Pengaliran (C)

Koefisien pengaliran (C) adalah suatu variabel didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut (Soemarto, 1999). Kondisi dan karakteristik yang dimaksud adalah:

1. Keadaan hujan
2. Luas dan bentuk aliran
3. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
4. Daya infiltrasi dan perkolasi tanah
5. Kebasahan tanah
6. Suhu udara dan angin serta evaporasi
7. Tata guna lahan

Koefisien pengaliran yang disajikan pada tabel berikut, didasarkan dengan suatu pertimbangan bahwa koefisien tersebut sangat tergantung pada faktor fisik.

Tabel 2.11. Angka Koefisien Pengaliran

Kondisi DAS	Koef. Pengaliran (C)
Pegunungan curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Tanah berelief berat dan berhutan kayu	0,50 – 0,75
Daratan pertanian	0,45 – 0,60
Daratan sawah irigasi	0,70 – 0,80
Sungai di pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai di daratan rencah	0,45 – 0,75
Sungai besar yang sebagian alirannya berada di daratan rendah	0,50 – 0,75

(Sumber: Wesli, 2008)

Pada tahun 1939, Dr. Kawakami membuat rumus yang menunjukkan bahwa koefisien sungai tertentu tidak tetap tetapi berbeda tergantung pada curah hujan.

Dengan rumus sebagai berikut:

$$f = 1 - R'/Rt = 1 - f^1 \dots\dots\dots (2.34)$$

Dengan:

f = Koefisien pengaliran

f^1 = Laju kehilangan = t / R^s

Rt = Jumlah curah hujan (mm)

R' = Kehilangan curah hujan

t, s = Tetapan

2.9.4. Metode Rasional

Metode rasional digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan pada daerah tangkapan aliran (DTA) kecil. Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun terbatas untuk DTA dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (Suripin, 2004).

Metode ini digunakan untuk daerah aliran sungai kecil (sekitar 1000 sampai 5000 hektar) dan diasumsikan bahwa curah hujan turun dengan intensitas konstan dan seragam di semua cekungan (A. Majidi, 2012).

Rumus ini banyak digunakan untuk sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas dan juga untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang relatif sempit dan merupakan rumus tertua yang dan paling populer di antara rumus empiris lainnya. Bentuk umum rumus rasional ini adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,002778 \cdot C.I.A \dots\dots\dots (2.35)$$

Dengan:

- Q = Debit puncak (m^3/detik)
- F = Koefisien satuan luas, jika luas lahan dalam Ha maka $F = 0,00278$, jika luas lahan are maka $F = 1$
- C = Koefisien pengaliran
- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah (hektar)

2.10. Dimensi Saluran

Dimensi saluran adalah suatu tempat lain melalui bangunan pembawa alamiah maupun buatan manusia. Bangunan pembawa ini dapat terbuka maupun tertutup bagian atasnya. Saluran yang tertutup bagian atasnya disebut saluran tertutup (*closed conduits*), sedangkan yang terbuka bagian atasnya disebut saluran terbuka (*open channels*). Pada sistem pengaliran melalui saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas (*free surface*) di mana permukaan bebas ini dipengaruhi oleh tekanan udara luar secara langsung, saluran terbuka umumnya digunakan pada lahan yang masih memungkinkan (luas), lalu lintas pejalan kakinya relatif jarang, beban kiri dan kanan saluran relatif ringan. Pada sistem pengaliran melalui saluran tertutup (pipa *flow*) seluruh pipa diisi dengan air sehingga tidak terdapat permukaan yang bebas, oleh karena itu permukaan tidak secara langsung dipengaruhi oleh tekanan udara luar, saluran tertutup umumnya digunakan pada daerah yang lahannya terbatas (pasar, pertokoan), daerah yang lalu lintas pejalan kakinya relatif padat, lahan yang dipakai untuk lapangan parkir (Suripin, 2004).

2.10.1. Penampang Saluran

Penampang hidrolis terbaik adalah penampang yang mempunyai keliling basah terkecil pada luas penampang tertentu yang akan memberikan aliran yang maksimum atau penampang saluran yang memberikan luas penampang aliran

(penampang basah) terkecil pada debit aliran tertentu dimana bentuk penampang saluran akan dapat berpengaruh terhadap besarnya debit aliran yang dapat diangkut atau dialirkan oleh saluran (Suripin, 2004).

Disamping untuk meningkatkan kapasitas saluran, bentuk penampang saluran juga dapat disesuaikan dengan fungsi saluran tersebut dibuat. Adapun bentuk saluran yang dikaitkan dengan fungsi saluran adalah sebagai berikut:

1. Bentuk penampang persegi panjang apabila dilihat pada bagian dinding saluran dapat digunakan sebagai dinding penahan serta ruang untuk saluran sangat terbatas.
2. Bentuk penampang lingkaran atau parabola, walaupun pembuatannya relatif agak sulit tetapi apabila dilihat dari fungsi saluran cukup efektif untuk mengalirkan bahan endapan, serta adanya fluktuasi debit aliran atau untuk mengalirkan air limbah.
3. Bentuk penampang tersusun dibuat apabila lahan terbatas untuk saluran atau fungsi saluran mengalirkan air limbah dan air hujan (tercampur). Penampang tersusun dapat dibuat kombinasi antara empat persegi panjang dengan setengah lingkaran atau persegi panjang dengan segitiga dibagian bawah dan sebagainya.

Pemilihan bentuk penampang saluran dalam praktek harus dilakukan sedemikian rupa sehingga sedapat mungkin dipenuhi aspek ekonomis penampang saluran dalam arti kata dengan luas penampang tertentu mampu mengalirkan debit air sebanyak-banyaknya (maksimum), selain juga melihat fungsi saluran, misalnya apabila saluran untuk mengalirkan endapan (Chow, 1959).

2.10.2. Kekasaran Dinding Saluran

Robert Manning (1889), mengemukakan sebuah rumus kecepatan yaitu sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (2.36)$$

Dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

I = Kemiringan memanjang dasar saluran

n = Koefisien kekasaran menurut manning yang besarnya tergantung dari bahan dinding yang dipakai.

Apabila bentuk rumus Manning diubah menjadi rumus Chezy, maka besarnya C adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana:

C = Koefisien Chezy

R = Jari-jari hidraulik (m)

n = Koefisien kekasaran menurut Manning

Tabel 2.12. Nilai Koefisien Manning

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (n)
Besi tuang lapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Beton dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 1993)

2.10.3. Kapasitas Saluran

Perhitungan hidraulika digunakan untuk menganalisa dimensi penampang berdasarkan kapasitas maksimum saluran. Penentuan dimensi saluran baik yang ada (eksisting) atau yang direncanakan, berdasarkan debit maksimum yang akan dialirkan (Suripin, 2004). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q_{sal} = A.V$$

Dimana:

Q_{sal} = Debit banjir rancangan ($m^3/detik$)

A = Luas penampang (m^2)

V = Kecepatan rata-rata

Dengan:

$$A = B \cdot h$$

$$P = B + 2h$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Dimana:

B = Lebar dasar saluran (m)

P = Keliling basah saluran (m)

h = Tinggi muka air (m)

R = Jari-jari hidraulik (m)



Tabel 2.13. Tinggi Jagaan untuk Saluran Pasangan

No	Debit (M^3/dt)	Tinggi Jagaan (m)
1	< 0,5	0,15
2	0,5 - 1,5	0,20
3	1,5 - 5,0	0,25
4	5 - 10,0	0,30
5	10 - 5	0,40

6	> 15	0,50
---	------	------

(Sumber: Standar Perencanaan, KP-03, 1986)

2.11. Program Storm Water Management Model (SWMM)

Storm Water Management Model (SWMM) merupakan model simulasi hujan-aliran (*rainfall-runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan dari daerah perkotaan. Model ini telah digunakan untuk analisa hidrolika yang kompleks dalam masalah saluran pembuangan, manajemen jaringan drainase. Dengan menggunakan SWMM, kondisi yang terjadi di lapangan dapat dimodelkan dengan memasukkan parameter-parameter yang tercatat pada kondisi sesungguhnya (Rossman, Lewis A, 2010).

2.11.1. Pemodelan *Storm Water Management Model* (SWMM)

1. Pembagian *Sub-Catchment*

Langkah awal dalam penggunaan SWMM adalah pembagian *sub-catchment* pada area penelitian. Pembagian tersebut sesuai dengan daerah tangkapan air (DTA) yang ditentukan berdasarkan pada elevasi lahan dan pergerakan limpasan ketika terjadi hujan.

2. Simulasi Respon Aliran pada *Time Series*

Simulasi respon aliran pada *time series* dilakukan untuk melihat respon debit aliran terhadap waktu berdasarkan sebaran curah hujan. Nilai yang dimasukkan adalah nilai sebaran curah hujan terhadap waktu dengan total nilai sesuai dengan curah hujan rencana yang dihasilkan dalam analisis hidrologi.

3. Pembuatan Model Jaringan

Pembuatan model jaringan dilakukan berdasarkan sistem jaringan drainase yang ada di lokasi penelitian. Model jaringan ini terdiri dari *sub-catchment*, *junction node*, *outfall node*, *conduit*, dan *rain gages*. Setelah model jaringan selanjutnya

dimasukkan semua nilai parameter yang dibutuhkan untuk semua *property* tersebut.

4. Simulasi Model

Simulasi ini dilakukan setelah model jaringan drainase dan semua parameter berhasil dimasukkan. Simulasi dapat dikatakan berhasil jika *continuity error* > 5%. Dalam simulasi SWMM besarnya debit banjir dihitung dengan cara memodelkan suatu sistem drainase. Aliran permukaan atau limpasan permukaan terjadi karena intensitas hujan yang jatuh di suatu daerah melebihi kapasitas *infiltrasi*. Selanjutnya limpasan terjadi akan mengalir melalui *conduit* atau saluran yang ada.

5. Output SWMM

Output dari simulasi ini meliputi *runoff quantity continuity*, *flow routing continuity*, *highest flow instability indexes*, *routing time step*, *subscatchment runoff*, *node depth*, *node inflow*, *node surcharge*, *node flooding*, *outfall loading*, *link flow*, dan *conduit surcharge* yang disajikan dalam laporan statistik simulasi rancangan yang divisualisasikan dalam jaringan saluran drainase hasil *output* dari simulasi, profil aliran dari beberapa saluran utama dan yang diketahui tergenang, dan grafik aliran yang terjadi pada saluran.