

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Banjir

Bencana alam kerap melanda Indonesia. Sebagaimana dicatat oleh (Kosasih et al., 2021) Indonesia telah mengalami berbagai bencana alam seperti banjir, gempa bumi, dan tsunami. Banjir khususnya sering terjadi, terutama di wilayah yang dekat dengan permukaan laut (Halim et al., 2019). Jakarta merupakan salah satu kota di Indonesia yang paling berisiko banjir (Harsoyo, 2013).

Banjir dapat dibagi menjadi dua jenis utama: banjir alami dan banjir yang disebabkan oleh manusia. Banjir alami dipengaruhi oleh curah hujan, kondisi lahan, jumlah air yang dapat ditampung sungai, seberapa baik sistem drainase berfungsi, efek pasang surut, serta erosi dan penumpukan sedimen (Sebastian, 2008). Sedangkan, menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah (2023), menunjukkan bahwa banjir dapat disebabkan oleh curah hujan yang tinggi, penumpukan sampah di sungai, perubahan tata guna lahan yang mengurangi kemampuan lahan untuk menyerap air, dan upaya pencegahan banjir yang buruk. Banjir dapat dikategorikan menjadi tiga jenis berbeda berdasarkan penyebabnya:

1. Banjir Lokal (*Pluvial Floods*)

Banjir lokal atau *pluvial* biasanya terjadi pada daerah perkotaan yang diakibatkan kapasitas drainase tidak memadai sehingga limpasan air hujan meluap dan menggenangi daratan. Kejadian ini terjadi akibat penurunan infiltrasi yang menyebabkan hilangnya daya serap air pada permukaan tanah akibat peningkatan fungsi lahan.

2. Banjir Sungai (*Fluvial Floods*)

Banjir *fluvial* terjadi ketika air sungai meluap dan menggenangi lahan di sekitarnya. Kejadian ini diakibatkan oleh peningkatan volume air pada sungai yang melebihi kapasitas alirannya, sehingga terjadinya air meluap dan menggenangi wilayah dataran rendah. Faktor terjadinya banjir *fluvial* ini karena curah hujan yang tinggi, pendangkalan sungai,

dan kerusakan pada DAS yang disebabkan oleh hilangnya vegetasi di hulu sungai yang mengakibatkan erosi tanah dan mempercepat laju aliran air ke sungai.

### 3. Banjir Pesisir (*Coastal Floods*)

Pasang tinggi atau badai yang menghasilkan gelombang besar merupakan penyebab banjir pesisir. Jenis banjir ini biasanya terjadi pada wilayah yang terletak di pesisir pantai. Untuk penanggulangan banjir jenis ini bisa dengan pembangunan tanggul atau dinding laut, penambahan mangrove untuk menahan alami gelombang, dan perbaikan sistem drainase di kawasan pesisir guna mengalirkan aliran air yang lancar ke laut.

## 2.2. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS), juga dikenal sebagai daerah aliran sungai (DAS), adalah jaringan alami sungai dan cabang-cabangnya yang menghimpun, menahan, dan menyalurkan curah hujan ke danau atau laut (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012). Selain memfasilitasi pengelolaan air, DAS berfungsi sebagai ekosistem yang mencakup sumber daya alam dan buatan manusia. Unsur-unsur alami tersebut terdiri dari tanah, tumbuhan, dan air, yang dikelola dan dimanfaatkan oleh manusia.

DAS diklasifikasikan menjadi tiga bagian: hulu, tengah, dan hilir. Hulu dikenal sebagai kawasan konservasi dengan kemiringan lebih dari 15%, di mana banjir tidak terjadi, dan aliran air dipengaruhi oleh jenis drainase dan vegetasi, terutama hutan. Sebaliknya, wilayah hilir adalah tempat manusia secara aktif memanfaatkan lahan, dengan kemiringan yang lebih landai, kurang dari 8%, dan drainase air yang lebih sedikit. Zona tengah berperan sebagai titik transisi antara wilayah hulu dan hilir. Wilayah-wilayah ini terhubung melalui siklus air. Zona hulu sangat penting karena melindungi seluruh Daerah Aliran Sungai (DAS) dan mengawasi sumber daya air. Peristiwa yang terjadi di hulu akan memengaruhi kualitas dan kuantitas aliran air di hilir.

Salah satu keuntungan utama DAS adalah perannya dalam menyediakan air bersih, terutama bagi masyarakat yang tinggal di hilir. Konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian tentu akan memengaruhi kualitas dan kuantitas air yang dapat diakses oleh penduduk di daerah hilir.

Pada DAS tentunya memiliki karakteristik seperti gambaran terperinci yang dimiliki oleh DAS itu sendiri seperti keadaan topografi, keadaan morfometri, tanah, geologi, vegetasi, dan penggunaan lahan. Berdasarkan (SNI 2415: 2016) DAS memiliki karakteristik seperti kondisi topografi, geologi, dan tutupan lahan guna kebutuhan memperkirakan besarnya debit banjir. Berikut karakteristik DAS:

#### **A. Topografi**

Topografi yaitu bentuk dan unsur permukaan tanah yang memperlihatkan perbedaan elevasi suatu permukaan bumi. Topografi dapat berupa kemiringan lereng, bentuk wilayah, dan bentuk lereng. Pada topografi dapat menjadi petunjuk batasan-batasan DAS berupa bukit atau pegunungan. Untuk melihat data topografi dapat menggunakan *Digital Elevation Model* (DEM). DEM adalah model digital tiga dimensi yang menampilkan permukaan bumi beserta fitur reliefnya. Model Elevasi Digital (DEM) berkualitas tinggi dapat menciptakan skenario yang mencerminkan kondisi aktual dan mereplikasi banjir berdasarkan lingkungan saat ini. Oleh karena itu, Model Elevasi Digital (DEM) berfungsi sebagai alat yang berharga untuk membuat peta topografi yang menggambarkan fitur DAS, karena memungkinkan pemeriksaan faktor-faktor hidrologi, termasuk pola aliran air, lokasi pengumpulan air, dan daerah drainase.

#### **B. Tutupan Lahan dan Koefisien pengaliran**

##### **1. Tutupan Lahan**

Tutupan lahan mengacu pada penggunaan lahan yang mempengaruhi siklus hidrologi, seperti aliran air permukaan, infiltrasi, dan kualitas air. Tutupan lahan ini mencakup berbagai jenis kegiatan yang dilakukan diatas lahan seperti pertanian, permukiman, kehutanan, industri, serta infrastruktur. Pada tutupan

lahan ini dapat dipengaruhi oleh faktor alami dan faktor manusia. Perubahan yang terjadi pada tutupan lahan akan mengakibatkan kehilangan daya serap air yang tentunya mempengaruhi karakteristik pada DAS seperti debit sungai yang meningkat pada musim hujan.

## 2. Koefisien Pengaliran

Aliran permukaan merupakan proses air mengalir diatas permukaan tanah menuju badan air seperti sungai, danau, dan lautan setelah terjadinya hujan atau sumber air lainnya. Aliran permukaan diakibatkan oleh topografi, tutupan lahan, yang memiliki koefisien aliran (C).

Koefisien limpasan adalah angka yang menunjukkan seberapa banyak air yang mengalir dari permukaan tanah dibandingkan dengan hujan yang turun. Menurut (Kementerian PUPR, 2014), angka ini penting untuk menentukan laju aliran di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Koefisien ini dipengaruhi oleh berbagai hal seperti jenis tanaman yang tumbuh, jenis tanah, dan detail DAS, termasuk panjang, kemiringan, dan bentuknya. Daerah aliran sungai yang baik akan memiliki koefisien limpasan (C) yang mendekati nol, sementara daerah aliran sungai yang buruk akan memiliki nilai C yang mendekati 1.

Menurut (Kementerian PUPR, 2014), mencatat bahwa berbagai lahan di dalam DAS menghasilkan koefisien (C) berbeda. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menentukan koefisien aliran:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot A_i}{A_i} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- C : Koefisien aliran permukaan
- n : Jumlah jenis tutupan lahan
- $C_i$  : Koefisien aliran limpasan berdasarkan tutupan lahan

$A_i$  : Luas daerah tutupan lahan

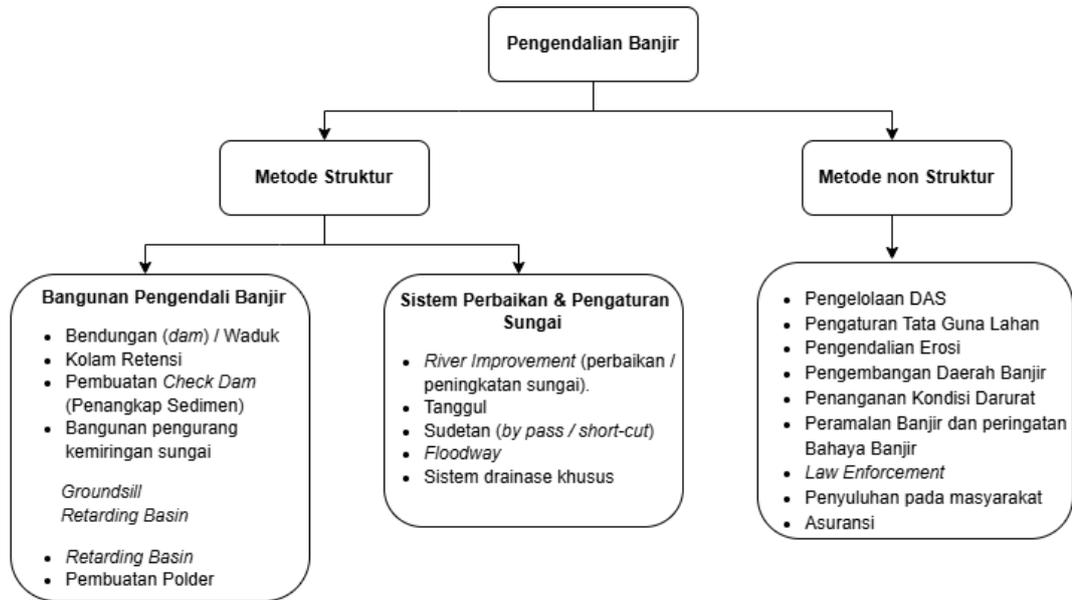
Untuk berbagai jenis koefisien limpasan ( $C_i$ ) dapat dilihat pada Lampiran 3.1.

### 2.3. Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir yaitu runtutan tindakan untuk meminimalisir risiko dari banjir seperti korban jiwa, hilangnya harta benda, kerugian ekonomi, dan kegiatan warga yang terhambat. Pada dasarnya, pengendalian banjir dilakukan dengan pengurangan debit yang harus dialirkan serta meningkatkan daya tampung sungai penyalurnya.

Pengelolaan banjir pada dasarnya rumit. Fitur teknisnya mencakup beberapa bidang seperti ilmu air, mekanika fluida, erosi daerah aliran sungai, desain sungai, bentuk sungai dan aliran sedimen, perencanaan sistem pengelolaan banjir, sistem drainase kota, dan struktur tambahan yang berkaitan dengan air. Menurut (Kementerian PUPR, 2017), menyatakan bahwa berbagai pendekatan pencegahan banjir dapat diterapkan melalui struktur fisik dan langkah-langkah non-fisik.

- a. Upaya Struktural, mengacu pada tahapan untuk meminimalisir bencana dengan pembuatan bangunan yang tahan akan terjadinya bencana, kedap akan air, dan lain-lain. Contohnya dengan pembuatan tanggul disepanjang aliran sungai yang rawan terjadi banjir, membersihkan ekosistem sungai, dan pembuatan bendungan dan waduk untuk menghalangi banjir.
- b. Upaya non Struktural, berupa upaya mitigasi terhadap banjir dengan melakukan peningkatan kapasitas atau pemberdayaan terhadap masyarakat seperti edukasi dan aksi. Contohnya dengan mengevaluasi pemetaan kawasan yang kerap terjadi banjir, analisis data terjadinya banjir, kerja sama untuk menata lingkungan, mengadakan simulasi evakuasi, dan sebagainya.



Gambar 2. 1 Upaya Pengendalian Banjir  
Sumber: Kementerian PUPR 2017

Menurut (Kementerian PUPR, 2017) mencantumkan sejumlah strategi pengendalian banjir, seperti:

a. Bendungan

Bendungan untuk menahan dan menampung aliran air, limbah tambang, dan lumpur, bendungan adalah struktur yang terdiri dari tanah, batu, dan beton yang menciptakan waduk.

b. Waduk

Waduk adalah struktur yang dirancang untuk menampung air dalam jumlah besar saat hujan. Air yang tersimpan memiliki berbagai fungsi, termasuk mengairi tanaman padi dan menyediakan air di musim kemarau. Selain itu, waduk seringkali dibangun untuk berbagai fungsi, yang disebut bendungan serbaguna, yang meliputi irigasi, penyediaan air baku (untuk minum), pembangkit listrik tenaga air, dan berbagai keperluan lainnya.

c. Pembuatan *Check Dam* (Penangkap Sedimen)

Penangkap sedimen adalah konstruksi kecil yang dibangun melintasi sungai untuk menurunkan kemiringan dasar sungai, yang pada gilirannya memperlambat aliran air dan mengurangi erosi. Bendungan pemeriksa dapat dibuat menggunakan tumpukan batu besar, kantong penuh campuran kerikil, pasir, dan kayu gelondongan.



Gambar 2. 2 *Check Dam*  
Sumber: Kementerian PUPR (2017)

#### 2.4. Kolam Retensi

Kolam retensi adalah area yang dibuat untuk menampung air hujan selama jangka waktu tertentu. Fungsinya adalah menampung air saat sungai mencapai titik tertinggi dan secara perlahan mengalirkannya kembali ke sungai saat muka air kembali normal. Kolam ini berperan dalam mengendalikan kekuatan gelombang banjir, mencegah luapan air yang dapat merusak tanggul dan menyebabkan banjir sungai. Fungsi kolam retensi yaitu untuk menyimpan dan menampung air dari saluran pembuangan sebelum dialirkan ke sungai sehingga puncak banjir dapat dibatasi. Terdapat beberapa jenis kolam retensi yang dapat diterapkan yaitu:

##### a. Kolam retensi di samping badan sungai

Jenis kolam ini perlu dibangun di area yang luas agar kapasitas kolam dapat dioptimalkan, tidak mengganggu aktivitas aliran yang ada di sekitar kolam, dan tahap pembuatan serta pemeliharaan lebih mudah di akses. Kolam retensi ini mempunyai beberapa bagian yaitu tanggul, pintu inlet, pintu outlet, bangunan pelimpah samping, akses menuju kolam retensi, dan kolam penangkap sedimen.



Gambar 2. 3 Kolam retensi di samping badan sungai  
Sumber: Kementerian PUPR (2017)

Dalam perencanaan pembuatan kolam retensi jenis ini memiliki kriteria seperti berikut:

- Tanggul yang memisahkan sungai dari kolam harus dibangun cukup kuat untuk menahan tekanan tinggi saat muka air mencapai puncaknya.
- Sebuah bendung ditempatkan di sungai antara pintu masuk dan pintu keluar. Bendung ini membantu mengalirkan air dari banjir di hulu ke pintu masuk, dan dari banjir pasang surut di hilir ke pintu keluar.
- Apabila terjadi banjir dari hulu maka pintu inlet dibuka sedangkan pintu outlet ditutup. Jika kapasitas kolam retensi sudah melebihi kapasitas, maka pintu inlet ditutup. Ketika debit di sungai sudah kembali normal, pintu outlet akan dibuka secara bertahap untuk mengalirkan air dari kolam setensi menuju sungai.
- Pada kolam retensi dapat dilengkapi dengan pelimpah samping yang berfungsi untuk menjaga keamanan konstruksi apabila debit banjir datang serta menjadi saringan untuk sampah.

#### **b. Kolam retensi di dalam badan sungai**

Jenis kolam ini digunakan apabila terkendala dengan kondisi lahan yang sulit didapat, sehingga menggunakan badan sungai itu sendiri. Kekurangan dari jenis kolam ini yaitu kapasitas tampung kolam yang

terbatas, harus menunggu aliran dari hulu, pelaksanaan pembangunan serta pemeliharaan yang tidak mudah.



Gambar 2. 4 Kolam retensi di dalam badan sungai  
Sumber: Kementerian PUPR (2017)

Pembuatan kolam retensi memerlukan pengumpulan informasi curah hujan dan studi aliran air untuk memperkirakan besarnya banjir yang diperkirakan. Hal ini tentu saja memengaruhi debit air sungai tertinggi dan stabilitas struktur yang direncanakan.

## 2.5. Tata Guna Lahan

Sebagai negara berkembang, Indonesia mengalami pertumbuhan penduduk yang signifikan disertai dengan tingkat kepadatan penduduk yang relatif tinggi. Perubahan tata guna lahan tentu saja dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi. Transformasi tata guna lahan dari ruang terbuka hijau seperti sawah, hutan, dan sungai menjadi permukiman, perkantoran, dan peruntukan lainnya inilah yang dimaksud dengan istilah "perubahan tata guna lahan". Dengan adanya penggunaan lahan yang berlebihan, DKI Jakarta tentunya rawan terjadi banjir.

Perkembangan lahan yang pesat di perkotaan sangat memengaruhi tingkat limpasan dan meningkatkan kemungkinan banjir. Hal ini didukung dengan oleh penelitian (Yelza et al., 2012) yang berjudul "Pengaruh Perubahan Tata guna Lahan Terhadap Debit Limpasan Drainase di Kota Bukit Tinggi" yang mengungkapkan bahwa perubahan tata guna lahan secara signifikan memengaruhi limpasan permukaan dan bahwa

peningkatan koefisien limpasan berkorelasi dengan peningkatan debit limpasan. Implikasinya antara lain genangan air yang lebih parah selama musim hujan dan area yang lebih luas terdampak banjir.

Penggunaan lahan di sekitar DAS Ciliwung terjadi sejak tahun 1970 sampai tahun 2000. Luas Daerah Aliran Sungai Ciliwung berkurang secara signifikan dari 66,35% menjadi 38,95%. Sementara itu, area terbangun mengalami pertumbuhan dari 33,65% menjadi 61,05%. Dari tahun 1980 hingga 1990, proyek pembangunan di Depok dan Jakarta Selatan terus meningkat. Transformasi ruang terbuka hijau menjadi kawasan permukiman pada tahun 2023 menyebabkan berkurangnya kawasan terbuka hijau (Adikesuma, 2023).

## **2.6. Pengaturan Guna Lahan di DAS (Daerah Aliran Sungai)**

Aturan tata guna lahan di Kawasan aliran sungai bertujuan untuk mengelola pengembangan lahan dan memastikan telah sesuai dengan tata ruang yang direncanakan. Tujuannya adalah untuk mencegah penggunaan lahan yang tidak terkontrol, yang dapat menyebabkan kerusakan pada daerah aliran sungai yang berfungsi sebagai daerah penampung hujan. Pada dasarnya, pengaturan penggunaan lahan di DAS memiliki tujuan untuk:

1. Meningkatkan kondisi pengelolaan DAS untuk menghindari banjir selama musim hujan dan mengurangi kekeringan pada musim kemarau.
2. Mengurangi tingkat erosi yang tinggi di DAS, yang menyebabkan penurunan tingkat sedimen di sungai-sungai di hilir.

Penempatan tata ruang setiap wilayah, termasuk proporsi penggunaan lahan dan metode pengelolaannya perlu mendapatkan penanganan yang tepat. Area atas dari daerah aliran sungai, yang berfungsi sebagai zona penyangga yang berkontribusi pada pengisian pasokan kembali air tanah. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan dimensi zona penyangga ini di setiap wilayah, seperti memastikan bahwa wilayah hutan mencakup setidaknya 30% dari total luas DAS.

## 2.7. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi mempelajari terkait pergerakan air, distribusi, dan kualitasnya bumi. Ini mencakup berbagai aspek seperti siklus hidrologi, presipitasi, evaporasi, transpirasi, limpasan permukaan, dan aliran air tanah. Pada teknik sipil dan lingkungan, analisis hidrologi mempunyai peran krusial dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, desain infrastruktur air, pengendalian banjir, dan perlindungan lingkungan. Studi ini memerlukan pengumpulan data, penerapan metode matematika untuk mengembangkan model, dan analisis hasil untuk memahami dan memperkirakan perilaku air dalam berbagai kondisi.

Dalam konteks kajian risiko banjir di Kawasan Cawang Jakarta, analisis hidrologi sangat penting untuk memahami bagaimana perubahan tata guna lahan mempengaruhi aliran air di daerah tersebut. Ini melibatkan studi tentang bagaimana urbanisasi dan pembangunan di ketiga wilayah tersebut mengubah karakteristik limpasan permukaan dan infiltrasi air ke dalam tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi aliran Sungai Ciliwung.

### 2.7.1. Curah Hujan Daerah

Curah hujan daerah biasanya diukur menggunakan jaringan stasiun pengukur hujan yang tersebar di seluruh wilayah. Data dari stasiun-stasiun ini kemudian dianalisis menggunakan metode seperti Poligon Thiessen, Isohyet, atau Rata-rata Aritmatik untuk mendapatkan estimasi curah hujan yang mewakili seluruh daerah. Untuk kajian ini, perlu dilakukan analisis curah hujan daerah di wilayah Cawang, Jakarta Timur. Untuk memahami pola curah hujan di DAS Ciliwung yang berdampak pada wilayah ini secara lebih baik, perlu dilakukan pengumpulan dan analisis data dari stasiun-stasiun terdekat. Informasi maksimum curah hujan rata-rata digunakan untuk menentukan debit banjir rencana.

Pada Tabel 2.1. menurut Suripin (2004) menyajikan langkah-langkah dalam menghitung curah hujan regional atau curah hujan rata-rata terstandarisasi berdasarkan Daerah Aliran Sungai (DAS):

Tabel 2. 1 Metode Perhitungan Curah Hujan Daerah

Metode Isohyet	DAS besar (>5000 km <sup>2</sup> )
Metode Theissen	DAS sedang (500 s/d 5000 km <sup>2</sup> )
Metode Rata-rata Aljabar	DAS kecil (<500 km <sup>2</sup> )

Sumber: (Suripin, 2004)

## 1. Metode Isohyet

Isohyet adalah teknik perhitungan curah hujan rata-rata di suatu wilayah dengan menggunakan garis isohyetal, yaitu garis yang menghubungkan titik-titik dengan intensitas curah hujan dalam periode tertentu. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi dan menggambarkan pola distribusi curah hujan di suatu sebagai dasar pemetaan curah hujannya. Metode ini memanfaatkan rata-rata kedalaman curah hujan dan garis kontur di dalam Daerah Aliran Sungai (DAS).

$$\bar{p} = \frac{A_1 (P_1 + P_2)}{2} + \frac{A_2 (P_2 + P_3)}{2} + \dots + \frac{A_n (P_n + P_{n+1})}{2} \quad (2.2)$$

*A<sub>total</sub>*

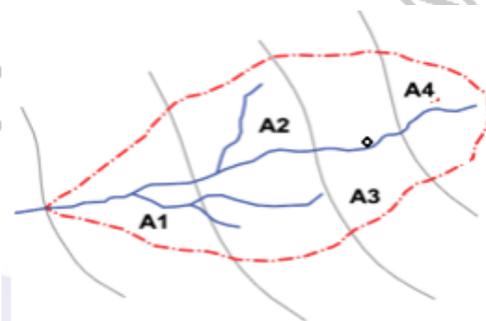
Keterangan:

$\bar{p}$  : Tinggi hujan rata-rata (mm)

$P_1 \dots P_n$  : Tinggi hujan yang sama setiap garis isohyet (mm)

$A_1 \dots A_n$  : Luas yang dibatasi oleh dua garis isohyet (km<sup>2</sup>)

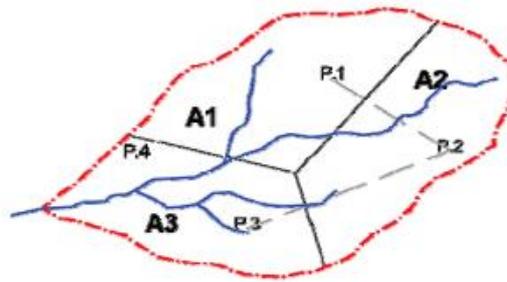
$A_{total}$  : Luas total DAS (km<sup>2</sup>)



Gambar 2. 5 Hujan Rata-rata untuk Metode Isohyet  
Sumber: SNI 2415 (2016)

## 2. Metode Theissen

Metode Theissen yaitu metode yang memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun hujan yang mewakili luasan disekelilingnya. Dalam suatu luasan DAS dinyatakan sama dengan apa yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat di suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan jika penyebaran stasiun hujan di kawasan tidak merata dan minimal stasiun hujan untuk perhitungan yaitu tiga stasiun. Apabila terdapat perubahan pada jaringan stasiun hujan seperti pemindahan atau penambahan stasiun, maka harus dibuat kembali pada poligon yang baru. (Triatmodjo, 2008).



Gambar 2. 6 Hujan Rata-rata untuk Metode Theissen  
Sumber: SNI 2415 (2016)

Pendekatan ini melibatkan penggambaran poligon yang menghubungkan lokasi pengukuran curah hujan dalam suatu wilayah DAS. Untuk menemukan intensitas curah hujan rata-rata suatu wilayah, ukuran setiap poligon dikalikan dengan intensitas curah hujan keseluruhan, kemudian hasilnya dibagi dengan luas total DAS. (SNI 2415: 2016)

$$\bar{p} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_{total}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\bar{p}$  : Tinggi hujan rata-rata (mm)

$P_1 \dots P_n$  : Tinggi hujan pada setiap stasiun hujan (mm)

$A_1 \dots A_n$  : Luas yang dibatasi oleh garis poligon

### 3. Metode Rata-rata Aljabar / Aritmatik

Tahapan ini dilakukan dengan menjumlahkan curah hujan yang tercatat oleh semua stasiun pengukuran dalam jangka waktu tertentu, kemudian membagi total tersebut dengan jumlah stasiun. Pendekatan ini paling efektif di wilayah dataran yang memiliki banyak stasiun pengukuran curah hujan dan menunjukkan distribusi curah hujan yang merata. Berikut persamaan untuk pendekatan aritmatika (SNI 2415: 2016) :

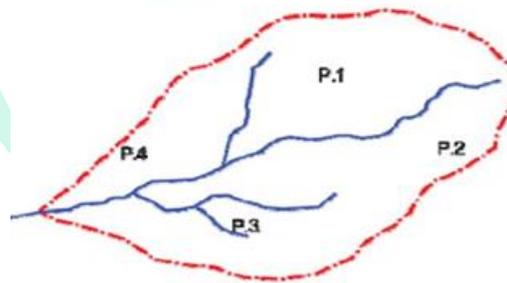
$$\bar{p} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\bar{p}$  : Tinggi hujan rata-rata (mm)

$P_1 \dots P_n$  : Tinggi hujan pada setiap stasiun hujan (mm)

$n$  : Jumlah stasiun hujan



Gambar 2. 7 Hujan Rata-rata Metode Arimatik

Sumber: SNI 2415 (2016)

#### 2.7.2. Pengisian Data Curah Hujan Kosong

Perhitungan analisis hidrologi membutuhkan data curah hujan tahunan untuk menjamin perencanaan yang realistis dan akurat. Data curah hujan dikumpulkan dari sejumlah stasiun hujan untuk memastikan distribusi curah hujan di suatu daerah tangkapan air. Tempat-tempat ini seringkali kekurangan informasi tentang curah hujan. Ketiadaan data curah hujan ini disebabkan oleh alat pencatat curah hujan yang tidak memadai dan rusak, serta kelalaian dari pihak yang mencatat curah hujan. Prosedur pengisian data curah hujan yang hilang dengan metode pendekatan (SNI 2415: 2016) :

1. Hitung data curah hujan rata-rata dari stasiun hujan terdekat dengan stasiun yang hilang untuk memasukkan data curah hujan yang hilang. Jika selisih rata-rata curah hujan tahunan kurang dari 10%, hal ini dimungkinkan.
2. Tentukan faktor pembobotan menggunakan rasio curah hujan tahunan. Rumus berikut digunakan:

$$P_x = \frac{1}{n} \left[ P_a \frac{A_{nx}}{A_{na}} + P_b \frac{A_{nx}}{A_{nb}} + \dots + P_n \frac{A_{nx}}{A_{nn}} \right] \quad (2.4)$$

Keterangan:

$P_x$  : Tinggi hujan pada stasiun yang data tidak lengkap (mm)

$P_{a,b,c}$  : Tinggi hujan pada setiap stasiun a, b, dan c (mm)

$n$  : Jumlah stasiun hujan

$A_x$  : Tinggi curat hujan rata-rata dalam tahunan pada stasiun data tidak lengkap (mm)

$A_{a,b,c}$  : Tinggi curah hujan rata-rata tahunan dari stasiun hujan a, b, dan c (km<sup>2</sup>)

### 2.7.3. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi adalah teknik yang digunakan untuk menentukan probabilitas kejadian hidrologi, seperti debit atau curah hujan rencana. Pendekatan ini berfokus pada hubungan antara kejadian ekstrem dan frekuensi kejadian. Dengan melakukan analisis frekuensi, kita dapat memperkirakan besarnya kejadian dalam interval 10, 100, dan 1.000 tahun, dan memprediksi potensi terjadinya banjir dalam jangka waktu tertentu. Data yang digunakan dalam metode ini terdiri dari debit atau curah hujan tahunan maksimum yang tercatat. Berikut adalah langkah-langkah yang membentuk proses analisis frekuensi:

#### A. Parameter Statistik Hujan

Langkah-langkah untuk menentukan analisis frekuensi mencakup lima parameter yaitu nilai rata-rata, standar deviasi,

kemiringan, koefisien variasi, dan koefisien kurtosis. (SNI 2415: 2016)

a. Nilai Rata-rata ( $\bar{X}$ )

$$\bar{X} = \frac{\sum xi}{n} \quad (2.5)$$

b. Standar Deviasi (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2.6)$$

c. Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{x}} \quad (2.7)$$

d. Koefisien Kemencengan (Cs)

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log Xi - \log \bar{x})^3}{(n - 1)(n - 2) Sd^3} \quad (2.8)$$

e. Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3) Sd^4} \quad (2.9)$$

Keterangan:

$X$  : Nilai tinggi rata-rata curah hujan (mm)

$Xi$  : Curah hujan maksimum (mm)

$n$  : Jumlah data hujan

$Sd$  : Standar deviasi curah hujan

$Cv$  : Koefisien variasi curah hujan

$Cs$  : Koefisien kemencengan curah hujan

$Ck$  : Koefisien kurtosis curah hujan

## B. Pemilihan Jenis Sebaran

Tahapan selanjutnya dalam pemeriksaan parameter statistik adalah pemilihan jenis distribusi. Standar pemilihan jenis distribusi disajikan pada Tabel 2.3 (SNI 2415, 2016).

Tabel 2. 2 Persyaratan Pemilihan Jenis Sebaran

Jenis Distribusi	Persyaratan
Normal	$Cs \approx 0$
	$Ck = 3$
Log Normal	$Cs \approx 3 Cv + Cv^2 = 3$
	$Ck = 5,383$
Log Pearson III	$Cv \sim 0,06$
	$Cs \neq 0$
Gumbel	$Cs \leq 1,1396$
	$Ck \leq 5,4002$

Sumber: SNI 2415, 2016

### C. Pemeriksaan Uji Distribusi Frekuensi

Uji kesesuaian distribusi frekuensi adalah langkah penting dalam analisis frekuensi hidrologi. Tujuannya adalah untuk menentukan apakah distribusi probabilitas tertentu (seperti Normal, Log-normal, Gumbel, atau Pearson Tipe III) cocok dengan data curah hujan yang diamati. Metode yang umum digunakan untuk uji kesesuaian ini termasuk uji Chi-kuadrat dan uji Kolmogorov-Smirnov. Hasil dari uji ini membantu dalam pemilihan distribusi yang paling tepat untuk memprediksi kejadian curah hujan ekstrem di masa depan.

#### 1. Metode Normal

Distribusi Gaussian juga disebut sebagai metode tipikal atau distribusi normal. Teknik ini digunakan dalam hidrologi untuk mengkaji frekuensi hujan, evaluasi statistik pola hujan tahunan, dan perhitungan debit tahunan rata-rata.

$$X_t = \bar{X} + K_T \cdot S_d \quad (2.10)$$

Keterangan:

$X_T$  : Curah hujan rencana (mm/hari)

$X$  : Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$K_T$  : Faktor frekuensi kumulatif (Lampiran 3.2)

$S_d$  : Standar deviasi

## 2. Metode Log Normal

Metode log-normal mengubah distribusi reguler dengan mengambil logaritma dari variabel probabilitas kumulatif. Distribusi log-normal ini digunakan ketika hasil variabel acak tidak menunjukkan pola seperti gelombang. Rumus yang digunakan dalam teknik ini diberikan di bawah ini:

$$X_t = \bar{X} + KT.Sd \quad (2.11)$$

Keterangan:

$X_T$  : Curah hujan rencana (mm/hari)

$X$  : Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$KT$  : Faktor frekuensi kumulatif (Lampiran 3.3)

$Sd$  : Standar deviasi

## 3. Metode Gumbel

Distribusi Gumbel adalah cara untuk menghitung nilai tertinggi dalam analisis data, seperti mempelajari seberapa sering banjir terjadi atau mengamati kejadian curah hujan tertentu. Berikut persamaan yang digunakan untuk metode Gumbel.

$$X_T = \bar{X} + \frac{Sd}{Sn} + (YT - Yn) \quad (2.12)$$

$$Sd = \frac{\sqrt{\sum(X_i - \bar{x})^2}}{n - 1} \quad (2.13)$$

Hubungan variabel periode ulang  $T$  dengan  $Y_t$  dapat ditemukan dengan persamaan:

Untuk  $T \geq 20$ , maka:  $Y = \ln T$

$$Y_T = -\ln \left[ -\ln \frac{T-1}{T} \right] \quad (2.14)$$

Keterangan:

$X_T$  : Curah hujan rencana berdasarkan T tahun (mm/hari)

$X$  : Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$Y_T$  : Nilai reduksi variat (*reduced variate*) (Lampiran 3.4)

$Y_n$  : Nilai reduksi rata-rata variat (*reduced mean*) (Lampiran 3.5)

$S_d$  : Standar deviasi (simpangan baku)

$S_n$  : Standar deviasi dari hasil standar deviasi (*reduced standard deviation*) (Lampiran 3.6)

#### 4. Metode Log Pearson III

Distribusi ini digunakan untuk menganalisis data banjir maksimum dan minimum yang mencakup nilai-nilai ekstrem. Distribusi Log Pearson III merupakan modifikasi dari distribusi Pearson III, yang dibuat dengan mengubah variabel menjadi representasi logaritmiknya. Metode Log Pearson III terdiri dari langkah-langkah berikut (Kementerian PUPR, 2005):

a. Mengubah data hujan harian maksimum kedalam harga logaritmanya.

b. Menghitung persamaan harga rata-rata

$$\text{Log } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad (2.15)$$

c. Menghitung nilai standar deviasi ( $S_d$ )

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2.16)$$

d. Menghitung koefisien kemencengan ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{n \sum (\log X_i - \log \bar{x})^3}{(n - 1)(n - 2) S^3} \quad (2.17)$$

e. Menghitung nilai curah hujan rencana

$$X_i = \bar{x} + Kt.Sd \quad (2.18)$$

f. Menghitung nilai koefisien kurtosis

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \{\log (X_i) - \log \bar{X}\}^4}{(n-1)(n-2)(n-3) S^4} \quad (2.19)$$

g. Menghitung koefisien variasi

$$C_v = \frac{Sd}{\log (x)} \quad (2.20)$$

h. Menghitung nilai ekstrem

$$\text{Log } x = \log x + Kt.Sd \quad (2.21)$$

i. Mencari nilai antilog dari log X untuk menetapkan besarnya debit rencana yang diinginkan.

#### D. Pengujian Kecocokan Fungsi Distribusi

Saat memilih fungsi distribusi dapat diuji kecocokan menggunakan metode pengujian dan *confidence interval* (interval kepercayaan). Metode pengujian yang digunakan meliputi:

##### 1. Uji Cara Grafis

Uji cara grafis atau lebih dikenal *plotting* data dilakukan pada kertas probabilitas dengan mengurutkan data curah hujan terbesar hingga terkecil atau sebaliknya yang ditempatkan sebagai sumbu koordinat, sedangkan probabilitas sebagai sumbu axisnya. Pengujian ini dibutuhkan untuk mengetahui jarak titik curah hujan dengan garis linier teoritis berdasarkan pada sumbu x sehingga didapatkan nilai probabilitasnya. Persamaan dalam *plotting* data sebagai berikut:

$$P(X_m) = \frac{m}{(n+1)} \quad (2.21)$$

Keterangan:

- P(X<sub>m</sub>) : Data urut dari kecil ke besar  
M : Nomor Urut  
n : Jumlah Data

## 2. Uji Smirnov – Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov, yang sering digunakan sebagai uji kesesuaian non-parametrik, tidak bergantung pada distribusi statistik tertentu. Sebaliknya, uji ini mengamati bagaimana data digambarkan pada plot probabilitas. Uji ini mengidentifikasi perbedaan vertikal terbesar antara titik data riil untuk sampel dan distribusi prediksi. (SNI 2415: 2016)

$$a = \frac{P_{max}}{P(x)} - \frac{P(xi)}{\Delta cr} \quad (2.22)$$

Berikut tahapan pengujian Smirnov – Kolmogorov:

- Data pengamatan harus diurutkan dari yang terkecil hingga terbesar ataupun sebaliknya dari data – data yang tersedia.

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$$X_n = P(X_n)$$

- Menentukan nilai peluang persamaan distribusi

$$X_1 = P'(X_1)$$

$$X_2 = P'(X_2)$$

$$X_n = P'(X_n)$$

- Dari kedua hasil yang didapat, ditentukan selisih sebaran peluang dengan pengamatan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P(X_n) - P'(X_n)] \quad (2.23)$$

- Nilai yang dihasilkan  $D_{maksimum}$  harus lebih kecil dari  $D_{kritis}$ .

## 3. Uji Chi – Kuadrat

Uji Chi-Square adalah teknik yang digunakan untuk menentukan apakah rumus distribusi probabilitas yang dipilih secara tepat merepresentasikan distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Uji ini mengevaluasi selisih antara frekuensi observasi dan teoritis antisipasi suatu

distribusi. Menurut (SNI 2415: 2016) uji Chi-Square didasarkan pada persamaan berikut:

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{O_i - E_i^2}{E_i} \quad (2.24)$$

Keterangan:

$Xh^2$  : Nilai Chi – Kuadrat terhitung

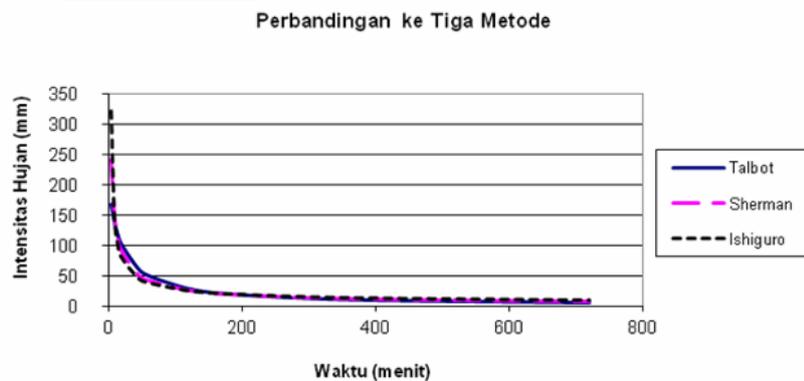
$G$  : Jumlah Sub - Kelompok

$E_i$  : Nilai frekuensi yang terbaca pada setiap sub kelompok ke-i

$O_i$  : Nilai frekuensi yang diharapkan pada setiap sub kelompok ke-i

#### 2.7.4. Intensitas Curah Hujan

Besaran curah hujan yang turun memiliki satuan dalam milimeter per jam (mm/jam) yang disebut intensitas. Intensitas merupakan aspek penting dalam perencanaan sistem pengendalian banjir dan drainase. Intensitas curah hujan dapat berubah tergantung pada frekuensi dan lamanya hujan. Kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) biasanya menunjukkan hubungan antara intensitas curah hujan dengan durasi dan frekuensinya. Kurva ini sangat berguna untuk perencanaan struktur yang dapat menangani berbagai kondisi curah hujan.



Gambar 2. 8 Lengkung Intensitas Hujan  
Sumber: SNI 2415 (2016)

Menurut Suripin (2004) menyatakan bahwa untuk membuat kurva IDF, diperlukan informasi curah hujan jangka pendek dengan

durasi 5, 10, dan 30 menit, dan informasi ini hanya dapat diperoleh di tempat-tempat yang memiliki alat penakar hujan otomatis. Rumus intensitas adalah sebagai berikut (SNI 2415, 2016):

**a. Persamaan Mononobe**

$$I = \left[ \frac{R_{24}}{24} \right] \left[ \frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.25)$$

**b. Persamaan Sherman**

$$I = \left[ \frac{a}{t^n} \right] \quad (2.26)$$

**c. Persamaan Ishiguro**

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (2.27)$$

**d. Persamaan Talbot**

$$I = \frac{a}{t+b} \quad (2.28)$$

Keterangan:

$I$  : Intensitas curah hujan (mm/jam)

$n$  : Jumlah data

$t$  : Durasi curah hujan (jam)

$a, b$  : Konstanta yang dipengaruhi oleh durasi hujan yang terjadi di DAS

$R_{24}$  : Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

**2.7.5. Kalibrasi Model**

Kalibrasi model merupakan proses penyesuaian hasil model dengan kondisis eksisting di lapangan. Hasil kalibrasi yang baik akan menghasilkan hubungan yang kuat antara debit hasil observasi dengan hasil pemodelan, tentunya hal ini bisa diterapkan pada DAS yang memiliki karakteristik sama (Hendratta & Kandey, 2022). Untuk melakukan kalibrasi dapat menggunakan uji model *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE). Nilai koefisien NSE berkisaran  $-\infty$  hingga

1. Apabila nilai kalibrasi mendekati 1 maka dapat diartikan hasil model sangat mirip dengan kondisi eksisting. Berikut persamaan uji model NSE:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2.29)$$

Keterangan:

$O_i$  = Debit yang diamati (m<sup>3</sup> /det)

$S_i$  = Hasil simulasi debit (m<sup>3</sup> /det)

$n$  = Jumlah titik data yang disimulasikan

$\bar{O}$  = Rata-rata debit yang diamati

Tabel 2. 3 Nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

Nilai NSE	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 > NSE > 0,75$	Memenuhi
$NSE < 0,36$	Tidak Memenuhi

Sumber: Arrokhman, Wahyuni & Suhartono (2011)

#### 2.7.6. Debit Banjir Rencana

Debit banjir rancangan mengacu pada estimasi aliran puncak tertinggi yang dapat terjadi di sungai atau saluran selama periode ulang tertentu. Estimasi ini penting untuk pembangunan struktur hidrolik seperti bendungan, sistem drainase, dan jembatan. Berbagai pendekatan digunakan untuk menghitung debit banjir rancangan, termasuk pemeriksaan data aliran sebelumnya, metode rasional untuk DAS yang lebih kecil, dan metode hidrograf satuan untuk DAS yang lebih besar. Elemen-elemen yang memengaruhi debit banjir rancangan meliputi karakteristik DAS, pola penggunaan lahan, dan tingkat intensitas curah hujan.

Untuk menentukan banjir rancangan, dua kategori data dapat digunakan yaitu informasi debit dan angka curah hujan. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) berfungsi sebagai alat untuk menganalisis informasi curah hujan.

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) adalah teknik untuk memperkirakan prinsip hidrograf satuan dalam skenario rancangan

di mana pengukuran langsung hidrograf banjir tidak tersedia. Proses perhitungan HSS mencakup beberapa komponen:

**a. Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu**

Teknik Nakayasu HSS membutuhkan berbagai faktor yang memengaruhi debit air saat banjir, termasuk ukuran daerah aliran sungai (DAS), panjang sungai, debit aliran, dan curah hujan tertinggi dalam periode 24 jam.

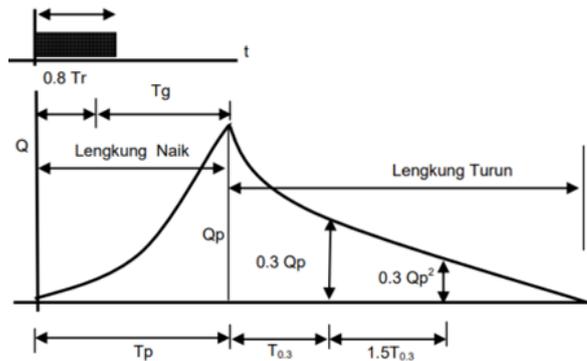
$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_0}{3,6 (0,3T_p) + T_{0,3}} \quad (2.30)$$

$$Q_{base\ flow} = 0,5 Q_p \quad (2.31)$$

Keterangan:

- Qp : Debit banjir puncak (m3/det)
- Qbase flow : Aliran dasar (m3/det)
- c : Koefisien aliran permukaan
- A : Luas DAS (km2)
- R0 : Curah hujan (mm), standar digunakan 1 mm
- Tp : Durasi mula banjir hingga puncak hidrograf banjir (jam)  
= Tg + 0,8 Tr
- T0,3 : Durasi puncak banjir hingga 0,3 kali debit puncak banjir (jam)  
= a Tg
- a : Waktu konsentrasi (jam)  
= 0,4 + 0,058L (L ≥ 15 km)  
= 0,21 L<sup>0,7</sup> (L ≥ 15 km)
- r : Durasi dari curah hujan (jam)  
= (0,5 Tg sampai 1 Tg)

Di Indonesia, curah hujan harian terberat biasanya terjadi setelah sekitar 6 jam. Nakayasu HSS ditentukan menggunakan grafik yang menunjukkan hubungan antara waktu dan debit air tertinggi.



Gambar 2. 9 Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

Grafik ini direpresentasikan oleh persamaan di bawah ini:

**a) Bagian kurva naik ( $0 < t < T_p = 3,33$ )**

$$UH = Q_p \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.32)$$

**b) Bagian Kurva Turun ( $T_p < t < T_p + T_{0,3}$ )**

$$UH = Q_p \times (0,3)^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.33)$$

**c) Kurva Turun ( $T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$ )**

$$UH = Q_p \times (0,3)^{\frac{t-T_p+(0,5 \times T_{0,3})}{1,5+T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.34)$$

**d) Kurva Turun ( $t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$ )**

$$UH = Q_p \times (0,3)^{\frac{t-T_p+(1,5 \times T_{0,3})}{2+T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.35)$$

**b. Hidrograf Satuan Sintesis Snyder**

Perhitungan HSS *Snyder* melibatkan rumus empiris dan koefisien yang menggambarkan karakteristik elemen hidrograf dalam DAS. Berikut adalah rumus untuk persamaan HSS *Snyder*.

$$t_p = Ct (L.Lc) \quad (2.36)$$

$$tr = \frac{t_p}{5,5} \quad (2.37)$$

$$Q_p = 2,78 \frac{C_p \times A}{t_p} \quad (2.38)$$

$$t_b = 72 + 3t_p \quad (2.39)$$

Keterangan;

$T_p$  : Durasi awal titik berat hujan sampai debit puncak (jam)

$t_r$  : Durasi hujan efektif (jam)

$C_t$  : Nilai koefisien waktu (0,75 – 3,00)

$L$  : Panjang aliran sungai (km)

$L_c$  : Jarak antara titik berat DAS menuju outlet sepanjang aliran (km)

$A$  : Luas DAS (km<sup>2</sup>)

$C_p$  : Nilai koefisien debit (0,90 – 1,40)

$t_b$  : Waktu dasar hidrograf (jam)

**c. Hidrograf Satuan Sintesis *Soil Conservation Service* (SCS)**

HSS SCS merupakan penjelasan terkait perbandingan debit ( $q$ ) terhadap puncak ( $q_p$ ), dengan waktu ( $t$ ) terhadap waktu naik ( $T_p$ ). Berikut persamaan dari metode HSS SCS.

**a) Debit puncak ( $Q_p$ )**

$$Q_p = \frac{2,08A}{T_p} \quad (2.40)$$

Keterangan:

$Q_p$  : Debit banjir puncak (m<sup>3</sup>/det)

$A$  : Luas DAS (km<sup>2</sup>)

$T_p$  : Durasi awal titik berat hujan sampai debit puncak (jam)

**b) Waktu keterlambatan ( $t_p$ )**

$$t_p = 0,6 T_c \quad (\text{Hidrograf tak berukuran}) \quad (2.41)$$

$$t_p = 2,67 T_p \quad (\text{Hidrograf segitiga}) \quad (2.42)$$

Keterangan:

$t_p$  : Waktu terlambat; durasi curah hujan menuju puncak hidrograf (jam)

$T_c$  : Waktu konsentrasi (jam)  
 $0,01947L^{0,77}S^{-0,385}$

$T$  : Panjang maksimum sungai (m)

$S$  : Kemiringan DAS

**c) Waktu naik ( $T_p$ )**

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (2.43)$$

Keterangan:

$T_p$  : Waktu naik atau turun hujan menuju puncak hidrograf (jam)

$t_p$  : Waktu kelambatan durasi titik curah hujan sampai puncak hidrograf (jam)

$t_r$  : Durasi curah hujan efektif (jam)

**d. Hidrograf Satuan Sintetis**

Setelah perhitungan debit banjir unit HSS, maka dilanjutkan dengan melakukan perhitungan total debit banjir di setiap jamnya. Berikut persamaan untuk total debit banjir.

$$Q_{tot} = U_1 \cdot R_{ei} + U_2 \cdot R_{ei2} + U_3 \cdot R_{ei3} + \dots + U_n \cdot R_{ei(n-1)} + Q_b \quad (2.44)$$

Keterangan:

$Q_{tot}$  : Debit banjir total setiap jam dalam suatu periode ulang ( $m^3/det$ )

$U_a$  : Posisi HSS;  $Q_1$ ;  $Q_T$ ;  $Q_t$  ( $m^3/det$ )

$R_{ei}$  : Hujan efektif dalam distribusi hujan (mm)  
Curah hujan periode ulang x rasio distribusi hujan

$Q_b$  : Aliran dasar / *base flow* ( $m^3/det$ )

### 2.7.7. Kala Ulang

Setiap fasilitas air memerlukan penilaian dan perhitungan hidrologi. Periode pembangunan kolam retensi dipengaruhi oleh ukuran dan jenis daerah tangkapan air, dengan mengandalkan informasi curah hujan berkelanjutan setidaknya selama satu dekade, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Nilai Kala Ulang Kolam Retensi

Jenis	Catchment Area (Ha)			
	10	10-100	100-500	>500
Bangunan				
Kota	2 Tahun	2-5 Tahun	5-10 Tahun	10-25 tahun
Metropolitan				
Kota Besar	2 Tahun	2-5 Tahun	2-5 Tahun	5-20 Tahun
Kota Sedang/ Kecil	2 Tahun	2-5 Tahun	2-5 Tahun	5-10 Tahun

Sumber: Kementran PUPR (2020)

### 2.8. Analisis Hidrolika dengan Aplikasi EPA SWMM

SWMM singkatan dari *Storm Water Management Model* adalah program yang meniru curah hujan untuk memprediksi jumlah air yang mengalir di perkotaan dan kualitasnya. Alat ini mengambil informasi curah hujan dari lokasi tertentu, mengubahnya menjadi limpasan air permukaan, dan memantau pergerakan air ini melalui saluran. SWMM sangat cocok untuk memodelkan aliran air dalam sistem drainase perkotaan.

SWMM menghitung jumlah dan kualitas limpasan air di setiap wilayah drainase, termasuk jumlah air yang mengalir keluar, kedalaman, kecepatan air, dan faktor-faktor lain di setiap saluran selama jangka waktu tertentu. Berikut adalah deskripsi komponen-komponen yang terdapat dalam program SWMM:

#### a. *Rain Gage*

*Rain gage* atau alat ukur curah hujan digunakan untuk menampilkan data yang dimasukkan ke dalam sistem. Alat ukur curah hujan memberikan informasi tentang curah hujan di satu atau beberapa wilayah yang lebih kecil dalam studi regional yang lebih luas. Informasi

curah hujan ini biasanya menyajikan urutan yang menunjukkan bagaimana curah hujan bervariasi dari waktu ke waktu.



Gambar 2. 10 Ikon Rain Gage pada EPA SWMM 5.2  
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

#### b. *Subcatchment*

Sub-DAS adalah unit hidrologi di permukaan lahan dengan topografi dan komponen sistem drainase internal yang mengarahkan limpasan permukaan menuju satu titik keluar. Sub-DAS adalah unit hidrologi lahan yang topografi dan komponen sistem drainasenya mengarahkan limpasan permukaan ke satu titik pembuangan.



Gambar 2. 11 Ikon Subcatchment pada EPA SWMM 5.2  
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

#### c. *Junction*

*Junction* atau persimpangan berfungsi sebagai penghubung atau simpul dalam jaringan drainase air tempat berbagai saluran bertemu. Persimpangan ini dapat menunjukkan titik persimpangan saluran air permukaan alami, lokasi lubang drainase, atau titik sambungan pipa. Air yang masuk ke jaringan drainase harus melewati persimpangan ini. Jika terdapat terlalu banyak air di persimpangan ini, dapat menyebabkan luapan, yang mengakibatkan apa yang disebut banjir lokal.



Gambar 2. 12 Ikon Junction pada Aplikasi EPA SWMM 5.2  
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

#### d. *Outfall*

Saluran pembuangan atau *outfall* adalah titik terakhir dari sistem drainase kota dan biasanya merujuk pada titik keluar air dari suatu area tertentu. Saluran pembuangan juga memberikan informasi penting mengenai kondisi di hilir. Saluran pembuangan berfungsi sebagai tempat

penyimpanan air yang terkumpul dalam sistem drainase, yang kemudian dilepaskan dan diarahkan ke badan air yang lebih besar seperti sungai, danau, atau laut.



Gambar 2. 13 Ikon Outfall pada Aplikasi EPA SWMM 5.2.  
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

**e. *Flow Divider***

Pembagi aliran adalah komponen sistem drainase yang mengarahkan air masuk ke saluran tertentu dalam batasan atau kondisi tertentu. Pembagi aliran hanya dapat memiliki dua titik keluaran. Terdapat empat kategori pembagi aliran, yang diklasifikasikan berdasarkan metode pembagian alirannya:

- *Cutoff Divider* atau pembagi batas adalah perangkat yang memisahkan aliran berdasarkan kuantitas tertentu.
- *Overflow Divider* atau pembagi limpahan adalah struktur yang memisahkan aliran berdasarkan kapasitas tertinggi saluran primer. Jika saluran primer melebihi kapasitas tertingginya, aliran akan langsung terbagi.
- *Tabular Divider* atau pembagi tabular, yang menggunakan tabel untuk merepresentasikan aliran yang dialihkan sebagai fungsi dari aliran masuk keseluruhan.
- *Weir Divider* atau pembagi bendung adalah perangkat yang memisahkan aliran dengan memanfaatkan persamaan bendung atau tekukan untuk mengukur aliran yang dialihkan.



Gambar 2. 14 Ikon Flow Divider pada Aplikasi EPA SWMM 5.2  
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

**f. *Storage Unit***

*Storage Unit* atau unit penyimpanan adalah sistem drainase yang memiliki kapasitas penyimpanan. Dari segi bentuk fisiknya, unit ini menyerupai waduk, danau, atau fasilitas penyimpanan seperti kolam

retensi. Dalam sistem drainase, tujuan utama unit penyimpanan adalah untuk menahan dan menunda puncak banjir.



Gambar 2. 15 Ikon Storage Unit pada Aplikasi EPA SWMM 5.2  
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

**g. Conduit**

Saluran air mengacu pada struktur yang berfungsi sebagai jalur, baik berupa saluran terbuka maupun pipa, yang mengalirkan air dari satu lokasi ke lokasi lain dalam jaringan drainase. Bentuk penampang saluran dapat dipilih dari berbagai desain untuk saluran buatan atau dapat ditentukan oleh pengguna untuk sungai dan anak sungai alami.



Gambar 2. 16 Ikon Conduit pada Aplikasi EPA SWMM 5.2  
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)



## 2.9. Penelitian Terdahulu

Tabel 3. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Hasil Penelitian	Link Literatur
1.	Dhimas Satibi (2018)	Indonesia	Dalam pengendalian bencana banjir di Kota Balikpapan dapat dilakukan dengan pembuatan kolam retensi, seperti yang dikemukakan oleh Dhimas Satibi (2018). Penelitian ini bermaksud untuk merencanakan pembuatan kolam retensi guna mereduksi bencana banjir yang sering terjadi.	Setelah analisa terkait perencanaan selesai, dilanjutkan dengan pemodelan sesuai dengan data perencanaan menggunakan aplikasi HEC-RAS 5.0.3.	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa berkurangnya tinggi muka air yang terjadi pada hilir Sungai Ampal setelah adanya kolam retensi dan mampu meredam 21% banjir di DAS tersebut.	<a href="#">Dhimas Satibi Adiputra.pdf</a>
2.	Annisa Antika Hariansyah (2023)	Indonesia	Tinggi curah hujan dan luapan sungai dapat menyebabkan bencana banjir, contohnya di kawasan Cipulir yang berada di Jalan Ciledug Raya berdekatan dengan Kali Pesanggrahan. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti perubahan tingkat ancaman banjir menurut luas serta kedalaman luapan banjir, dan adanya mitigasi dengan penambahan kolam retensi.	Metode yang digunakan yaitu simulasi hidroloika menggunakan software EPA SWMM 5.2. dan HEC-RAS 6.3.1. dengan metode 1D-2D <i>Coupled Model</i> menggunakan HSS Nakayasu dengan periode ulang 10, 25, 50 tahun.	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil kapasitas kolam retensi dengan kedalaman 3 meter adalah 178440 m <sup>3</sup> , kedalaman 5 meter sebesar 33166.7 m <sup>3</sup> . Dapat dikatakan bahwa geometri sebelum dan sesudah adanya kolam retensi memperlihatkan perbedaan di peta ancaman banjir. Limpasan sesudah adanya kolam retensi menunjukkan hasil yang signifikan.	<a href="#">Kajian Perubahan Ancaman Banjir Perkotaan Akibat Implementasi Kolam Retensi pada Bantaran Kali Pesanggrahan (Studi Kasus Cipulir Jakarta Selatan) - REPOSITORY UPJ</a>

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Hasil Penelitian	Link Literatur
3.	Muhammad Fadhil Rizqulah Irawan (2023)	Indonesia	Intensitas hujan yang tinggi dapat memicu terjadinya banjir di daerah Tangerang Selatan, khususnya di Perumahan Graha Mas Serpong, Jelupang. Pada penelitian ini bertujuan untuk menentiuukan dimensi kolam retensi untuk upaya mitigasi banjir untuk menerunkan debit yang menyebabkan limpasan.	Metode yang digunakan yaitu Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu untuk menentukan debit banjir periode ulang 10, 25, dan 50 tahun. Dalam analisis hidrolika menggunakan aplikasi SWMM untuk menentukan dimensi kolam retensi, dan simulasi hidrolika menggunakan aplikasi HECRAS 1D-2D <i>Coupled Model</i> .	Hasil pada penelitian ini yaitu bentuk <i>pyramid</i> . Kapasitas efektif untuk kolam ini yaitu 18166,7 m <sup>3</sup> dengan kedalaman 5 m yang dapat menampung debit banjir sehingga tidak terjadi limpasan pada Perumahan Graha Mas Serpong. Puncak debit banjir sesudah adanya kolam retensi untuk periode ulang 10 tahun sebesar 28,11 m <sup>3</sup> /s, periode ulang 25 tahun sebesar 32,02 m <sup>3</sup> /s, dan periode 50 tahun sebesar 46,5 m <sup>3</sup> /s.	<a href="#">Kajian Efektivitas Penggunaan Kolam Retensi Sebagai Upaya Mitigasi Banjir Kawasan Residensial Urban (Studi Kasus Perumahan Graha Mas Serpong) - REPOSITORY UPI</a>
4.	Aldi Triatmaja Putra (2024)	Indonesia	Genangan yaitu permasalahan yang sering terjadi yang disebabkan oleh kurang memadainya sistem aliran drainase. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem drainase di Perumahan Pamulang Permai 2 serta mengevaluasi upaya peningkatan kinerja sebagai penanggulangan genangan	Pada penelitian ini menggunakan aplikasi EPA SWMM untuk menghasilkan kinerja drainase pada Perumahan Pamulang Permai 2.	Hasil pada penelitian ini yaitu dengan penambahan kolam retensi dengan volume 650 m <sup>3</sup> dengan bantuan pompa yang berkapasitas 0,5 m <sup>3</sup> /detik sebagai Upaya untuk penanggulangan genangan dan wadah pembuangan air sementara selama hujan terjadi.	<a href="#">Analisis Kinerja Sistem Drainase pada Perumahan Pamulang Permai 2 - REPOSITORY UPI</a>

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Hasil Penelitian	Link Literatur
			tersebut. Hasil dari penilaian kinerja sistem drainase memperoleh nilai 90,8%, meskipun terbilang sangat baik namun permasalahan terjadi pada saluran pembuangan air yang menghubungkan antara saluran tersier dengan sekunder terjadi arus balik yang mengakibatkan terhambatnya aliran pembuangan yang memuncak sebesar 0,7 m <sup>3</sup> /detik.			
5.	Yuswo Masriyono (2021)	Indonesia	Pemerintah Kota Tegal telah membangun kolam retensi pada tahun 2019 dengan luas area 226 ha, namun bencana banjir dan genangan masih melanda di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dari kolam retensi tersebut.	Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan mengambil data lapangan serta menggunakan aplikasi HECRAS untuk analisis hidrolikas pada saluran eksisting.	Hasil penelitian ini yaitu pompa eksisting sebesar 4 m <sup>3</sup> /dtk dan volume kolam 37000 m <sup>3</sup> tidak mampu menampung volume debit rencana untuk periode ulang 20 tahun. Untuk alternatifnya maka penambahan pompa 4 m <sup>3</sup> /dtk, penampangan long storage 8 x 2 , 75 x 700 m, sehingga banjir dan genangan dapat dikendalikan.	<a href="#">20201900053</a> <a href="#">fulltext.pdf</a>

Berdasarkan gap penelitian dapat disimpulkan bahwa kolam retensi merupakan solusi yang efektif dan efisien untuk mitigasi bencana banjir, terutama jika dirancang dan dianalisis dengan metode pemodelan hidrologi dan hidraulika yang tepat. Kolam retensi ini tidak hanya mengurangi debit air, tetapi juga memberikan manfaat dalam pengendalian tata ruang kota yang lebih adaptif terhadap risiko banjir dimasa depan.