

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

2.1.1 Pengertian Banjir

Banjir merupakan suatu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Banjir dapat diartikan berupa genangan yang terjadi pada lahan kering seperti lahan pertanian, pemukiman maupun pusat kota. Banjir terjadi dikarenakan debit/volume air dari saluran drainase maupun sungai telah melebihi kapasitas pengalirannya. (BNPB, 2016).

Banjir terjadi dikarenakan adanya curah hujan yang tinggi sehingga air meluap dan melewati batas elevasi dari drainase maupun sungai. Banjir adalah suatu fenomena alam yang dapat menelan banyak korban hingga adanya korban jiwa. Banjir yang terjadi di bagian hulu biasanya akan memberikan arus banjir yang cukup deras dan daya geser yang tinggi namun durasi banjir yang singkat. Sedangkan di bagian hilir banjir yang terjadi biasanya diikuti dengan arus yang tidak deras namun durasi banjir yang cukup lama.

2.1.2 Penyebab Banjir

Banjir adalah suatu fenomena alam yang dipengaruhi banyak faktor, namun pada umumnya dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu dipengaruhi secara alami dan akibat tindakan manusia. (Kodoaite dan Sugiyanto, 2002).

1. Banjir Yang Dipengaruhi Secara Alami

a. Curah Hujan

Indonesia adalah negara yang dilalui garis khatulistiwa yang membuatnya menjadi negara tropis, sehingga memiliki 2 musim yaitu musim hujan maupun musim panas. Musim hujan di Indonesia umumnya terjadi pada bulan Oktober hingga Maret,

sedangkan musim panas terjadi pada bulan April hingga September. Pada musim hujan curah hujan yang terjadi relatif tinggi sehingga menyebabkan tinggi permukaan air pada drainase maupun sungai dan menyebabkan banjir.

b. Kapasitas Sungai

Kapasitas aliran banjir pada sungai yang disebabkan dengan adanya pengendapan dari adanya erosi yang terjadi pada Daerah Pengaliran Sungai (DPS) maupun erosi dari tanggul sungai dan sedimentasi sungai yang dikibatkan dengan tidak adanya vegetasi penutup maupun penggunaan lahan yang tidak tepat.

c. Kapasitas Drainase

Kapasitas drainase merupakan salah satu penampung air hujan sebelum dialirkan ke sungai, namun beberapa kota di Indonesia memiliki drainase yang kurang efektif dalam menampung air hujan. Drainase yang kurang efektif tersebut menyebabkan air meluap dan banjir.

d. Erosi dan Sedimentasi

Erosi yang terjadi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) akan mengakibatkan adanya pengurangan volume dari kapasitas penampung sungai. Dengan adanya erosi yang mengikuti DAS tersebut memberikan sedimen yang menghambat aliran sungai dan menyebabkan genangan dan banjir.

e. Pengaruh Geografi dan Fisiografi

Geografi sungai yaitu letak adanya sungai mempengaruhi banjir pada sungai. Fisiografi sungai yaitu seperti bentuk penampang sungai, fungsi maupun kemiringan dari DPS, kedalaman, aliran sungai, maupun material dari dasar sungai juga mempengaruhi banjir pada sungai.

f. Pengaruh Air Pasang

Air pasang dari laut juga salah satu faktor alami yang dapat menghambat aliran air dari sungai menuju ke laut. Pada waktu tertentu banjir dapat terjadi secara bersamaan dengan air laut

pasang yang tinggi sehingga membuat genangan yang air yang tinggi atau banjir dapat diakibat oleh adanya aliran balik (*backwater*).

2. Banjir Yang Dipengaruhi Oleh Tindakan Manusia

a. Sampah

Sampah merupakan salah satu faktor terjadinya banjir yang dipengaruhi oleh tindakan manusia. Tindakan masyarakat yang membuang sampah langsung ke sungai. Masalah ini sering terjadi di kota-kota besar sehingga sungai maupun drainase cepat meluap ketika adanya hujan. Dengan adanya pembuangan sampah langsung ke sungai dapat menghalangi aliran sungai dan sungai mudah meluap.

b. Kawasan Kumuh

Adanya pemukiman kumuh di sekitar bantaran sungai akan menghambat aliran sungai sehingga sungai mudah untuk meluap. Kawasan kumuh menjadi faktor penting yang mengakibatkan banjir di daerah perkotaan.

c. Drainase Lahan

Drainase pada perkotaan dan adanya pengembangan lahan pertanian maupun perubahan tata guna lahan pada sekitar bantaran sungai akan mengakibatkan kurangnya kemampuan bantaran sungai dalam menampung debit air yang tinggi.

d. Perubahan Kondisi DPS

Perubahan kondisi DPS yang terjadi seperti adanya penggundulan hutan, pembangunan dan perluasan kota, pengembangan usaha pertanian yang tidak tepat maupun perubahan tata guna lahan dapat memperburuk masalah banjir ketika meningkatkan aliran banjir.

e. Bangunan Air

Bangunan-bangunan air seperti bendungan maupun waduk dalam menyebabkan aliran balik sehingga meningkatkan muka air banjir.

f. Kerusakan Bangunan Pengendali Banjir

Kurangnya pemeliharaan dan perawatan yang efektif terhadap bangunan pengendali banjir dapat menimbulkan kerusakan. Dengan adanya kerusakan terhadap bangunan pendelai banjir hal ini dapat memicu adanya banjir dikarenakan kurangnya kemampuan bangunan pengendali banjir dalam menahan muka air banjir.

g. Perencanaan Sistem Pengendali Banjir Yang Tidak Tepat

Sistem pengendali banjir memang dapat mengurangi dan menghentikan adanya banjir namun dalam beberapa kasus sistem perencanaan pengendali banjir yang tidak tepat dapat menyebabkan adanya masalah ketika adanya banjir yang besar. Salah satu contohnya adalah dengan perencanaan tanggul yang sungai yang tinggi, ketika terjadinya banjir yang besar dan limpasan air yang lebih tinggi dari banjir rencana dapat menyebabkan tanggul runtuh sehingga meningkatkan kecepatan aliran air yang mengalir melalui tanggul yang jebol dan mengakibatkan banjir yang besar.

2.1.3 Jenis–Jenis Banjir

Menurut Pusat Kritis Kesehatan Kemenkes RI (2018) jenis banjir dibedakan menjadi lima jenis, yaitu:

1. Banjir Air

Banjir air merupakan banjir yang paling umum terjadi. Banjir ini diakibatkan oleh meluapnya sungai, drainase, danau dikarenakan adanya intensitas hujan yang tinggi sehingga air tidak dapat ditampung lagi dan meluap.

2. Banjir Lumpur

Banjir lumpur yang diakibatkan oleh meluapnya lumpur yang berasal dari dalam bumi yang keluar ke daratan. Banjir lumpur ini

merupakan lumpur yang mengandung bahan kimia dan berbahaya bagi kesehatan.

3. Banjir Bandang

Banjir bandang adalah jenis banjir yang dapat mengangkut apapun dan menghancurkan apa yang dilewatinya. Banjir ini biasanya disebabkan oleh penebangan pohon yang berlebihan banjir ini sangat rentan terjadi di daerah dataran tinggi.

4. Banjir Cileunang

Banjir cileunang merupakan banjir air yang terjadi dikarenakan hujan deras yang cukup lama sehingga menyebabkan air meluap.

5. Banjir Rob (Banjir Air Laut Pasang)

Banjir merupakan banjir yang diakibatkan oleh adanya air laut pasang yang mengenai daratan di sekitarnya. Banjir rob umumnya terjadi di daerah pemukiman yang dekat dengan pantai. Selain disebabkan oleh faktor alam, banjir rob juga disebabkan oleh tindakan manusia yang merusak daerah pesisir sungai.

2.1.4 Kerugian Akibat Banjir

Banjir menyebabkan banyak sekali kerugian. Pada umumnya kerugian akibat banjir sulit diidentifikasi secara jelas, sehingga kerugian akibat banjir di bagi menjadi kerugian langsung dan tidak langsung. Kerugian langsung akibat banjir merupakan kerugian yang langsung terlihat dan terjadi setelah banjir melanda seperti rusaknya beberapa fasilitas umum, sistem transportasi, pemukiman, sistem irigasi, pertanian, sistem drainase, sistem air bersih, sistem kelistirikan, bangunan air, bangunan pengendali banjir, rusaknya bagian sungai, dll. Sedangkan kerugian tak langsung akibat banjir adalah kerugian yang timbul secara tak langsung setelah kejadian banjir seperti Pendidikan yang terhambat, sistem komunikasi maupun listrik yang hilang, timbulnya masalah kesehatan, kegiatan bisnis dan ekonomi yang terganggu maupun hilangnya lapangan pekerjaan (Kodoaite dan Sugiyanto, 2002).

2.1.5 Pengendalian Banjir Metode Non Struktur

Pengendalian banjir metode non struktur adalah metode yang digunakan dengan cara pendekatan dengan tidak membuat bangunan pengendalian banjir dan memberikan pengaruh langsung terhadap sungai. Pengendalian banjir metode non struktur adalah sebagai berikut:

1. Pengelolaan DAS

Metode pengelolaan DAS adalah memberikan pelatihan, pelaksanaan dan membuat peraturan langsung yang berhubungan dengan DAS. Kegiatan pengelolaan DAS ini adalah seperti menghemat, menyimpah maupun konservasi air. Berikut beberapa aktivitas pengelolaan DAS:

- a. Melakukan pemeliharaan vegetasi di bagian hulu DAS
- b. Melakukan penanam vegetasi di bantaran sungai untuk mengendalikan kecepatan aliran air sungai dan mencegah erosi tanah.
- c. Melakukan pemeliharaan vegetasi dan penanam tumbuhan tahan air di sekitar tanggul maupun saluran drainase untuk mengendalikan aliran air yang berlebihan dan menjaga erosi tanah maupun sedimentasi.
- d. Melakukan pemeliharaan berkala terhadap bangunan-bangunan pengendali banjir yang mudah tererosi di sepanjang DAS.
- e. Pengelolaan khusus terhadap sedimentasi yang disebabkan oleh adanya gunung berapi.

(Kodoatie dan Sugiyanto, 2002)

2. Pengaturan Tata Guna Lahan

Pengaturan tata guna lahan yang berada di daerah sekitar sungai bertujuan untuk mengatur penggunaan lahan yang sesuai dengan rencana dan pola tata ruang wilayah yang sudah ada. pengatruan tata guna lahan ini digunakan untuk menghindari penggunaan lahan yang tidak terkendali yang dapat mengakibatkan kerusakan pada DAS maupun hilangnya kekuatan tanah dalam penyerapan

air. Pada dasarnya pengaturan tata guna lahan pada DAS ini bertujuan untuk:

- a. Untuk memperbaiki kondisi hidrologi pada bagian sungai dan DAS, sehingga pada saat musim hujan tidak terjadi banjir dan tidak terjadi kekeringan pada musim kemarau.
- b. Untuk menekan tingginya erosi pada DAS sehingga laju sedimentasi di bagian hilir dapat berkurang dan mengurangi banjir.

Pengaturan tata guna lahan ini sangat penting terutama pada bagian hulu yang mana menjadi penyangga air hujan dan perlu adanya pengelolaan lahan. Daerah hulu ini menjadi daerah penyangga dan juga berfungsi sebagai penampung air tanah.

Untuk mencegah tingginya laju erosi pada DAS perlu adanya pelatihan dan pengelolaan vegetasi di daerah bantaran sungai. Pengendalian erosi ini guna mencegah sedimentasi tinggi yang berpengaruh pada bagian hilir. Sedimentasi yang tinggi tersebut juga dapat mempengaruhi penampang sungai dimana akan adanya penyempitan penampang sungai yang menyebabkan kecilnya kapasitas pengaliran pada sungai.

(Kodoatie dan Sugiyanto, 2002)

3. Pengembangan Daerah Banjir

Menurut Kodoite dan Sjarief Roestam (2005) Pengembangan daerah banjir memiliki empat strategi dasar yaitu sebagai berikut:

- a. Melakukan modifikasi terhadap kerentanan dan kerugian akibat banjir dengan cara pengaturan tata guna lahan dan penentuan zona
- b. Meningkatkan kapasitas alam dengan cara melakukan pelstarian dan penghijauan
- c. Memodifikasi dampak banjir dengan melakukan mitigasi seperti menggunakan asuransi penghindaran banjir
- d. Melakukan normalisasi sungai atau membuat bangunan pengontrol seperti waduk untuk mengurangi banjir

2.1.6 Pengendalian Banjir Metode Struktur

Selain pengendalian banjir dengan metode non struktur, pengendalian banjir dapat menggunakan metode struktur dimana dengan membangun bangunan pengendali banjir yang dapat mengurangi dampak atau akibat dari banjir. Pengendalian banjir metode struktur menurut Kodoatie dan Suginto, 2002 adalah sebagai berikut

1. Pembuatan Sudetan (*By Pass*)

Untuk sungai yang memiliki alur berkelok-kelok membuat sungai lebih lama untuk sampai ke arah hilir oleh karena itu dibuat sudetan untuk mempercepat air mencapai hilir. Dengan adanya sudetan jarak yang ditempuh oleh air menjadi lebih pendek namun kapasitas pengaliran menjadi bertambah. Untuk pembuatan sudetan perlu diperhatikan agar tidak menimbulkan masalah banjir di tempat yang lain.

2. Kolam Retensi (*Retention Basin*)

Kolam retensi memiliki fungsi yang mirip dengan bendungan yang dapat menampung sebagian debit banjir sehingga banjir yang terjadi dapat dikurangi. Pengurangan debit banjir ini dipengaruhi dengan karakteristik terhadap hidrograf banjir, volume kolam retensi, maupun dinamika terhadap bangunan *outlet*. Pada umumnya kolam retensi dibangun di daerah dataran rendah atau rawa. Kolam retensi yang memiliki Perencanaan terhadap tata guna lahan yang baik, kolam retensi dapat digunakan untuk penggarian pertanian.

3. Lapisan Pelindung Lereng (*Revetment*)

Perkuatan lereng adalah suatu bangunan yang digunakan untuk melindungi permukaan tanah pada lereng maupun pada tanggul. Perkuatan lereng berfungsi menambah stabilitas alur sungai maupun tanggul sungai yang dilapisi. Perkuatan lereng dibedakan menjadi tiga Berdasarkan lokasinya yaitu perkuatan lereng sungai (*low water revetment*) yaitu perkuatan pada lereng lereng di samping sungai, perkuatan lereng tanggul (*levee revetment*) yaitu perkuatan pada

lereng tanggul dimana memberikan kekuatan pada tanggul, dan perkuatan lereng menerus (*high water revetment*).

4. Dinding Kendali (*Taining Wall*)

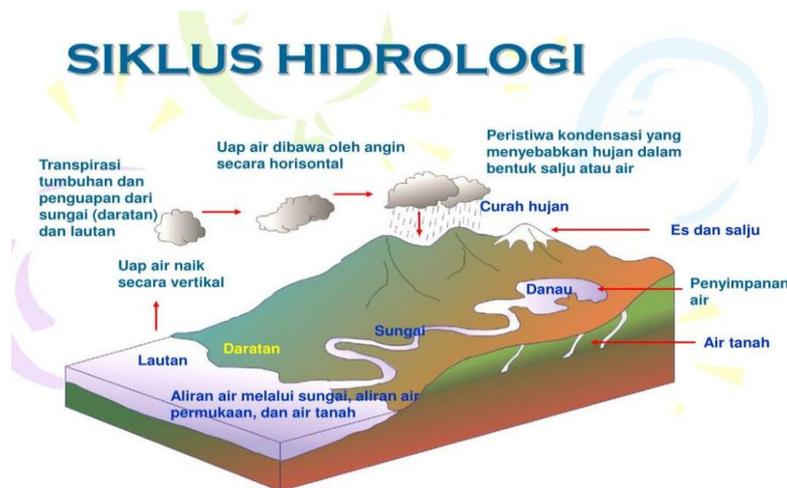
Dinding kendali pada umumnya digunakan untuk mengarahkan aliran sungai terutama pada sungai yang berbelok-belok maupun sebagai penyempitan alur sungai. Dinding kendali juga biasa digunakan untuk konstruksi jembatan, bendung dan lainnya.

5. Pembuatan Alur Pengendali Banjir (*Floodway*)

Metode bangunan pengendali banjir ini digunakan untuk mengurangi debit banjir terutama pada sungai utama dengan memindahkan aliran sungai melalui *floodway*. Pembangunan *floodway* dipengaruhi oleh kondisi mendukung seperti tidak adanya masalah terhadap pembebasan lahan.

2.2 Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang adanya kehadiran maupun gerakan dari air di alam, hal ini terkait dengan perubahannya dalam kondisi cair, padat maupun gas dalam atmosfer bumi yang berada diatas maupun dibawah permukaan tanah (A Syarifudin, 2017). Pada umumnya hidrologi mempelajari bagaimana pergerakan air di bumi. Menurut *International Scientific Hidrology* hidrologi dibagi menjadi 3 jenis yaitu, *Potamology* (hidrologi sungai), *Crylogy* (hidrologi salju), dan *Linnology* (hidrologi danau). Siklus hidrologi yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 merupakan pergerakan air mulai dari laut hingga ke udara, lalu air jatuh ke permukaan bumi dengan bentuk hujan atau bentuk presipitasi lain, sehingga air dapat mengalir kembali ke laut (Priyambodo R, 2020).



Gambar 2. 1. Siklus Hidrologi (Pribyambodo R, 2020)

Menurut A Syarifudin (2017) Hidrologi merupakan suatu sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dimulai dari atmosfer bumi dan kembali lagi ke atmosfer melalui siklus kondensasi, presipitasi, evaporasi, dan juga transpirasi. Pada umumnya hidrologi dibagi menjadi 2 bagian yaitu sebagai berikut:

1. *Operational Hydrology*, Hidrologi ini menyangkut dengan pemasangan alat-alat ukur dan juga penentuan jaringan stasiun pengamatan hidrologi, dan juga pengumpulan data hidrologi sehingga menghasilkan data mentah yang dipublikasikan.
2. *Applied Hydrology*, Merupakan ilmu hidrologi yang langsung berhubungan dengan hukum-hukum yang menyangkut hidrologi pada kejadian-kejadian praktis.

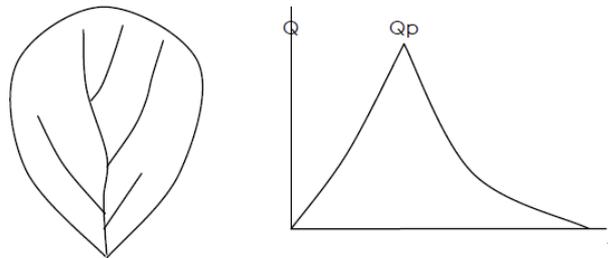
Analisis hidrologi digunakan untuk berbagai macam perencanaan yang berhubungan dengan siklus hidrologi maupun bangunan air. Analisis hidrologi juga dapat digunakan untuk melakukan perhitungan debit banjir rencana dimana digunakan untuk pembangunan bangunan air. Berikut adalah Langkah-langkah untuk menganalisis debit banjir rencana menyayitu sebagai berikut:

1. Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) maupun luasan dari DAS tersebut.
2. Menentukan titik-titik pos curah hujan yang berpengaruh pada DAS.

3. Menentukan curah hujan maksimum berdasarkan pada setiap pos curah hujan untuk setiap tahunnya, kemudian dianalisis untuk mewakili curah hujan daerah.
4. Melakukan analisis curah hujan rencana dengan perhitungan periode ulang T tahun.
5. Menghitung debit banjir rencana Berdasarkan hasil analisis curah hujan rencana pada periode ulang T tahun.

2.3 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu wilayah daratan dimana secara topografi dibatasi oleh punggung pegunungan yang dapat menampung dan menyimpan air hujan yang lalu disalurkan ke laut melalui sungai-sungai (Asdak, 2010). Wilayah daratan yang menampung air tersebut di dinamakan Daerah Tangkapan Air (*Catchment Area*). Daerah Tangkapan Air (DTA) tersebut menjadi ekosistem dengan berbagai sumber daya air seperti tanah, air, maupun vegetasi tumbuhan, manusia memanfaatkan DTA untuk memenuhi kebutuhannya. Pada Gambar 2.2 menunjukkan contoh ilustrasi bentuk DAS.



Gambar 2. 2. Ilustrasi Daerah Aliran Sungai (I Wayan Sutapa, 2006)

2.3.1 Analisis Curah Hujan Rencana

Untuk penentuan curah hujan yang tercatat dan didapat dari stasiun penakar hujan data yang didapatkan hanyalah curah hujan pada titik tertentu (*point rainfall*), sehingga diperlukan perhitungan untuk curah hujan areal. Beberapa metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan areal adalah metode Aritmatik, Thiesen dan Isohiet, dibedakan berdasarkan luasan DAS pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Kriteria Pemilihan Metode Perhitungan Curah Hujan

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

Sumber: Suripin, 2004

1. Metode Aritmatik

Metode Aritmatik dihitung dengan menjumlahkan tinggi curah hujan dari semua stasiun pengukuran pada periode tertentu lalu dibagi dengan jumlah stasiun pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 (SNI 2415, 2016). Metode ini menggunakan stasiun yang berada pada DAS maupun pos curah hujan yang mendekati DAS. Rumus:

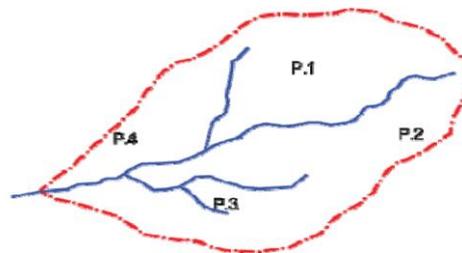
$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

\bar{P} = Tinggi curah hujan rata-rata (mm)

P_1, \dots, P_n = Tinggi curah hujan pada setiap pos curah hujan yang diamati (mm)

n = Jumlah banyaknya pos curah hujan



Gambar 2. 3. DAS Untuk Metode Artimatik (SNI 2415, 2016)

2. Metode Thiessen

Metode Aritmatik dihitung dengan membuat poligon setiap pos curah hujan pada wilayah DAS lalu tinggi curah hujan rata-rata dihitung berdasarkan hasil perkalian terhadap tiap-tiap luas poligon setiap pos curah hujan dan tinggi hujannya dibagi dengan total luas dari seluruh DAS seperti pada Gambar 2.4 (SNI 2415, 2016).

Rumus:

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

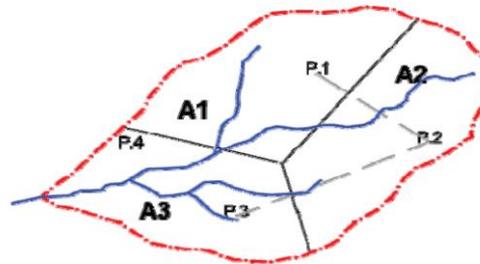
Keterangan:

\bar{P} = Tinggi curah hujan rata-rata (mm)

P_1, \dots, P_n = Tinggi curah hujan pada setiap pos curah hujan yang diamati (mm)

A_1, \dots, A_n = Luas yang dibatasi oleh garis poligon (km²)

A_{total} = Luas dari seluruh DAS (km²)



Gambar 2. 4. DAS Untuk Metode Thiessen (SNI 2415, 2016)

3. Metode Isohiet

Metode Isohiet ditentukan menggunakan garis kontur tinggi curah hujan pada suatu daerah dan untuk tinggi curah hujan rata-rata pada DAS dihitung Berdasarkan hasil perkalian tinggi curah hujan rata-rata diantara garis Isohiet dengan luas dari bagian kedua garis Isohiet tersebut, setelah itu dibagi dengan luas total seluruh DAS seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Rumus :

$$\bar{P} = \frac{A_1(P_1+P_2)/2 + A_2(P_2+P_3)/2 + \dots + A_n(P_n+P_{n+1})/2}{A_{total}} \dots (2.3)$$

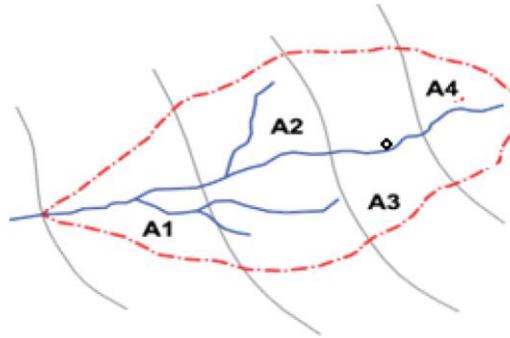
Keterangan:

\bar{P} = Tinggi curah hujan rata-rata (mm)

P_1, \dots, P_n = Tinggi curah hujan pada setiap pos curah hujan yang Berada di garis Isohiet (mm)

A_1, \dots, A_n = Luas yang dibatasi oleh garis Isohiet (km²)

A_{total} = Luas dari seluruh DAS (km²)



Gambar 2. 5. DAS Untuk Metode Isohiet (SNI 2415, 2016)

2.3.2 Pengisian Data Curah Hujan Hilang

Pos curah hujan adalah suatu alat yang terkadang mengalami eror atau gangguan dan tidak dapat bekerja dengan baik yang mana menyebabkan data curah hujan menghilang atau tidak terhitung. Pengisian data curah hujan adalah kebutuhan untuk melakukan analisis hidrologi dan untuk melakukan perhitungan debit banjir rencana. Pengisi data curah hujan ini diperlukan adanya korelasi yang sangat baik terhadap curah hujan maksimum dari pos curah hujan yang digunakan dengan pos curah hujan lainnya yang digunakan untuk melakukan pengisian data.

Menurut SNI 2415, 2016 pengisian data curah hujan yang hilang dilakukan dengan metode sebagai berikut:

1. Menentukan curah hujan rata rata dari pos curah hujan terdekat dengan pos curah hujan yang akan dilakukan pengisian data hilang.
2. Perhitungan faktor bobot didasarkan oleh nilai ratio hujan tahunan pos curah hujan yang dihitung dengan pos curah hujan lainnya dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

P_x = Tinggi curah hujan pada pos curah hujan yang hilang (mm)

$P_{a,b,c}$ = Tinggi curah hujan pada pos curah hujan a,b, dan c (mm)

n = Jumlah data curah hujan

A_x = Rata-rata tinggi curah hujan tahunan dari pos curah hujan yang dilakukan pengisian data (mm)

$A_{a,b,c}$ = Rata-rata tinggi curah hujan tahunan pada stasiun a,b, dan c (mm)

2.3.3 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi adalah suatu metode yang digunakan untuk mendapatkan probabilitas terhadap terjadinya curah hujan maupun debit banjir dan berfungsi sebagai dasar dalam perencanaan hidrologi untuk mengantisipasi kejadian banjir dan pembuatan bangunan air. Tujuan dari analisis frekuensi untuk mengetahui hubungan antara kejadian ektrim melalui frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas (Triatmodjo, 2009).

2.3.3.1 Parameter Statistik

Parameter statistik digunakan untuk menghitung analisis frekuensi. Parameter statistik yang digunakan dalam perhitungan hidrologi adalah Parameter nilai rata rata (\bar{X}), standar deviasi atau simpangan baku (Sd), koefisien kemiringan (Cs), koefisien Variasi (Cv), dan koefisien kurtosis (Ck) (SNI 2415, 2016).

Rumus:

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

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

2. Standar Deviasi (Sd)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.6)$$

3. Koefisien Variasi (Cv)

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \dots\dots\dots (2.7)$$

4. Koefisien Kemencengan (Cs)

$$C_s = \frac{n \sum(Xi-\bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.8)$$

5. Koefisien Ketajaman (Ck)

$$C_k = \frac{1/n \sum(Xi-\bar{X})^4}{1/n \sum((Xi-\bar{X})^2)^2} \cdot \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

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

X = Tinggi curah hujan maksimum (mm)

n = Jumlah data dari curah hujan maksimum

Sd = Standar deviasi dari curah hujan maksimum

Cv = Koefisien variasi dari curah hujan

- Cs = Koefisien kemencengan dari curah hujan
- Ck = Koefisien kurtosis dari curah hujan

2.3.3.2 Pemilihan Jenis Sebaran

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan hasil dari parameter statistik yaitu menentukan jenis sebaran Berdasarkan hasil dari parameter statistik yang dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Parameter Statistik Untuk Pemilihan Jenis Sebaran

Distribusi Frekuensi	Parameter Data Statistik	
	Skewness Koefisien (Cs)	Koefisien Kurtosis (Ck)
Distribusi Normal	$Cs \approx 0 \pm 0,3$	3
Distribusi Log Normal	$Cs \approx 3Cv + Cv^2 = 3$	5,383
Distribusi Log Pearson III	$Cs \neq 0$	$1,5Cs^2 + 3$
Distribusi Gumbel	$Cs \leq 1,14$	$Ck \leq 5,40$

Sumber: Triatmodjo, 2009

2.3.4 Pengujian Sebaran

Pengujian jenis sebaran dilakukan dengan menggunakan metode dari analisa curah hujan Harian Maksimum (HHM) sebagai berikut:

1. Metode Gumbel

Persamaan yang digunakan untuk perhitungan metode gumbel menggunakan perhitungan dari SNI 2415 (2016).

$$X_t = \bar{X} + \frac{S_d}{S_n} (Y_T - Y_n) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Hubungan terhadap periode ulang T dengan Yt dihitung menggunakan rumus:

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

$$Y_t = - \ln \left[- \ln \frac{T-1}{T} \right] \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

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

X_t = Tinggi nilai hujan rencana yang diukur mengguna T tahun

S_d = Standar deviasi dari curah hujan maksimum

Y_t = Reduksi variant (*reduced variant*) berdasarkan variabel yang kemungkinan terjadi pada periode ulang T tahun, nilai Y_t dapat dilihat pada Tabel 2.3

Y_n = Rata -rata nilai reduksi variant (*reduced mean*) yang dipengaruhi dari jumlah data yang digunakan (n), nilai Y_n dapat dilihat pada Tabel 2.4

S_n = Standar deviasi dari hasil standar deviasi (*reduced standard deviation*) nilai ini dipengaruhi dari jumlah data yang digunakan (n), nilai S_n dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2. 3 Nilai Reduce Variate (Y_t) untuk Metode Gumbel

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: SNI 2415, 2016

Tabel 2. 4 Nilai Reduce Mean (Y_n) Untuk Metode Gumbel

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: SNI 2415, 2016

Tabel 2. 5 Nilai Reduce Standard Deviation (S_n) Untuk Metode Gumbel

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: SNI 2415, 2016

2. Metode Log Pearson Tipe III

Parameter statistik yang digunakan untuk pengecekan distribusi metode Log Pearson Tipe III adalah sebagai berikut (SNI 2415, 2016):

- a. Data curah hujan maksimum tahunan sesuai dengan n tahun dan diubah dalam bentuk logaritma.

b. Lakukan perhitungan nilai rata-rata menggunakan rumus:

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots (2.13)$$

c. Lakukan perhitungan nilai dari simpangan baku (standar deviasi) menggunakan rumus:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.14)$$

d. Lakukan perhitungan nilai koefisien kemencengan menggunakan rumus:

$$C_s = \frac{n \sum (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.15)$$

e. Lakukan perhitungan nilai curah hujan rencana menggunakan periode ulang tertentu dengan menggunakan rumus:

$$X_t = \bar{X} + k.S \dots\dots\dots (2.16)$$

f. Lakukan perhitungan nilai koefisien kurtosis menggunakan rumus:

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \log(\bar{X})\}^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \dots\dots\dots (2.17)$$

g. Lakukan perhitungan nilai koefisien variasi menggunakan rumus:

$$Cv = \frac{S_d}{\log(\bar{X})} \dots\dots\dots (2.18)$$

h. Lakukan perhitungan nilai ekstrem menggunakan rumus:

$$\log X = i \log \bar{X} + G.S \dots\dots\dots (2.19)$$

i. Mencari nilai antilog dari log X untuk mendapatkan debit banjir rancangan.

Keterangan:

$\log \bar{X}$ = Tinggi nilai curah hujan logaritmik (mm)

X_i = Tinggi nilai curah hujan rata-rata tiap tahun (mm)

X_T = Tinggi nilai curah hujan rencana tiap T tahun (mm)

n = Jumlah data dari curah hujan maksimum

K = Harga yang didapat berdasarkan hasil C_s , dapat dilihat pada Tabel 2.6.

- Sd = Standar deviasi dari curah hujan maksimum
- Cv = Koefisien variasi dari curah hujan
- Cs = Koefisien kemencengan dari curah hujan
- Ck = Koefisien kurtosis dari curah hujan

Metode Log Pearson III jika digambarkan dalam kerta probabilitas logaritmik akan membuat persamaan garis lurus, sehingga model matematikanya adalah sebagai berikut (SNI 2415, 2016):

$$Y = \bar{Y} + K.S \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

- Y = Merupakan nilai logaritmik dari nilai X atau log X
- X = Tinggi curah hujan maksimum setiap tahun (mm)
- \bar{Y} = Merupakan nilai rata-rata dari nilai logaritmik Y
- K = Harga yang didapat berdasarkan hasil Cs, dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Harga K Sebaran Metode Log Pearson Tipe III

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
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	1,993	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

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
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	1,761	2,000	2,252	2,482	3,950
-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	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	0,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	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	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber: SNI 2415, 2016

3. Metode Distribusi Normal

Metode distribusi normal dapat digunakan untuk melakukan perhitungan untuk hujan dengan periode ulang sesuai dengan yang ditentukan. Perhitungan metode distribusi normal ditentukan dengan nilai variabel probabilitas kumulatif seperti Tabel 2.7. Rumus untuk mencari hujan dengan periode ulang metode distribusi normal adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_d \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

X_T = Tinggi nilai curah hujan pada periode ulang T (mm/hari)

\bar{X} = Tinggi nilai curah hujan rata-rata (mm/hari)

K_T = Nilai faktor probabilitas komulatif dari metode normal
 S_d = Nilai standar deviasi (simpangan baku)

Tabel 2. 7 *Probabilitas Komulatif Untuk Sebaran Metode Normal*

1	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
-3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
-3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
-3,1	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007
-3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
-2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-2,7	0,0036	0,0034	0,0033	0,0032	0,0030	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0094	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
-2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
-1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
-1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0722	0,0708	0,0694	0,0681
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
-1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,0	0,5000	0,50470	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549

1	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8505	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9278	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9541	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9891	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9896	0,9901	0,99004	0,99006	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Sumber: SNI 2415, 2016

4. Metode Distribusi Log Normal

Metode distribusi log normal memiliki kesamaan dengan metode normal namun menggunakan tabel perhitungan yang berbeda yaitu menggunakan variabel yang berbeda dan menggunakan nilai dari logaritma seperti Tabel 2.8. Rumus untuk mencari hujan dengan periode ulang T untuk metode sebaran log normal adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_d \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

X_T = Tinggi nilai curah hujan pada periode ulang T (mm/hari)

\bar{X} = Tinggi nilai curah hujan rata-rata (mm/hari)

K_T = Nilai faktor probabilitas dari nilai variabel standar untuk periode nilai T yang dapat dilihat pada Tabel 2.8

S_d = Nilai standar deviasi (simpangan baku)

Tabel 2. 8 Variabel Standar (K_t) Untuk Metode Log Normal

T (Tahun)	K_t	T (Tahun)	K_t	T (Tahun)	K_t
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

Sumber: SNI 2415, 2016

2.3.5 Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kecocokan distribusi ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana frekuensi dari data dengan fungsi jenis peluang yang dihitung sudah menggambarkan atau mewakili hasil dari distribusi frekuensi. Oleh karena itu diperlukan adanya pengujian kesesuaian parameter. Pengujian kesesuaian distribusi adalah sebagai berikut:

1. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-kolmogorov atau yang sering disebut dengan uji kecocokan non parametrik dikarenakan pengujian ini tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Berikut adalah prosedur pengujian Smirnov-Kolmogorov:

Rumus yang digunakan untuk pengujian Smirnov-Kolmogorov:

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P(x)} - \frac{P(x_i)}{\Delta_{cr}} \dots \dots \dots (2.22)$$

- a. Lakukan pengurutan data mulai dari yang besar hingga data yang kecil atau dilakukan sebaliknya dan tentukan besaran dari nilai masing-masing data tersebut:

$$X_1 \quad \rightarrow \quad P(X_1)$$

$$\begin{aligned} X_2 &\rightarrow P(X_2) \\ X_m &\rightarrow P(X_m) \\ X_n &\rightarrow P(X_n) \end{aligned}$$

- b. Tentukan masing-masing nilai dari peluang teoritis berdasarkan hasil penggambaran data atau persamaan distribusi:

$$\begin{aligned} X_1 &\rightarrow P'(X_1) \\ X_2 &\rightarrow P'(X_2) \\ X_m &\rightarrow P'(X_m) \\ X_n &\rightarrow P'(X_n) \end{aligned}$$

- c. Dari nilai kedua peluang tersebut, tentukan hasil selisih terbesar antara nilai peluang pengamatan dan nilai peluang teoritis.

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

- d. Tentukan harga D_0 berdasarkan dengan tabel kritis Smirnov-Kolmogorov yang dapat dilihat pada Tabel 2.9.
- e. Berdasarkan hasil D_0 jika $D < D_0$ maka hasil distribusi teoritis yang dipakai dapat diterima, apabila $D > D_0$ maka hasil distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.

Tabel 2. 9 Nilai D_0 Untuk Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorov

Jumlah data (n)	Derajat kepercayaan (α)			
	0,20	0,10	0,05	0,01
1	0.90	0.95	0.98	1.00
2	0.68	0.78	0.84	0.93
3	0.57	0.64	0.71	0.83
4	0.49	0.57	0.62	0.67
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24

Jumlah data (n)	Derajat kepercayaan (α)			
	0,20	0,10	0,05	0,01
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	1,07/n	1,22/n	1,36/n	1,63/n

Sumber: SNI 2415, 2016

2. Uji Chi-Kuadrat

Metode uji chi-kuadrat adalah metode yang digunakan untuk menentukan bagaimana persamaan distribusi peluang yang telah dipilih sudah mewakili data yang dianalisis. Metode pengambilan keputusan ini menggunakan parameter X^2 , berikut adalah rumus untuk mencari X^2 adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

X_h^2 = Harga Chi-Kuadrat Terhitung

G = Jumlah dari sub-kelompok

O_i = Nilai frekuensi yang terbaca pada sub kelompok i

E_i = Nilai frekuensi yang diharapkan pada sub kelompok i

Tahapan untuk melakukan uji Chi-Kuadrat berdasarkan SNI 2415, 2016 adalah sebagai berikut:

- Urutkan data hasil pengamatan.
- Dalam pembuatan sub kelompok diharapkan masing-masing data dapat terisi minimal 3 data pengamatan.
- Hitung derajat kebebasan (DK) sesuai dengan $= G - P - 1$ (nilai P adalah 2 untuk distribusi normal maupun binomial, untuk data yang menggunakan distribusi Poisson dan Gumbel gunakan nilai $P = 1$) (Modul Analisis Hidrologi dan Sedimentasi, 2018)
- Hitung n.
- Rumus nilai $E_i = \text{jumlah data (n)} / \text{jumlah kelas}$.
- Perhitungkan nilai O_i untuk masing-masing kelas.
- Jumlah dari G sub kelompok dengan rumus 2.24 untuk mendapatkan harga Chi-Kuadrat.

- h. Jika nilai $X_h^2 < X_h^2(\text{Critical})$ sesuai dengan Tabel 2.10 maka jenis distribusi dan data dapat diterima.

Tabel 2. 10 Nilai Kritis Untuk Pengujian Chi-Kuadrat

Dk	Derajat Kepercayaan							
	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	0.100	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	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.070	12.832	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.69	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.18	2.733	15.507	17.535	20.09	21.955
9	1.735	2.088	2.7	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.492	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.161	7.261	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	31.410	34.17	37.566	39.997
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.52	11.524	13.120	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.16	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892	53.672

Sumber: SNI 2415, 2016

2.3.6 Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan tinggi atau kedalaman air hujan dalam satuan waktu. Sifat umum dari hujan adalah dengan makin singkatnya hujan yang berlangsung maka intensitasnya akan cenderung tinggi dan makin besar periode ulangnya akan makin tinggi juga intensitasnya. Hubungan antara intensitas, durasi hujan dan frekuensi hujan dapat dinyatakan dalam lengkung Intensitas – Durasi – Frekuensi atau $IDF =$

Intensity – Duration – Frequency Curve. Untuk membentuk suatu lengkung IDF diperlukan data hujan dengan jangka pendek seperti 5 menit, 10 menit, 30 menit, hingga 60 menit maupun jam-jam dalam waktu singkat, sementara itu data hujan pendek ini hanya dapat diperoleh dengan jenis pos penakar hujan otomatis (Suripin, 2004).

Untuk mendapatkan debit banjir rencana untuk suatu Perencanaan bangunan air seperti drainase, pengendalian banjir yang mana waktu konsentrasinya singkat dan DAS yang dimiliki sangat kecil maka dapat digunakan metode rasional untuk mendapatkan debit banjir rencana (SNI 2415, 2016). Intensitas hujan adalah salah satu komponen penting dalam perhitungan debit banjir rencana.

Rumus intensitas hujan menurut mononobe (SNI 2415, 2016):

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

Keterangan:

- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- t = Durasi lamanya curah hujan (jam)
- R_{24} = Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

2.3.7 Debit Banjir Rencana

Metode yang umum digunakan untuk menghitung debit banjir rencana adalah sebagai berikut:

1. Metode Rasional

Metode ini digunakan untuk menghitung debit banjir rencana dengan curah hujan yang sederhana dan untuk saluran-saluran kecil terutama untuk daerah pengairan $\leq 50 \text{ km}^2$ (SNI 2415, 2016).

Rumus debit banjir rencana metode Rasional menurut SNI 2415, 2016 adalah sebagai berikut:

$$Q_p = 0.278 C.I.A \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan:

Q_p = Debit puncak banjir rencana (m^3/dtk)

C = Koefisien limpasan pada daerah aliran dapat dilihat pada Tabel 2.11

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah aliran sungai (km^2)

Tabel 2. 11 *Koefisien Limpasan Metode Rasional*

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

Sumber: SNI 2415, 2016

2. Metode Melchior

Menurut SNI 2415, 2016 Rumus Metode Melchior memiliki kesamaan dengan rumus metode lainnya yaitu, weduwen dan haspers namun dibedakan dengan beberapa syarat dan beberapa variabel. Berikut syarat untuk metode Melchior yaitu sebagai berikut:

- Luas daerah pengaliran untuk saluran sungai $> 100 km^2$
- Memiliki hujan dengan durasi < 24 jam

Rumus Debit Maksimum Banjir Rencana Metode Melchior

$$Q_{max} = \gamma \cdot \beta \cdot f \cdot q \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan:

Q_{max} = Debit maksimum banjir rencana (m^3/dtk)

γ = Koefisien aliran pada daerah aliran

β = Koefisien reduksi

f = Luas daerah aliran sungai (km^2)

q = Nilai hujan maksimum ($m^3/ km^2/dtk$)

- Koefisien aliran (γ) yang digunakan berkisar 0,42 hingga 0,62 namun disarankan menggunakan 0,52

- Koefisien reduksi (β) menggunakan rumus:

$$f = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3960 + 1720\beta \dots\dots\dots(2.28)$$

- Waktu konsentrasi dilakukan perhitungan dengan rumus:

$$t_k = \frac{1000L}{3600V} \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan:

t_k = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang daerah aliran (km)

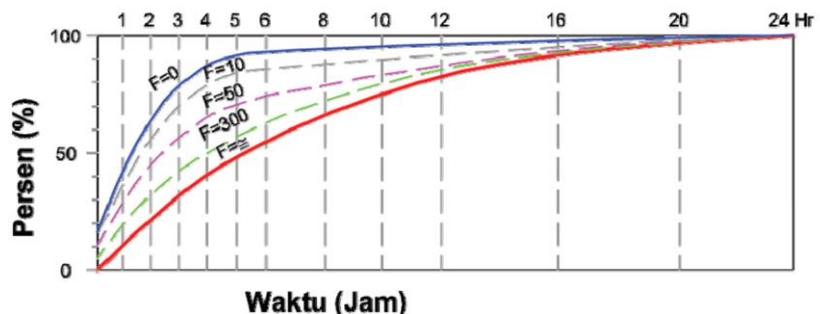
V = Kecepatan air rata-rata (km/dtk)

Dengan rumus:

$$V = 1.31 \sqrt[5]{\beta \cdot q \cdot f \cdot i^2} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$i = \frac{H}{0,9L} \dots\dots\dots(2.31)$$

- Hujan maksimum (q) dihitung melalui grafik hubungan presentase curah hujan terhadap t pada curah hujan harian terhadap luas DAS dan waktu seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Grafik Distribusi Hujan 24 Jam Metode Melchior (SNI 2415, 2016)

3. Metode Der Weduwen

Rumus debit maksimum banjir rencana metode Der Weduwen memiliki rumus yang sama dengan rumus 2.27 dengan syarat luas daerah pengaliran sekitar 50 hingga 100 km².

- Koefisien aliran (α) menggunakan persamaan:

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta \cdot q + 7} \dots\dots\dots (2.32)$$

- Koefisien reduksi (β) menggunakan persamaan:

$$\beta = \frac{120 + ((t+1)(t+9))A}{120 + A} \dots\dots\dots (2.33)$$

- Waktu konsentrasi (t_k) menggunakan persamaan:

$$t_k = 0,125 \cdot L \cdot Q^{-0,125} \cdot I^{-0,25} \dots\dots\dots (2.33)$$

- Hujan Maksimum (q) menggunakan persamaan:

$$q = \frac{67,65}{t+1,45} \dots\dots\dots (2.34)$$

Keterangan:

t_k = Waktu konsentrasi sekitar 1/6 hingga 12 jam

4. Metode Haspers

Rumus debit maksimum banjir rencana metode Haspers memiliki rumus yang sama dengan rumus 2.27 dengan syarat luas daerah pengaliran diatas 50 km².

- Koefisien aliran (α) menggunakan persamaan:

$$\alpha = \frac{1 + 0,012f^{0,7}}{1 + 0,75f^{0,7}} \dots\dots\dots (2.35)$$

- Koefisien reduksi (β) menggunakan persamaan:

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7 \times 10^{-0,4t}}{t^2 + 15} \cdot \frac{F^{3/4}}{12} \dots\dots\dots (2.36)$$

- Waktu konsentrasi (t_k) menggunakan persamaan:

$$t_k = 0,1 \cdot L^{0,8} \cdot i^{-0,3} \dots\dots\dots (2.37)$$

- Hujan maksimum (q) menggunakan persamaan:

$$q = \frac{Rt}{3,6t} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$Rt = \bar{R} + S_x \cdot Y \dots\dots\dots (2.39)$$

Jika $t < 2$ jam maka curah hujan periode t menggunakan rumus:

$$R_t = \frac{R}{t+1-0.0008*(260-R_{24})(2-t)^2} \dots\dots\dots(2.40)$$

Jika $2 \text{ jam} \leq t \leq 19 \text{ jam}$ maka curah hujan periode t menggunakan rumus:

$$R_t = \frac{tR_{24}}{t+1} \dots\dots\dots(2.41)$$

Jika $19 \text{ jam} \leq t \leq 30 \text{ hari}$ maka curah hujan periode t menggunakan rumus:

$$R_t = 0.707R_{24}\sqrt{t+1} \dots\dots\dots(2.42)$$

Keterangan:

t_k = Waktu konsentrasi (jam)

R_{24} = Tinggi curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

R_t = Tinggi curah hujan maksimum selama t jam (mm)

5. Metode FSR Jawa-Sumatra

Selain metode-metode tersebut FSR Jawa-Sumatra juga dapat menghitung debit banjir jika memiliki data banjir yang tercatat sehingga bisa menjadi data pembandingan untuk menghitung debit banjir rencana.

Rumus yang digunakan untuk mencari debit banjir rencana menggunakan metode FSR Jawa-Sumatera:

$$Q = GF \cdot MAF \dots\dots\dots(2.43)$$

$$MAF = 8 \cdot 10^{-6} \cdot (AREA)^V \cdot APBAR^{2.445} \cdot SIMS^{0.117} \cdot (1 + LAKE)^{-0.85} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$V = 1.02 - 0.0275 \log(AREA) \dots\dots\dots(2.45)$$

$$APBAR = PBAR \cdot ARF \dots\dots\dots(2.46)$$

$$SIMS = \frac{H}{MSL} \dots\dots\dots(2.47)$$

$$MSL = 0.95 L \dots\dots\dots(2.48)$$

$$LAKE = \frac{\text{Luas DAS di Hulu Bendung}}{\text{Luas DAS total}} \dots\dots\dots(2.49)$$

Keterangan:

Q = Debit banjir rencana (m^3/dt)

$AREA$ = Luas dari DAS daerah pengaliran (km^2)

$PBAR$ = Tinggi curah hujan masimum 24 jam (mm)

- ARF* = Faktor reduksi yang dapat dilihat pada Tabel 2.12
- GF* = *Growth Factor* yang dapat dilihat pada Tabel 2.13
- SIMS* = Indeks kemiringan daerah pengaliran
- H* = Beda tinggi antara hilir (titik penelitian) dengan hulu sungai.
- MSL* = Panjang daerah pengaliran hingga hulu sungai (km)
- L* = Panjang sungai yang diamati (km)
- LAKE* = Indeks
- MAF* = Rata-rata debit maksimum dari sungai yang diamati (m³/dt)

Tabel 2. 12 *Faktor Reduksi (ARF) Untuk Metode FSR Jawa-Sumatra*

DAS (km ²)	ARF
1 - 10	0,99
10 - 30	0,97
30 - 3000	$1,152 - 0,0123 \log_{10} \text{AREA}$

Sumber: Loebis, 1987

Tabel 2. 13 *Growth Factor (GF) Untuk Metode FSR Jawa-Sumatra*

Return Period T	Luas <i>CathmentArea</i> (km ²)					
	<180	300	600	900	1200	>1500
5	1.28	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17
10	1.56	1.54	1.48	1.49	1.47	1.37
20	1.88	1.84	1.75	1.70	1.64	1.59
50	2.35	2.30	2.18	2.10	2.03	1.95
100	2.78	2.72	2.57	2.47	2.37	2.27

Sumber: Loebis, 1987

2.3.8 Kala Ulang Untuk Bangunan Air

Perhitungan kala ulang untuk bangunan air adalah suatu yang penting setelah mendapatkan debit banjir rencana dengan berbagai macam kala ulang. Penggunaan kala ulang ini disesuaikan dengan kepentingan, umur dan masa pemeliharaan bangunan air seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Nilai Kala Ulang Untuk Tiap Banguna Air

Jenis Bangunan	Kala Ulang
Bendung sungai besar sekali	100
Bendung sungai sedang	50
Bendung sungai kecil	20
Tanggul sungai besar daerah penting	25
Tanggul sungai kecil daerah kurang penting	10
Jembatan jalan penting	25
Jembatan jalan tidak penting	10

Sumber: Srimoemi Doelchomid, 1987

2.4 Konsep Dasar Perhitungan Pada HEC-RAS

Sebelum melakukan perhitungan pada Aplikasi HEC-RAS jenis penampang yang digunakan pada saluran air atau sungai sudah ditentukan atau sudah dilakukan survei terlebih dahulu, lalu kemudian dilakukan perhitungan luas terhadap Penampang yang digunakan. Penampang aliran sungai dibagi menjadi beberapa bagian untuk mendukung fungsi saluran yang digunakan sebagai penghantar aliran. Pembagian penampang sungai dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan dengan nilai n (koefisien dari kekasaran Manning). Menurut Istriarto, 2014 rumus yang digunakan untuk menghitung persamaan Manning:

$$Q = KS^{1/2} \dots\dots\dots(2.50)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \dots\dots\dots(2.51)$$

Keterangan:

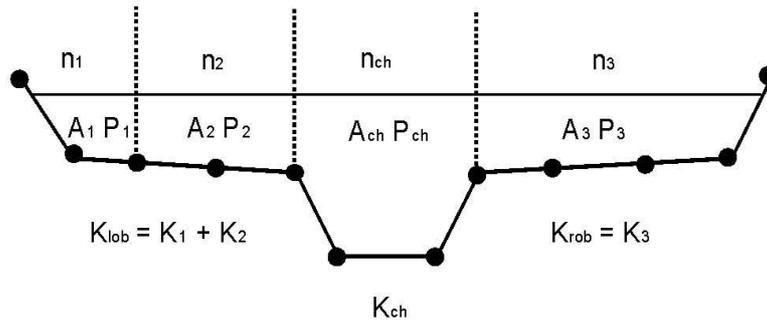
Q = Debit banjir pada saluran alir (m^3/dt)

K = Nilai pengantar untuk aliran pada unit

A = Luas permukaan Penampang saluran

R = Jari-jari dari hidrolika

Untuk mendapatkan nilai dari K bisa dilakukan dengan menggunakan kekasaran Manning yang didapatkan dari bagian penampang saluran, seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Contoh Penampang Saluran Air (Istiarto, 2014)

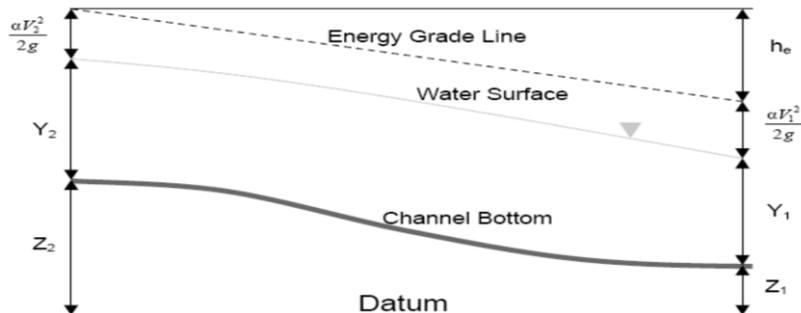
Setelah mengetahui hidrolika dari penampang sungai maka dapat dilakukan penginputan pada aplikasi *HEC-RAS*. Pada saat melakukan analisis di aplikasi *HEC-RAS* menggunakan dua jenis asumsi, yaitu menggunakan aliran tetap (*steady*) dan tidak tetap (*unsteady*). Aliran tetap adalah aliran yang tidak berubah kecepatannya (v) dalam waktu tertentu, sedangkan untuk aliran tidak tetap adalah aliran yang kecepatannya kecepatan berubah-ubah dalam waktu tertentu (Triatmodjo, 1993). Konsep dasar perhitungan untuk aliran tetap dan tidak tetap adalah dengan perhitungan persamaan energi seperti pada Gambar 2.8.

1. Persamaan Energi

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots \dots \dots (2.52)$$

Keterangan:

- Z_1, Z_2 = Elevasi dasar penampang saluran
- Y_1, Y_2 = Elavasi tinggi air pada dalam saluran
- V_1, V_2 = Kecepatan aliran pada penampang saluran
- α_1, α_2 = Koefisien kecepatan aliran
- h_e = Kehilangan energi pada aliran (*energy head loss*)



Gambar 2. 1. Persamaan Energi Pada Hidrolika (Triatmodjo, 2009)

Harga h_e dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1}{2g} \right| \dots\dots\dots(2.53)$$

Keterangan:

L = Jarak antara 2 penampang dasar saluran

S_f = Kemiringan aliran pada penampang saluran

C = Koefisien untuk kehilangan energi (penyempitan atau belokan)

2. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \sum Q_m - \sum Q_{out} \dots\dots\dots(2.54)$$

Terjadi perbedaan hasil dari aliran tetap dan tidak tetap. Pada aliran tetap, debit yang masuk pada saluran penampang akan memiliki debit yang sama saat keluar dari penampang, sedangkan pada aliran tidak tetap debit yang masuk pada saluran Penampang memiliki nilai debit yang berbeda pada saluran penampang.

3. Persamaan Momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots(2.55)$$

2.5 Stabilitas Pada Dinding Penahan Tanah

Stabilitas pada dinding penahan ini pada dasarnya menahan daripada gaya geser dan gaya momen. Analisis Stabilitas pada dinding penahan tanah dapat diperhatikan terhadap hal-hal sebagai berikut:

$$(F_{gl}) = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq F k \dots\dots\dots(2.60)$$

2.5.1 Stabilitas Keseluruhan Pada Tanah

Faktor keamanan untuk keseluruhan yang harus dihitung ketika ingin mendapatkan angka keamanan yang cukup untuk dinding penahan tanah. Untuk menghitung Perencanaan dinding penahan tanah dibutuhkan angka keamanan yang lebih dari angka keamanan minimum untuk memenuhi stabilitas keseluruhan pada dinding penahan tanah. Menurut

Hardiyatmo (2020) Faktor keamanan untuk stabilitas keseluruhan pada tanah adalah 1,5 untuk tanah granuler dan 2 untuk tanah kohesif.

2.5.2 Defleksi

Menurut SNI 03-2847 (2013) bahwa struktur beton yang mengalami lentur maupun momen harus dilakukan perencanaan sehingga struktur beton tersebut dapat memiliki kekuatan yang cukup dan dapat membatasi lendutan terhadap bangunan tersebut. Untuk mengurangi lendutan tersebut perlu diperhatikan terhadap defleksi yang terjadi, defleksi maksimum yang dibatasi oleh SNI 03-2847 adalah 1 inchi.

2.5.3 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas yang digunakan mengikuti Panduan Geoteknik 4 No.pt T-10-2002-B, 2018 yang dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2. 15 Tabel Beban Lalu Lintas Untuk Sistem Jaringan

Sistem Jaringan	Fungsi Jalan	LHR	Beban Lalu Lintas KN/m ²
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10.000	15
		<10.000	12
	Arteri	>20.000	15
<20.000		12	
Sekunder	Kolektor	>6.000	12
		<6.000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

Sumber: Panduan Geoteknik 4 No.pt T-10-2002-B, 2018

2.6 Studi Terhadapulu

1. Perencanaan Tanggul Banjir Sungai Lusi Hilir

Penelitian yang dilakukan oleh Rizka Arbaningrum, Jennifer Gerina Putri, Pranoto Sapto A, dan Dwi Kurnia terkait Perencanaan tanggul banjir pada sungai Lusi Hilir, banjir yang sering terjadi di sungai Lusi biasanya disebabkan oleh debit banjir yang besar sehingga menyebabkan banjir menggenang hingga 4-7 hari dan mengganggu aktivitas warga. Pada penelitian ini peneliti melakukan perencanaan tanggul untuk mengatasi banjir yang terjadi. Untuk mengetahui debit banjir rencana pada penelitian ini menggunakan analisis hidrologi dan dengan kapasitas DAS yang besar yaitu 2093.24 km² maka peneliti menggunakan 5 jenis perhitungan debit banjir yaitu Melchior, FSR Jawa-Sumatra, *Flood Marking*, *Passing Capacity* dan debit banjir yang digunakan adalah Q_{25} sebesar 900 m³/dtk diambil dari debit banjir Q_{25} metode FSR Jawa-Sumatra yaitu 892,018 m³/dtk. Setelah mendapatkan debit banjir rencana, peneliti melakukan analisis hidrolika menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dan dengan adanya tanggul banjir maka tinggi muka air banjir menurun sekitar 20 cm. Setelah itu peneliti melakukan analisis stabilitas tanah menggunakan perhitungan manual dan didapatkan bahwa tanggul beton dan parapet memenuhi persyaratan stabilitas terhadap geser dan guling.

2. Normalisasi Sungai Dolok Semarang – Demak Jawa Tengah

Penelitian yang dilakukan oleh Gezzy Tria Pitanggi, Intan Tri Lestari, Suseno Darsono dan Dwi Kurnia tentang normalisasi sungai Dolok Semarang – Demak, Jawa Tengah, banjir yang sering terjadi di kabupaten Demak dikarenakan tidak mampunya sungai Dolok dalam menampung debit banjir yang ada oleh karena itu diperlukan normalisasi terhadap sungai tersebut. Peneliti mendapatkan bahwa debit banjir rencana pada sungai Dolok pada kala ulang Q_{50} sebesar 216 m³/dtk yang didapatkan dari aplikasi *HEC-HMS*. Dari debit banjir tersebut peneliti melakukan analisis hidroloika pada aplikasi *HEC-RAS* dan ternyata sungai Dolok tidak dapat menampung dan diperlukan penampang sungai yang baru. Untuk penampang baru

dilakukan analisis hidrologi pada aplikasi *HEC-RAS* dan penampang tersebut dapat menampung debit banjir Q_{50} sehingga selanjutnya dilakukan analisis stabilitas dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah yang digunakan adalah jenis *Revetment* atau pelapis dinding sungai dengan tipe ganda. Hasil analisis dari aplikasi *Plaxis 2D* didapatkan bahwa nilai keamanan dari dinding penahan tanah ini adalah 4.866 dan sudah memenuhi syarat yaitu > 1.5 dan gaya geser yang terjadi pada dinding ini sebesar 33.07×10^{-3} m sudah memenuhi syarat yaitu $< 45 \times 10^{-3}$ m.

3. Studi Perencanaan Dinding Penahan Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Sungai Meduri Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah

Penelitian yang dilakukan oleh Ekhsan Zainuri, Heri Suprijanto, Dian Sisingih yang berjudul normalisasi Studi Perencanaan Dinding Penahan Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Sungai Meduri Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah, menjelaskan bahwa sungai Meduri di pekalongan sebagai salah satu masalah banjir yang harus Segera diatasi. Perencanaan normalisasi sungai pada sungai Meduri ini dilakukan dengan melakukan analisis hidrologi dengan menggunakan rumus debit banjir rencana yaitu HSS Nakayasu sehingga di dapatkan debit banjir pada kala ulang 25 tahunan Q_{25} adalah sebesar $258.807 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Setelah mendapatkan debit banjir rencana dilakukan analisis hidrolika menggunakan aplikasi *HEC-RAS* sehingga dihasilkan bawa tinggi limpasan air setinggi 2.2 m. Dengan adanya banjir setinggi 2.2 m maka direncanakan tanggul 7 m dan dilakukan analisis hidrolika dan terlihat bahwa tidak terjadi limpasan banjir. Setelah itu peneliti melakukan analisis stabilitas dinding penahan tanah menggunakan metode perhitungan manual dan didapatkan bahwa tanggul sudah memenuhi syarat stabilitas dari gaya geser maupun guling.

4. Kajian Penanganan Banjir Sungai Tuntang Di Desa Pulosari Kabupaten Demak

Penelitian yang dilakukan oleh Amylian Rizkiana Safitri, Alfiansyah Deviar, Suharyanto, Rudhi Yuniarto Adi menjelaskan bahwa sungai Tuntang menjadi salah satu penyebab banjir di daerah Demak sehingga peneliti melakukan penelitian ini untuk menangani banjir. Untuk mendapatkan debit banjir rencana yang digunakan untuk melakukan analisis hidrolika peneliti menggunakan analisis hidrologi dengan rumus rasional dan didapatkan Q_{25} sebesar $270.032 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Melalui aplikasi *HEC-RAS* analisis hidrolika yang dilakukan pada sungai Tuntang menunjukkan bahwa sungai Tuntang tidak dapat menampung debit banjir kala ulang 25 tahunan maka dilakukan perbaikan dengan membuat tanggul dengan tinggi jagaan 1 m dari muka air banjir. Tanggul yang direncanakan diterapkan ke aplikasi *Plaxis 2D* untuk melihat analisis stabilitas tanggul dan didapat *safety factor* sebesar 3.9343 yang mana sudah memenuhi syarat yaitu > 1.5 .

5. Studi Normalisasi Sungai Rejoso Di Kabupaten Pasuruan Dengan Menggunakan Metode *HEC-RAS*

Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Salman, Eko Noerhayati, dan Azizah Rokhmawati menjelaskan bahwa sungai Rejoso sering mengalami banjir oleh karena itu diperlukan normalisasi sungai sehingga tidak terjadinya banjir. Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode hidrologi yaitu metode Nakayasu untuk mengetahui debit banjir rencana kala ulang 10 tahunan yaitu sebesar Q_{10} $296.984 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Setelah mendapatkan debit banjir rencana dilakukan analisis hidrolika menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dan didapatkan bahwa tinggi limpasan setinggi 2.5 m sehingga diperlukan tanggul dengan tinggi lebih dari tinggi jagaan yaitu 0.8 dari muka air banjir. Setelah diberikan tanggul dan dianalisis hidrolika didapatkan bahwa sungai Rejoso tidak mengalami banjir.

