

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir adalah kejadian ketika aliran air sungai melebihi kapasitas normalnya karena hujan yang terus-menerus dalam periode waktu tertentu. Akibatnya, air sungai meluap dan membanjiri wilayah sekitarnya (Peraturan dirjen RLPS No. 4 Tahun 2009). Umumnya, terdapat dua faktor penyebab terjadinya banjir yaitu sebagai berikut:

1. Faktor Alami

Faktor alami yang berperan dalam terjadinya banjir meliputi curah hujan yang tinggi dan intensitasnya besar dalam waktu singkat, kemiringan lereng dan kondisi drainase yang mempengaruhi aliran air, kondisi air tanah yang jenuh atau kelebihan air tanah dapat mempengaruhi tingkat permukaan air di wilayah tersebut, kondisi saluran drainase yang sempit, dangkal, atau tersumbat oleh material sedimen atau sampah dapat menyebabkan terjadinya banjir. Saluran drainase yang tidak memadai atau tersumbat juga dapat mempengaruhi aliran air dan menyebabkan genangan atau banjir di kawasan perkotaan

2. Faktor Kegiatan Manusia

Tidak hanya dari faktor alami saja, penyebab terjadinya banjir dapat disebabkan oleh kegiatan manusia meliputi pencemaran air sungai dan saluran drainase oleh limbah industri, domestik, atau pertanian dapat mempengaruhi aliran air dan menyebabkan penyumbatan saluran. Penyumbatan ini menghambat aliran air, memperburuk kapasitas drainase, dan meningkatkan risiko banjir. Aktivitas manusia seperti emisi gas rumah kaca dapat berkontribusi pada perubahan iklim global. Perubahan ini mempengaruhi pola hujan, dengan dampak yang tidak terduga dan meningkatkan risiko banjir di beberapa wilayah.

Pada tugas akhir kali ini, yang akan dikaji adalah banjir pluvial karena merupakan permasalahan yang relevan dan aktual di banyak wilayah, terutama di kawasan urban.

2.1.1 Karakteristik Banjir Pluvial

Banjir pluvial merupakan banjir yang terjadi karena hujan deras di suatu kawasan yang relatif tidak dekat dengan sungai. Air hujannya tersebut tidak mampu tertampung/teraliri sepenuhnya oleh sistem drainase lokal sehingga airnya melimpas dan membanjiri kawasan tersebut (Wananda, 2021).

Banjir pluvial jarang dibahas karena banjir sungai (fluvial) lebih mudah dipahami oleh masyarakat dibandingkan dengan banjir hujan (banjir pluvial) yang terjadi ketika air hujan tidak dapat meresap ke dalam tanah dan mengalir di permukaan untuk mengisi cekungan lokal (Houston et al., 2011). Banjir pluvial umumnya berlangsung singkat, biasanya tidak lebih dari satu hari, dan hanya mempengaruhi area yang terbatas (Chen et al., 2010).

Banjir pluvial sering terjadi saat kecepatan hujan melampaui kapasitas saluran air untuk mengalirkan air dan melebihi kapasitas tanah untuk menyerap air (Houston et al., 2011). Biasanya, banjir pluvial terkait dengan hujan yang lebat dalam durasi singkat, sekitar tiga jam, dengan intensitas hujan mencapai lebih dari 20 atau 25 mm per jam. Kondisi permukaan tanah yang sudah terlindungi oleh lapisan perkerasan atau jenuh air juga dapat memperburuk banjir pluvial (Houston et al., 2011). Ketika hujan lebat berlangsung dalam waktu yang lama, air hujan akan mengalir di atas permukaan tanah yang tidak dapat menyerapnya, sehingga menciptakan ilusi seperti sungai.

Banjir pluvial terjadi ketika intensitas hujan yang tinggi melebihi kapasitas drainase alami atau infrastruktur drainase perkotaan. Ini menyebabkan air hujan mengumpul di permukaan tanah, jalan, dan area perkotaan lainnya. Banjir pluvial sering terjadi dengan cepat dan dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan.

Banjir pluvial disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan cepat, terutama di daerah perkotaan dengan infrastruktur drainase yang terbatas atau tidak memadai. Faktor lain yang mempengaruhi banjir pluvial meliputi topografi, penggunaan lahan yang tidak tepat, dan

perubahan iklim. Dampak dari banjir pluvial dapat menyebabkan kerusakan pada properti, infrastruktur, dan lingkungan. Air yang menggenangi jalan dapat mengganggu lalu lintas, merusak kendaraan, dan mengancam keselamatan pejalan kaki. Banjir pluvial juga dapat menyebabkan pencemaran air karena mengangkut limbah, minyak, dan bahan kimia dari permukaan yang terkontaminasi.

Untuk mengurangi resiko banjir pluvial dapat dilakukan perencanaan tata ruang yang baik. Hal ini melibatkan pemetaan daerah yang rentan terhadap banjir, mempertimbangkan pola aliran air, dan mengatur penggunaan lahan dengan bijak, dan juga mempertimbangkan infiltrasi air hujan dan meningkatkan infrastruktur jaringan drainase yang memadai.

Pengelolaan air hujan yang baik dapat membantu mengurangi dampak banjir pluvial. Ini melibatkan penggunaan metode perlindungan seperti kolam retensi, saluran terbuka, sistem pengendalian aliran permukaan, dan infrastruktur lainnya untuk menampung dan mengarahkan aliran air hujan dengan baik. Kesadaran masyarakat tentang risiko banjir pluvial penting untuk meminimalkan dampaknya. Edukasi mengenai perilaku yang berkelanjutan, pengurangan limbah, dan pengelolaan air hujan di tingkat rumah tangga dapat membantu dalam mengurangi banjir pluvial.

Perencanaan dan mitigasi banjir pluvial memerlukan kerja sama antara pemerintah, ahli perencanaan, insinyur, dan masyarakat. Pendekatan yang terintegrasi, termasuk pengelolaan air hujan yang berkelanjutan, perencanaan tata ruang yang baik, dan infrastruktur drainase yang memadai, dapat membantu mengurangi risiko dan dampak dari banjir pluvial.

2.1.2 Pengendalian Banjir (Flood Control)

Berdasarkan Pedoman Konstruksi dan Bangunan tentang Peramalan Banjir dan Peringatan Dini (Pd T-23-2004-A) oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, pengendalian banjir (*flood*

control) merupakan serangkaian tindakan yang dilakukan untuk mengurangi dampak dan risiko banjir serta melindungi wilayah dari terjadinya banjir. Tujuan dari penanggulangan banjir adalah untuk menjaga keselamatan manusia, melindungi properti, dan meminimalkan kerugian akibat banjir.

Menurut Grigg (1996), upaya mitigasi atau penanggulangan banjir dapat dilakukan secara struktural dan juga non struktural.

a. Struktural

Flood control struktural adalah upaya untuk mengurangi risiko banjir melalui penggunaan struktur fisik atau infrastruktur yang dirancang khusus meliputi kolam retensi yang digunakan untuk menahan dan mengatur aliran air, tanggul yang dibangun di sepanjang sungai untuk membatasi aliran air dan mencegah genangan di daerah sekitarnya, pemeliharaan dan perbaikan drainase, dan lain-lain.

b. Non struktural

Flood control non struktural adalah pendekatan dalam mengurangi resiko banjir yang tidak melibatkan pembangunan struktur fisik atau infrastruktur tambahan. Pendekatan ini lebih fokus pada pengelolaan aliran air, perencanaan tata ruang, dan peringatan dini sistem informasi banjir.

Pengendalian banjir menggunakan kolam retensi merupakan salah satu strategi yang digunakan untuk mengurangi dampak banjir.

2.1.3 Kolam Retensi

A. Pengertian Kolam Retensi

Kolam retensi adalah sebuah struktur atau fasilitas yang dirancang untuk menampung air hujan sementara sebelum dibuang ke sistem drainase atau lingkungan. Kolam retensi digunakan untuk mengurangi risiko banjir, mengendalikan aliran air hujan, dan memperlambat aliran air ke sungai atau saluran air lainnya.

Pada perencanaan kolam retensi, diperlukan analisis hidrologi guna menentukan debit banjir rencana yang akan berdampak pada debit maksimum dan stabilitas konstruksi yang akan dibangun. Selain itu, data curah hujan diperlukan untuk merancang pemanfaatan air dan perancangan struktur air, dengan mempertimbangkan curah hujan rata-rata di seluruh daerah terkait, bukan hanya curah hujan di suatu titik tertentu. Selain data tersebut, perencanaan juga memerlukan estimasi debit air kotor untuk memastikan jumlah air yang akan masuk ke dalam kolam retensi yang akan dibangun. Dalam perencanaan tersebut, curah hujan di suatu titik tertentu juga perlu diperhitungkan (Sosrodarsono, 1993).

Kolam retensi dapat memiliki berbagai bentuk dan ukuran, mulai dari kolam sederhana di lingkungan perumahan hingga kolam retensi yang lebih besar yang dibangun di area perkotaan. Desain kolam retensi biasanya mencakup struktur fisik seperti dinding beton atau tanah yang memungkinkan penampungan air, serta saluran pengaliran masuk dan keluar untuk mengatur aliran air.

B. Fungsi Kolam Retensi

Kolam retensi memiliki fungsi utama untuk menahan sebagian air hujan yang jatuh di suatu area tertentu, terutama di daerah yang memiliki tingkat hujan yang tinggi. Kolam retensi diharuskan untuk memiliki kapasitas yang besar untuk dapat menampung volume air banjir dalam jangka waktu tertentu, sehingga dapat mencegah terjadinya banjir atau meluapnya sistem drainase saat curah hujan yang tinggi.

Kolam retensi juga dapat berfungsi sebagai sumur resapan. Dalam hal ini, kolam retensi bertindak sebagai tempat penyimpanan sementara air hujan yang memungkinkan air meresap ke dalam tanah secara alami dan mengisi sumber air tanah.

C. Evaluasi Jaringan Drainase Menggunakan Kolam Retensi

Evaluasi jaringan drainase kolam retensi melibatkan penilaian kinerja dan efektivitas sistem drainase yang terhubung dengan kolam retensi. Berikut adalah beberapa faktor yang biasanya dievaluasi dalam konteks ini:

1. Kapasitas Penampungan

Kolam retensi harus memiliki kapasitas yang memadai untuk menampung aliran air hujan yang masuk ke dalamnya. Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa kolam retensi memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan aliran air yang diantisipasi.

1. Pengaturan Aliran

Sistem drainase yang terhubung dengan kolam retensi harus dirancang untuk mengalirkan air secara efisien ke kolam tersebut. Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa saluran masuk dan keluar bekerja dengan baik, mengatur aliran air masuk dan keluar dari kolam retensi.

2. Waktu Tahan

Kolam retensi harus dapat menahan air hujan dalam jangka waktu tertentu untuk mengurangi risiko banjir dan memperlambat aliran air ke saluran air utama. Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa kolam retensi memiliki waktu tahan yang memadai untuk memperlambat aliran air sebelum dilepaskan ke saluran air.

Evaluasi jaringan drainase kolam retensi juga melibatkan pemantauan pemeliharaan rutin untuk memastikan saluran drainase tidak tersumbat atau terhalang. Keberlanjutan kolam retensi juga dievaluasi untuk memastikan bahwa sistem tetap berfungsi dengan baik dalam jangka panjang.

Evaluasi jaringan drainase kolam retensi biasanya melibatkan survei lapangan, pengumpulan data hidrologi, pemodelan hidrolis, dan analisis kualitas air. Dengan mengintegrasikan data dan informasi ini, evaluasi dapat

memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja sistem drainase dan mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan atau pemeliharaan.

2.2 Drainase Perkotaan

2.2.1 Pengertian Drainase Perkotaan

Urban drainage (drainase perkotaan) merupakan bagian dari ilmu drainase, fokus utamanya adalah pada teknik pengelolaan air di daerah perkotaan yang sangat terkait dengan isu-isu kesehatan lingkungan dan penampilan estetika kota (Saidah, 2021). Pengertian daerah perkotaan sering kali didasarkan pada kriteria jumlah populasi yang tinggi.

Penanganan sistem drainase di wilayah perkotaan seringkali menjadi permasalahan yang sangat kompleks dan juga tidak dapat diselesaikan hanya dengan membangun infrastruktur pembuangan air semata, melainkan memerlukan pendekatan yang komprehensif. Mengingat kompleksitas penanganan masalah perkotaan, desain sistem drainase perkotaan harus mempertimbangkan dan mencakup berbagai variabel desain, termasuk penggunaan lahan, perencanaan tata ruang kota, dan juga kondisi sosial-ekonomi masyarakat (Hasmar, 2011).

2.2.2 Sistem Drainase dan Komponennya

Sistem drainase di kawasan perkotaan biasanya dirancang secara terintegrasi dan saling terhubung antara berbagai wilayah. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan jumlah badan air penerima yang umumnya ada di daerah perkotaan, seperti sungai atau danau.

Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam sistem drainase ini meliputi:

1. Sistem saluran: Terdiri dari saluran penerima yang berada di bagian paling hulu (misalnya, saluran interseptor drain), saluran pembawa (conveyor drain), saluran induk (main drain), dan badan air penerima (receiving waters) seperti sungai, danau, atau laut.
2. Bangunan pelengkap atau fasilitas lainnya, antara lain seperti:

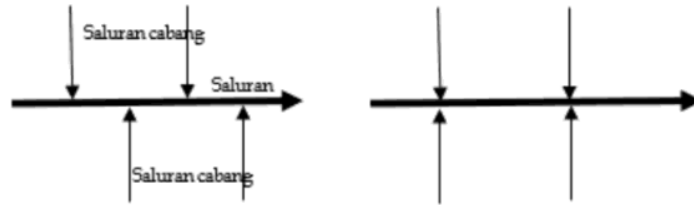
- a. Bangunan perlintasan, seperti gorong-gorong, siphon, jembatan air, atau talang.
- b. Bangunan pemecah energi, seperti bangunan terjun, kolam olak, atau peredam energi.
- c. Pintu air.
- d. Stasiun pompa.
- e. Bak kontrol.
- f. Sumur resapan, yaitu bangunan berupa sumur yang berfungsi untuk menyerap air hujan ke dalam tanah yang berasal dari atap bangunan.
- g. Kolam retensi, yaitu kolam yang berfungsi untuk mengurangi puncak banjir dengan menampung sementara air hujan (banjir) dan mengalirkannya kembali setelah muka air sungai menurun.
- h. Kolam tandon, yaitu kolam yang digunakan untuk menyimpan air hujan sebagai alternatif sumber air baku.
- i. Instalasi pengolah limbah, dan berbagai fasilitas lainnya.

2.2.3 Pola Jaringan Drainase

Pada umumnya, konsep sistem jaringan drainase saling terhubung membentuk pola jaringan tertentu. Pola jaringan drainase mengacu pada tata letak atau pola aliran sungai dan saluran air di suatu daerah, yang dibentuk oleh arus air permukaan yang mengikuti topografi dan karakteristik geologis wilayah tersebut. Beberapa pola jaringan drainase yang umum ditemukan telah dijelaskan oleh Wesli (2008).

a. Pola Siku

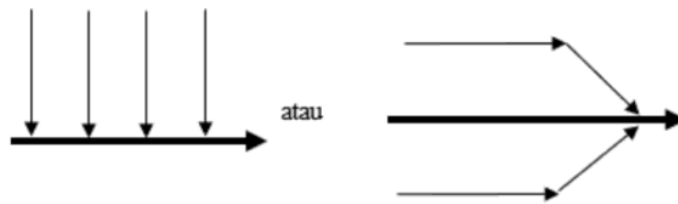
Pola jaringan drainase siku terbentuk ketika saluran cabang dan saluran utama membentuk sudut tajam. Biasanya pola siku ini bisa diterapkan di kawasan topografi yang lebih tinggi daripada badan sungai.



Gambar 2.1 Pola Siku

a. Pola Paralel

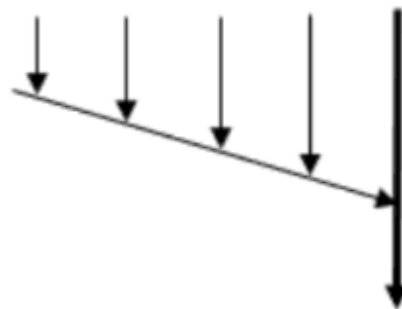
Pola drainase paralel ditandai oleh arah saluran utama yang berjalan sejajar dengan saluran cabang.



Gambar 2.2 Pola Paralel

b. Pola Grid Iron

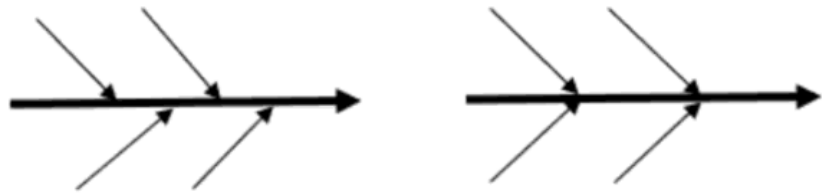
Pada pola drainase grid iron, aliran dair dikumpulkan terlebih dahulu di saluran cabang setelah itu mengalir ke saluran pengumpul kemudian dialirkan ke saluran utama.



Gambar 2.3 Pola Grid Iron

c. Pola Alamiah

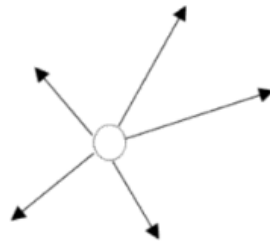
Pola drainase alamiah hampir setara dengan pola siku, perbedaannya terdapat di alirannya saja yang tidak selamanya posisi siku terhadap saluran utama.



Gambar 2.4 Pola Alamiah

d. Pola Radial

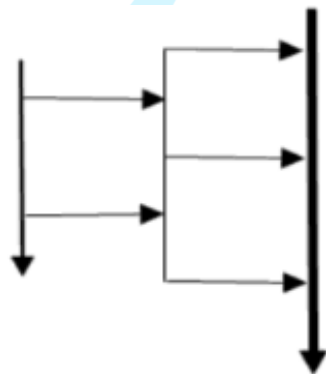
Pola jaringan ini menyebar dari sumber air ke segala arah. Pola ini cocok untuk daerah perbukitan.



Gambar 2.5 Pola Radial

e. Pola jaring-jaring

Pola ini mempunyai saluran yang mengikuti arah jalan raya yang sangat cocok untuk daerah dengan topografi yang datar.



Gambar 2.6 Pola jaring-jaring

2.3 Analisis Hidrologi

Menurut standar SNI 1724:2015, hidrologi adalah ilmu yang mempelajari tentang peredaran dan penyebaran air di bumi, termasuk sifat fisik dan kimia air, hubungannya dengan lingkungan dan makhluk hidup, serta proses penyusutan dan pengisian kembali sumber daya air. Analisis hidrologi

merupakan bagian penting dalam perencanaan bangunan yang berhubungan dengan air. Tujuan analisis hidrologi adalah untuk mengestimasi curah hujan rencana dan debit banjir rencana agar bangunan yang berhubungan dengan air dapat dirancang sesuai dengan kebutuhan dalam menangani debit banjir tersebut. Analisis hidrologi memerlukan data dan tahapan tertentu untuk menghitung debit banjir rencana, yaitu:

- A. Data karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) pada daerah bangunan air
- B. Data curah hujan maksimum setiap tahun berdasarkan masing-masing stasiun hujan yang mewakili DAS tersebut dan dilakukan analisis curah hujan kawasan DAS tersebut.
- C. Analisis curah hujan rencana pada periode ulang T tahun.
- D. Analisis debit banjir rencana yang didasari oleh curah hujan rencana periode ulang T tahun.

2.3.1 Analisis Curah Hujan Kawasan

Curah hujan adalah jumlah atau tinggi curah hujan yang terjadi dalam periode tertentu di suatu daerah di mana air hujan terkonsentrasi. Dalam analisis curah hujan kawasan, data curah hujan maksimum setiap tahun yang diperoleh dari stasiun hujan menjadi penting dalam tahap ini. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan kawasan dalam suatu DAS sebagai berikut: (SNI 2415:2016):

A. Metode Aljabar

Metode aljabar merupakan metode paling sederhana untuk menghitung hujan rata-rata yang jatuh di dalam & sekitar daerah tangkapan hujan. Metode ini adalah metode paling sederhana untuk mencari curah hujan Kawasan dan cocok untuk DAS kurang dari 500 km². Hasilnya memuaskan jika daerahnya datar dan alat ukur tersebar merata serta curah hujan tidak bervariasi banyak dari harga tengahnya dan distribusi hujan relatif merata pada seluruh DAS. Curah hujan daerah metode rata-rata aljabar dihitung dengan persamaan dibawah ini:

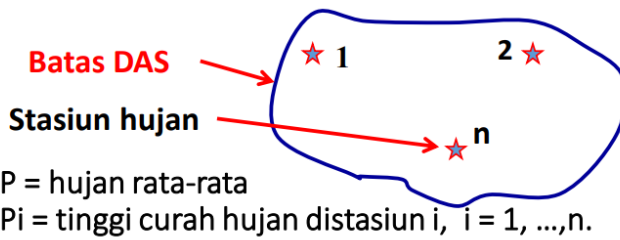
$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

R = curah hujan harian maksimum rata-rata (mm)

n = jumlah stasiun pengamatan

R₁, R₂,...R_n = curah hujan pada stasiun pengamatan (mm)



Gambar 2.7 Hujan Rata-rata Metode Aljabar (Arbaningrum, 2018)

B. Metode Poligon Thiessen

Metode poligon Thiessen, juga dikenal sebagai metode poligon Voronoi atau metode poligon tertutup, adalah salah satu metode yang digunakan dalam analisis hidrologi dan pemodelan curah hujan. Kriteria untuk metode ini adalah DAS dengan luas 500 – 5.000 km². Metode ini digunakan untuk membagi suatu kawasan menjadi beberapa poligon berdasarkan jarak terdekat ke stasiun hujan yang ada. Curah hujan daerah metode poligon Thiessen dihitung dengan persamaan dibawah ini:

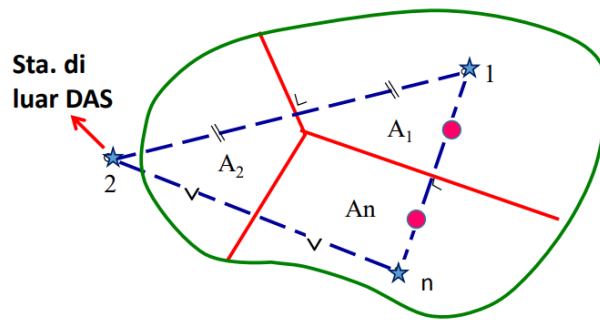
$$R = \frac{R_1.A_1 + R_2.A_2 + \dots + R_n.A_n}{A_1 + A_2 \dots A_n} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

R = curah hujan harian maksimum rerata (mm)

R₁, R₂,...R_n = curah hujan di tiap titik stasiun hujan (mm)

A₁, A₂,...A_n = luas yang mewakili tiap titik pengamatan (km²)



Gambar 2.8 Hujan Rata-rata dalam Metode Thiessen (Arbaningrum, 2018)

C. Metode Garis Isohyet

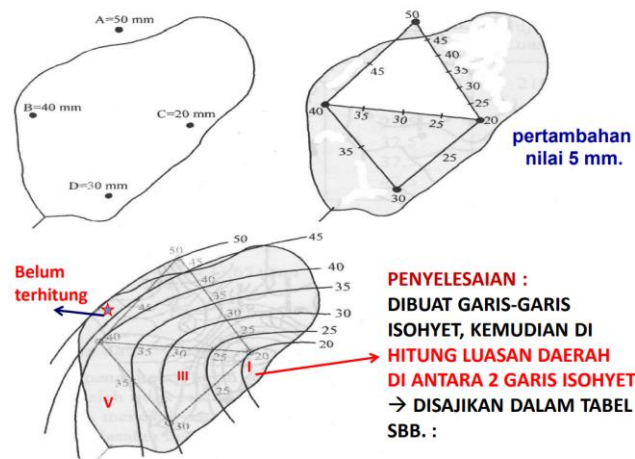
Metode isohyet menggunakan garis kontur tinggi curah hujan pada DAS untuk mengetahui curah hujan kawasan. Perhitungannya berupa tinggi curah hujan rata-rata pada garis-garis isohyet dikalikan dengan luas bagian kedua garis tersebut dan dibagi dengan total luas DAS (Gambar 2.9). Metode ini adalah metode yang paling teliti sehingga cocok untuk daerah datar maupun pegunungan dengan luas DAS lebih besar dari 5.000 km², tetapi memerlukan banyak stasiun hujan dan dibutuhkan analisis yang teliti. Rumus yang digunakan dalam metode ini adalah Rumus

2.4

$$R = \frac{\frac{R_1+R_2}{2} A_1 + \frac{R_2+R_3}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n+R_{n+1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- R = curah hujan maksimum rata-rata (mm)
- R₁, R₂, ..., R_n = curah hujan pada stasiun 1, 2, ..., n (mm)
- A₁, A₂, ..., A_n = luas daerah polygon 1, 2, ..., n (km²)



Gambar 2.9 Hujan Rata-rata Metode Isohyet (Arbaningrum, 2018)

2.3.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi merupakan metode yang digunakan untuk mempelajari dan menganalisis pola frekuensi peristiwa hidrologi, seperti curah hujan, debit aliran sungai, atau banjir. Metode ini mencoba untuk memahami distribusi data hidrologi dalam jangka waktu tertentu, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan kejadian masa depan.

Analisis frekuensi adalah suatu analisa untuk memperkirakan apakah debit banjir tersebut melewati atau sama dengan suatu periode tertentu (Limantara, 2010). Seperti misalnya pada 5 tahun, 10 tahun, 15 tahun, dan seterusnya. Nantinya analisis tersebut akan digunakan untuk menghasilkan besarnya limpasan banjir beserta debit rencana dengan periode ulang tertentu.

Menurut SNI 2415:2016, analisis frekuensi dapat dihitung dengan menggunakan beberapa parameter sebagai berikut:

2.3.2.1 Parameter Statistik

Dalam perhitungan analisis frekuensi, dibutuhkan beberapa parameter untuk dijadikan acuan perhitungan. Parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi diantaranya adalah, nilai rata rata (\bar{X}), simpangan baku atau standar deviasi (Sd), koefisien kemiringan (Cs), koefisien kurtosis (Ck), dan koefisien variasi (Cv). Penentuan dari parameter tersebut mengacu kepada

data catatan curah hujan harian maksimum. Berikut adalah rumus yang digunakan dari tiap parameter :

1. Nilai rata-rata (\bar{X})

Nilai rata-rata dalam hidrologi mengacu pada rata-rata dari serangkaian data curah hujan. Nilai rata-rata digunakan untuk mewakili tingkat "normal" atau "tengah" dari data hidrologi yang diamati. Nilai rata-rata dapat dihitung dengan menggunakan Rumus 2.4

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Standar Deviasi (Sd)

Standar deviasi mengindikasikan sejauh mana data hidrologi tersebar di sekitar nilai rata-rata. Semakin besar standar deviasi, semakin besar variasi atau fluktuasi data hidrologi. Standar deviasi dapat dihitung menggunakan Rumus 2.5

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.5)$$

3. Koefisien *Skewness* (Cs)

Koefisien *Skewness* adalah nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi. Koefisien *Skewness* dapat dihitung menggunakan Rumus 2.6

$$Cs = \frac{n \sum(Xi-\bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.6)$$

4. Koefisien Kurtosis (Ck)

Koefisien kurtosis dalam hidrologi mengukur tingkat keruncingan atau bentuk puncak distribusi data hidrologi. Koefisien kurtosis digunakan untuk memahami tingkat ekstrem dalam data hidrologi pada kurva distribusi. Koefisien kurtosis dapat dihitung menggunakan Rumus 2.7

$$Ck = \frac{1/n \sum(Xi-\bar{X})^4}{1/n \sum((Xi-\bar{X})^2)^2} \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)} \dots\dots\dots (2.7)$$

5. Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi digunakan untuk membandingkan fluktuasi hidrologi antara lokasi, mengklasifikasikan hidrologi

sebagai kering atau basah, dan mengevaluasi risiko hidrologi terkait dengan variabilitas. Koefisien variasi dapat dihitung menggunakan Rumus 2.8

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

\bar{X} = nilai rata-rata curah hujan. (mm)

X = nilai curah hujan. (mm)

n = jumlah data curah hujan

Sd = deviasi standar curah hujan

Cs = koefisien kemencengan curah hujan

Ck = koefisien kurtosis curah hujan

Cv = koefisien variasi curah hujan

2.3.2.2 Pemilihan Jenis Sebaran

Pemilihan jenis sebaran atau distribusi digunakan untuk analisis frekuensi. Berdasarkan hasil parameter statistik di atas, pemilihan jenis sebaran dipilih berdasarkan persyaratan SNI 2415:2016 dengan empat asumsi sebagai berikut yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Syarat Pemilihan Sebaran

No.	Jenis Sebaran	Syarat
1	Normal	Cs = 0
		Ck = 3
2	Log Normal	Cs = Cv ² + 3Cv
		Ck = 5,383
		Cv ~ 0,06
3	Log Pearson type III	Cs ≠ 0
		Ck = 5,383
		Cv ~ 0,3
4	Gumbel	Cs = 1,14
		Ck = 5,4

Sumber: SNI 2415:2016

2.3.2.3 Distribusi Frekuensi

Dalam analisis ini, jenis distribusi frekuensi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana adalah Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel, dan Distribusi Log Pearson III (SNI 2415:2016). Perhitungan curah hujan rencana periode ulang T pada tiap distribusi menggunakan cara perhitungan yang berbeda-beda. Rumus-rumus yang digunakan dapat dilihat pada Rumus 2.9 sampai dengan Rumus 2.19.

A. Distribusi Normal

Untuk analisis frekuensi curah hujan menggunakan metode distribusi normal dihitung menggunakan Rumus 2.9

$$\bar{X}_{Tr} = \bar{X} \cdot K_T S_d \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

- X_{Tr} : besarnya curah hujan dengan periode ulang T tahun (m^3/s)
- X : curah hujan rata-rata (mm)
- S_d : standar deviasi data hujan harian maksimum
- K_T : standard variable untuk periode ulang T tahun (Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Metode Distribusi Normal (Nilai Variabel Reduksi Gauss)

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: Arbaningrum (2018)

B. Distribusi Log Normal

Untuk analisis frekuensi curah hujan menggunakan metode distribusi Log Normal, dengan Rumus 2.11 sebagai berikut:

$$\bar{X}_{Tr} = \bar{X} \cdot K_T S_d \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

- X_{Tr} : besarnya curah hujan dengan periode ulang T tahun
(m^3/s)
- X : curah hujan rata-rata (mm)
- S_d : standar debiasi data hujan harian maksimum
- K_T : standard variable untuk periode ulang T tahun
(Tabel 2.3)

Tabel 2.3 Standard Variable (Kt) untuk Metode Sebaran Log Normal

T (Tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt
1	-1.86	20	1.89	90	3.34
2	-0.22	25	2.10	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	3.70
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	3.60	200	4.14
13	1.50	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: Arbaningrum (2018)

C. Distribusi Gumbel

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode sebaran Gumbel digunakan persamaan 2.11 sebagai berikut.

$$\bar{X}_T = \bar{X} + \frac{S_d}{S_n} \cdot (Y_T - Y_n) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

- X_T : nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun.
- S_d : standar deviasi (simpangan baku)
- Y_T : nilai reduksi variat (reduced variate) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun
(Tabel 2.4)
- Y_n : nilai rata-rata dari reduksi variat (*reduce mean*)

nilainya tergantung dari jumlah data (n) (Tabel 2.5)

S_n : deviasi standar dari reduksi variat (*reduced standard deviation*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) (Tabel 2.6)

Tabel 2.4 Nilai reduksi variat (Y_T)

Periode Ulang (Tahun)	Reduced Variate
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

Sumber: Arbaningrum (2018)

Tabel 2.5 Nilai rata-rata dari reduksi variat (Y_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	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	0,5533	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	0,56									

Sumber: Arbaningrum (2018)

Tabel 2.6 Deviasi standar dari reduksi variat (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	1,0315	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	1,1923	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	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

Sumber: Arbaningrum (2018)

D. Distribusi Log Pearson Tipe III

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode sebaran Log Pearson Tipe III digunakan persamaan 2.12 sebagai berikut.

$$\text{Log} X_T = \text{Log} \bar{X} + S_d \log_x K_T \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

- Log X_T : nilai curah hujan periode ulang T tahun
- Log \bar{X} : nilai curah hujan rata-rata
- S_d : standar deviasi (simpangan baku)
- K : karakteristik distribusi log pearson tipe III berdasarkan koefisien skewness (Cs) [Tabel 2.7]

Tabel 2.7 Nilai faktor frekuensi (K_T) untuk distribusi Log Pearson III

Koef.Kemencengan (CS)	Periode Ulang (Tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815

0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,330
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,995	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,666	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber: Arbaningrum (2018)

2.3.2.4 Uji Cara Grafis

Uji cara grafis perlu dilakukan untuk memastikan data perhitungan hidrologi diatas apakah sudah sesuai dengan persyaratan hidrologi atau belum. Uji cara grafis digambar pada kertas probabilitas dengan memperhatikan bentuk mendekati garis lurus. Setelah itu data yang sudah ada dibuat garis teoritis.

Dalam menentukan jenis sebaran, persyaratan lainnya adalah untuk memenuhi persyaratan pada kertas probabilitas. Uji cara grafis pada kertas probabilitas bertujuan untuk mencari jarak kemencengan garis teoritis terhadap data. Data kemencengan terbesar disebut juga nilai Δ_{maks} . Uji grafis memenuhi syarat jika nilai Δ_{maks} lebih kecil dari nilai Δ_{kritik} (SNI 2415:2016). Rumus 2.13 dibawah ini merupakan rumus untuk menghitung probabilitas uji cara grafis.

$$P_i(X_m) = \frac{m}{n + 1} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

P (X_m) = data urut dari besar ke kecil atau sebaliknya

- m = nomor urut
- n = jumlah data

2.3.2.5 Pengujian Sebaran

Uji kecocokan sebaran bertujuan untuk menguji apakah data yang diperoleh dari sampel mengikuti sebaran teoritis yang diharapkan. Ada beberapa metode untuk pengujian sebaran, yaitu Uji *Smirnov Kolmogorov* dan Uji Chi Kuadrat

1. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji kecocokan antara distribusi yang diamati dengan distribusi teoritis tertentu. Dibawah ini merupakan tahapan uji smirnov kolmogorov (Kementerian PUPR, 2018):

1. Pengurutan data dari besar ke kecil atau sebaliknya dan menentukan besarnya peluang dari tiap data tersebut.

$$X_1 = P(x_1)$$

$$X_2 = P(x_2)$$

$$X_n = P(x_n)$$

2. Dari hasil kedua nilai peluang tersebut, selisih antar peluang dihitung agar mendapatkan hasil $D_{maksimum}$ (Rumus 2.14).

$$D = \text{maksimum} [P(X_n) - P'(X_n)] \dots \dots \dots (2.14)$$

3. Nilai $D_{maksimum}$ harus lebih kecil dari D_{kritis} ($D_{maks} < D_{kritis}$).

Tabel 2.8 dibawah ini merupakan nilai D_{kritis} berdasarkan jumlah data dan derajat kepercayaannya.

Tabel 2.8 Nilai Kritis Do dari Uji Smirnov-Kolmogorov

N	A			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67

10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.3	0.34	0.4
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	0.2	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.2	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
N>50	$1.07/N^{0.5}$	$1.22/N^{0.5}$	$1.36/N^{0.5}$	$1.63/N^{0.5}$

Sumber: Soewarno (1995)

2. Uji Chi Kuadrat

Uji Chi Kuadrat atau Chi Square adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji apakah data yang diamati mengikuti distribusi yang telah ditentukan.

Analisis diterima apabila nilai chi-kuadrat terhitung lebih kecil dari chi-kuadrat kritis (chi-kuadrat terhitung < chikuadrat kritis). Chi-kuadrat kritis dapat ditemukan pada Tabel 2.9. Rumus-rumus uji chi-kuadrat menggunakan Rumus 2.15 sampai Rumus 2.18.

$$G = 1 + 3,322 \text{ Log } n \dots \dots \dots (2.15)$$

$$DK = G - (p + 1) \dots \dots \dots (2.16)$$

$$E_i = \frac{n}{G} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

X_h^2 = Parameter chi kuadrat terhitung

G = Jumlah sub kelompok

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub-kelompok i

- O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub-kelompok i
- DK = Derajat kebebasan
- P = Untuk distribusi normal dan binomial = 2
Untuk distribusi gumbel dan poisson = 1

Tabel 2.9 Nilai Kritis Untuk Uji Chi Kuadrat

Dk	Derajat Kepercayaan (α)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,248	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,54	0,831	1,145	11,010	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548

Sumber: Bambang Triatmojo (2008)

2.3.3 Intensitas Hujan Periode Ulang

Intensitas hujan adalah ukuran tentang jumlah curah hujan yang jatuh dalam suatu periode tertentu dan biasanya diukur dalam satuan mm/jam. Perhitungan intensitas hujan dapat dihitung dengan berbagai metode, salah satunya adalah metode monobebe dengan Rumus 2.19 sebagai berikut:

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24}\right) \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana:

- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
- R_{24} = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
- t = lamanya curah hujan (jam)

Sedangkan untuk rasio distribusi hujan menggunakan rumus sebagai berikut:

Dimana:

- R_t = rasio distribusi hujan (%)
- I_t = intensitas curah hujan jam ke-t (mm/jam)
- t = lamanya curah hujan (jam)

Setelah mendapatkan curah hujan maksimum dalam 24 jam, dihitung curah hujan efektif dengan dikalikan oleh koefisien aliran permukaan. Curah hujan efektif akan dikalikan dengan rasio distribusi hujan.

$$R_t = t \cdot I_t - (t - 1)(I_{t-1}) \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana:

- R_t = rasio distribusi hujan (%)
- I_t = intensitas curah hujan jam ke-t (mm/jam)
- t = lamanya curah hujan (jam)

Setelah mendapatkan curah hujan maksimum dalam 24 jam, dihitung curah hujan efektif dengan dikalikan oleh koefisien aliran permukaan. Curah hujan efektif akan dikalikan dengan rasio distribusi hujan.

2.3.4 Debit Banjir Rencana Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) Nakayasu

HSS merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kecocokan atau kinerja dari suatu model atau prediksi dengan perbandingan hasil observasi. Di Indonesia, terdapat beberapa metode yang umum digunakan dalam perhitungan HSS banjir, antara lain metode HSS Nakayasu, HSS Snyder, dan HSS SCS. (SNI 2415:2016). Pada penelitian ini akan digunakan HSS (Hidrograf Satuan Sintesis) Nakayasu.

Perhitungan metode HSS Nakayasu menggunakan Rumus 2.21 dan 2.22 (SNI 2415:2016).

$$Q_p = \frac{c \cdot A \cdot R_0}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})} \dots \dots \dots (2.21)$$

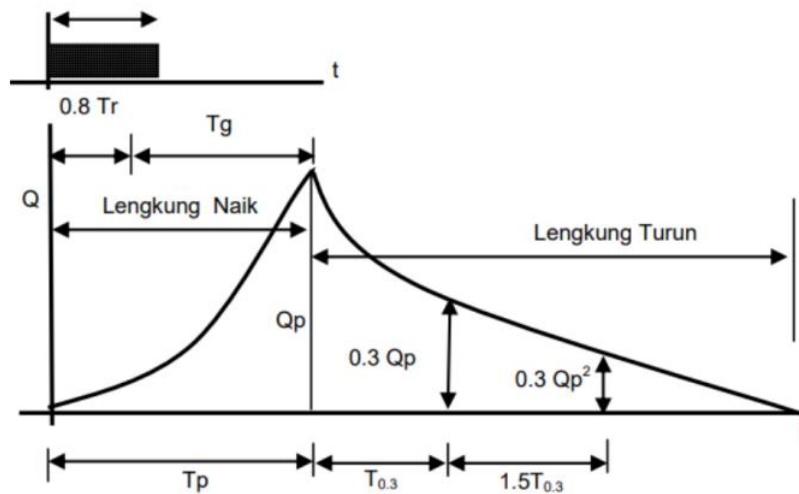
$$Q_{base\ flow} = 0,5 Q_p \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan:

- Q_p = Debit puncak banjir (m³/det)
- $Q_{base\ flow}$ = Aliran dasar (m³/det)
- c = Koefisien pengaliran
- A = Luas DAS (km²)
- L = Panjang sungai utama (km)
- R_0 = Curah hujan (mm), biasa dipakai 1 mm

- T_g = Waktu konsentrasi (jam)
 $= 0,4 + 0,058L$ [$L \geq 15$ km]
 $= 0,21L^{0,7}$ [$L < 15$ km]
- T_r = Satuan waktu dari curah hujan (jam); [$0,5T_g$ sampai $1T_g$]
- T_p = Waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (jam)
 $= T_g + 0,8 T_r$
- $T_{0,3}$ = Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)
 $= \alpha T_g$
- α = Koefisien karakteristik DAS [1,5 – 3,5]

Dalam memperhitungkan debit tiap jam pada hidrograf, posisi waktu perlu diperhatikan pada saat jam terjadinya banjir. Menurut SNI 2415:2016, perhitungan metode HSS Nakayasu berdasarkan grafik hidrograf antara waktu dan debit puncak (Gambar 2.10) dapat dilihat pada Rumus 2.23 sampai Rumus 2.26.



Gambar 2.10 Grafik hidrograf Nakayasu (SNI 2415:2016)

1. Pada kurva naik ($0 < t < T_p = 3,33$)

$$UH = Qp \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,3} \text{ (m}^3\text{/det/mm)} \dots\dots\dots(2.23)$$
2. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$UH = Qp \times 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \text{ (m}^3\text{/det/mm)} \dots\dots\dots(2.24)$$

3. Pada kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$UH = Qp \times 0,3 \frac{(t-T_p)+(1,5 \times T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}} \text{ (m}^3\text{/det/mm)} \dots \dots \dots (2.25)$$

4. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$UH = Qp \times 0,3 \frac{(t-T_p)+(1,5 \times T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}} \text{ (m}^3\text{/det/mm)} \dots \dots \dots (2.26)$$

2.4 Analisis Hidrolika

Hidrolika merupakan ilmu yang berkaitan dengan aliran air dan material yang diangkutnya, ataupun kekuatan yang ditimbulkannya. Analisis hidrolika memiliki dua macam aliran, yaitu aliran terbuka seperti sungai dan aliran tertutup seperti saluran drainase. (SNI 1724:2015)

Koefisien manning memiliki dua koefisien yang berbeda, yaitu untuk dasar saluran dan jenis tutupan lahan. Keduanya membutuhkan koefisien manning karena laju dari sebuah aliran dipengaruhi oleh kekasaran pada permukaan yang dilaluinya. Koefisien manning dapat dilihat pada Tabel 2.10 untuk dasar saluran dan Tabel 2.11 untuk jenis tutupan lahan.

Tabel 2 10 Koefisien Kekasaran Manning untuk Dasar Saluran

Jenis Saluran	Keterangan	n manning
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai dan bersih	0,016 – 0,033
	Berkelok, landai dan berumput	0,023 – 0,040
	Tidak terawat dan kotor	0,050 – 0,140
	Tanah berbatu, kasar dan tidak teratur	0,035 – 0,045
Pasangan	Batu kosong	0,023 – 0,035
	Pasangan batu belah	0,017 – 0,030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0,014 – 0,018
Beton	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0,018 – 0,030

Sumber: SNI 8066:2015

Tabel 2 11 Koefisien Kekerasan Manning untuk Tutupan Lahan

Jenis Tutupan Lahan		Koefisien Manning
Daerah Buatan	Daerah perkotaan dan industri	0,013
	Daerah pertambangan	0,013
	Ruang terbuka hijau buatan	0,025
Daerah Agrikultur	Daerah pertanian subur	0,03
	Daerah pertanian permanen	0,08
	Padang rumput	0,035
	Daerah pertanian dengan vegetasi alami	0,05
Daerah hutan dan semi alami	Daerah agroforestri	0,06
	Daerah hutan	0,1
	Daerah semak belukar	0,06
	Daerah terbuka tanpa atau dengan sedikit vegetasi	0,03
Daerah lahan basah	Lahan basah (<i>inland</i> dan pesisir)	0,04
Badan air	Badan air tawar	0,05
	Badan air laut	0,07

Sumber: SNI 8066:2015

2.4.1 EPA SWMM 5.2

Storm Water Model Management (SWMM) adalah sebuah perangkat lunak yang memiliki kemampuan untuk menganalisis permasalahan kualitas dan kuantitas air terkait dengan limpasan di daerah perkotaan. SWMM awalnya dikembangkan dan digunakan di Amerika Serikat oleh *Environmental Protection Agency (EPA)*. Perangkat lunak ini telah banyak dikembangkan untuk melakukan simulasi terkait proses hidrologi di lingkungan perkotaan. SWMM termasuk dalam kategori model hujan aliran dinamis yang digunakan untuk melakukan simulasi dengan rentang waktu yang panjang atau kejadian banjir yang terjadi secara tiba-tiba.

Untuk melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak EPA SWMM terdapat beberapa langkah yaitu memodelkan jaringan drainase. Sistem drainase eksisting dimodelkan dalam perangkat lunak EPA SWMM sebagai beberapa subcatchment area. Data lapangan hasil survey lapangan seperti data saluran, dimensi fisik dan ukuran dimasukkan dalam pemodelan SWMM. Berikut adalah beberapa objek yang terdapat dalam pemodelan EPA SWMM 5.2:

1. *Rain Gage*

Menurut Rossman (2010), *Rain Gage* adalah pemodelan untuk mengukur jumlah curah hujan yang jatuh di suatu wilayah atau lokasi tertentu. *Rain gage* biasanya terdiri dari sebuah wadah atau tabung transparan yang menampung air hujan dan memiliki skala pengukuran yang tertera di sekelilingnya. Ketika hujan jatuh, air akan mengumpul dalam wadah dan pengukuran dilakukan dengan melihat tinggi air yang terakumulasi dalam wadah tersebut. Beberapa objek pada *Rain Gage* adalah sebagai berikut:

2. *Subcatchment*

Menurut Rossman (2010), *subcatchment* atau disebut juga sub daerah pengaliran adalah bagian-bagian kecil dari daerah aliran yang terletak di dalam sistem jaringan drainase. *Subcatchment* dalam SWMM berfungsi untuk membagi daerah aliran menjadi unit-unit yang lebih kecil untuk analisis hidrologi yang lebih terperinci.

3. *Junction*

Menurut Rossman (2010), *junction* pada perangkat lunak EPA SWMM merujuk pada objek atau elemen dalam jaringan drainase yang mewakili persimpangan atau pertemuan antara saluran drainase atau saluran pipa. *Junction* digunakan untuk menggambarkan titik di mana aliran air dari berbagai saluran atau pipa bergabung atau bercabang. Dibawah ini beberapa parameter pada *junction*:

4. *Outfall*

















Menurut Rossman (2010), *outfall* merupakan titik di mana aliran air dalam jaringan drainase mencapai akhir perjalanannya dan ditransfer ke badan air penerima. Objek *outfall* dalam SWMM digunakan untuk menggambarkan titik ini dan memodelkan aliran air keluar dari sistem drainase ke dalam badan air penerima.


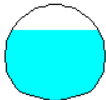


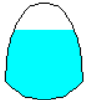


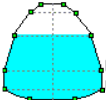
5. *Conduit*

Menurut Rossman (2010), *conduit* adalah elemen penghubung untuk titik (*node*) satu ke titik lainnya. *Conduit* pada SWMM mewakili saluran pipa atau saluran drainase yang tertutup. *Conduit*

digunakan untuk menggambarkan aliran air di dalam saluran pipa atau saluran drainase yang terletak di bawah permukaan tanah.

Tabel 2.12 Bentuk Penampang Melintang Saluran pada SWMM (Sumber: Rossman, 2010)

<i>Name</i>	<i>Parameters</i>	<i>Shape</i>	<i>Name</i>	<i>Parameters</i>	<i>Shape</i>
<i>Circular</i>	<i>Full Height</i>		<i>Circular Force Main</i>	<i>Full Height, Roughness</i>	
<i>Filled Circular</i>	<i>Full Height, Filled Depth</i>		<i>Rectangular Closed</i>	<i>Full Height, Width</i>	
<i>Rectangular Open</i>	<i>Full Height, Width</i>		<i>Trapezoidal</i>	<i>Full Height, Base Width, Side Slopes</i>	
<i>Triangular</i>	<i>Full Height, Top Width</i>		<i>Horizontal Ellipse</i>	<i>Full Height, Max. Width</i>	
<i>Vertical Ellipse</i>	<i>Full Height, Max Width</i>		<i>Arch</i>	<i>Full Height, Max. Width</i>	
<i>Parabolic</i>	<i>Full Height, Top Width</i>		<i>Power</i>	<i>Full Height, Top Width, Exponent</i>	
<i>Rectangular - Triangular</i>	<i>Full Height, Top Width, Triangle Height</i>		<i>Rectangular -Round</i>	<i>Full Height, Top Width, Exponent</i>	
<i>Modified Baskethandle</i>	<i>Full Height, Bottom Width, Top Radius</i>		<i>Egg</i>	<i>Full Height</i>	

<i>Name</i>	<i>Parameters</i>	<i>Shape</i>	<i>Name</i>	<i>Parameters</i>	<i>Shape</i>
<i>Horseshoe</i>	<i>Full Height</i>		<i>Gothic</i>	<i>Full Height</i>	
<i>Catenary</i>	<i>Full Height</i>		<i>Semi-Elliptical</i>	<i>Full Height</i>	
<i>Baskethandle</i>	<i>Full Height</i>		<i>Semi - Circular</i>	<i>Full Height</i>	
<i>Irregular Natural Channel</i>	<i>Transect Coordinates</i>		<i>Custom Closed Shape</i>	<i>Full Height, Shape Curve Coordinates</i>	

6. *Storage Unit*

Menurut Rossman (2010), *storage unit* merupakan objek atau elemen dalam jaringan drainase yang berfungsi untuk menyimpan dan menampung air dalam jangka waktu tertentu. *Storage unit* biasanya berupa kolam, bak, tangki, atau struktur lainnya yang dapat menampung air hujan yang terkumpul dalam sistem drainase.

7. *Pumps*

Pumps digunakan untuk memompa aliran air dan berfungsi untuk mengatasi perbedaan elevasi atau tekanan yang terjadi dalam jaringan drainase

2.4.2 HEC-RAS 6.3.1

HEC-RAS (*Hydrology Engineering Center - River Analysis System*) merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh *US Army Corps*

of Engineers untuk analisis hidrolik dan hidrologi sungai. HEC-RAS digunakan secara luas dalam perencanaan, perancangan, dan manajemen sungai, termasuk pemodelan aliran sungai, pemodelan banjir, dan evaluasi dampak perubahan dalam sistem sungai. (Hicks, F. E., & Peacock, T, 2005)

HEC-RAS memiliki beberapa aspek rekayasa hidrologi, yaitu analisis curah hujan-limpasan, hidrolika sungai, simulasi sistem reservoir, analisis kerusakan akibat banjir, serta memprediksi waktu untuk pengoperasian waduk. (Brunner, Warner, Wolfe, Piper, & Marston, 2016)

Pada awalnya, software ini hanya memiliki kemampuan untuk menganalisis aliran stabil dan tidak stabil dalam satu dimensi (1D). Namun, saat ini ada pengembangan fitur baru di dalam sistem untuk melakukan analisis aliran sungai dua dimensi (2D). Untuk mendukung fungsi saluran, penampang aliran sungai dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan nilai n atau koefisien kekasaran *Manning*. Terdapat rumus yang digunakan untuk menghitung persamaan Manning (Istiarti, 2014).

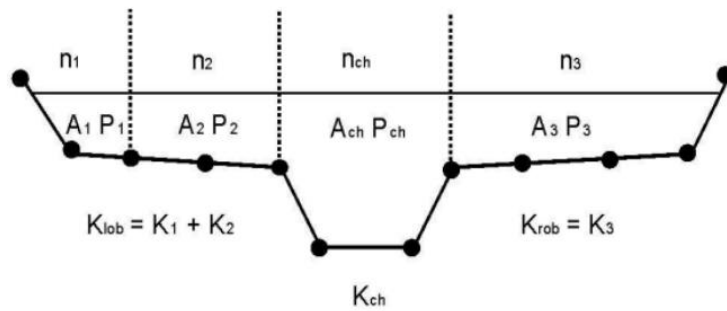
$$Q = KS^{1/2} \dots \dots \dots (2.21)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan:

- Q : Debit banjir pada saluran air (m³/detik)
- K : Nilai pengantar untuk aliran pada unit
- A : Luas permukaan penampang saluran
- R : Jari-jari dari hidrolika

Dalam perhitungan rumus (2.22), nilai dari K dapat ditentukan dengan menggunakan kekasaran *Manning* yang didapatkan dari bagian penampang saluran, seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.11 Contoh penampang saluran air (Istiarti, 2014)

Geometri yang ada pada model satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D) terbuat dengan cara yang berbeda. Geometri pada 1D pada dasarnya digambarkan oleh konektivitas antara data penampang melintang sungai dengan struktur hidrolis. Pembagian antara saluran utama dan dataran banjir dibuat dengan menggunakan koefisien kekasaran yang berbeda untuk penampang melintang.

Dalam model 2D, saluran utama memiliki geometri 1D, sedangkan pada dataran banjir memiliki geometri sebagai jalur komputasi yang dibuat dengan menghubungkan sel-sel yang tidak lebih dari 8 permukaan. Mesh terhubung dengan aliran 1D dan boundary condition terhubung dengan titik-titik pada saluran struktur 1D. Aliran diantara permukaan dihitung selama proses komputasi dan kedalaman air untuk setiap titik dihitung. (Yazdan, Ahad, Kumar, & Mehedi, 2022)

2.5 Penentuan Kala Ulang

Untuk menentukan kala ulang berdasarkan tipologi kota dapat dilihat pada Tabel berikut

Tabel 2.13 Kala ulang berdasarkan tipologi kota

Tipologi kota	Daerah tangkapan air (Ha)			
	<10	10 - 100	100 - 500	>500
Metropolitan	2 Th	2-5 Th	5-10 Th	10-25 Th
Kota besar	2 Th	2-5 Th	2-5 Th	5-20 Th
Kota sedang	2 Th	2-5 Th	2-5 Th	4-10 Th

Kota kecil	2 Th	2 Th	2 Th	2 Th
------------	------	------	------	------

Sumber: Kementerian PUPR, 2020

2.6 Penelitian Terdahulu

Guna mendukung permasalahan penelitian yang dikaji, peneliti memiliki upaya untuk mengumpulkan dan mengidentifikasi berbagai studi ilmiah beserta penelitian sebelumnya (*prior research*) yang relevan dengan permasalahan yang menjadi fokus penelitian saat ini. Peneliti menemukan beberapa penelitian yang sesuai untuk mendukung penyusunan penelitian ini. Diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan Kolam Retensi Pada Perumahan Mutiara Witayu Kecamatan Rumbai, Kota Pekanbaru (Awan, et al. 2019). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan kolam retensi yang memiliki dimensi *max depth* 1 m dan *ponded area* seluas 23.000 m² dapat mampu menampung air limpasan maksimum yang berpotensi terjadi.
2. Evaluasi Kinerja Kolam Retensi untuk Penanggulangan Banjir di Perkotaan (Irianto, 2017). Penelitian ini menunjukkan bahwa kolam retensi dapat mengurangi puncak debit aliran permukaan dan memperlambat aliran hujan. Pengelolaan dan perawatan yang baik diperlukan untuk mempertahankan kinerja kolam retensi.
3. Evaluasi Kolam Retensi Sebagai Sumur Resapan dalam Pengendalian Banjir di Kawasan Perkotaan (Rahayu, 2016)
 Penelitian ini menyimpulkan bahwa kolam retensi yang dirancang dengan baik dapat berfungsi sebagai sumur resapan yang efektif dalam mengurangi limpasan permukaan dan memperlambat aliran hujan. Penggunaan kolam retensi sebagai sumur resapan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan air hujan.
4. Analisis Pengendalian Banjir Dengan Menggunakan Kolam Retensi dan Pompa Banjir di Jalan Tol Pondok Aren – Serpong KM 8+600 (Rafi, 2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa permasalahan banjir yang terjadi pada Jalan Tol Pondok Aren-Serpong KM. 8+600 disebabkan oleh meluapnya Sungai Cibenda akibat ketidakmampuan sungai untuk

menampung debit air yang turun ketika hujan. Kolam retensi yang direncanakan dengan kapasitas 109.764 m^3 , luas sebesar 36.588 m^2 dan kedalaman kolam sedalam 3 m efektif untuk menurunkan debit banjir.

5. *Assessment of Detention Ponds as Flood Mitigation Measures* (Lee et al., 2017). Penelitian ini menunjukkan bahwa kolam retensi dapat secara signifikan mengurangi aliran limpasan permukaan dan memperpanjang waktu konsentrasi aliran hujan. Penggunaan kolam retensi sebagai bagian dari strategi pengendalian banjir dapat memberikan manfaat yang signifikan

