

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir merupakan suatu peristiwa alam dan ulah manusia yang menyebabkan air mengalir keluar dari batas normalnya pada sungai, danau, cekungan, atau laut dan menyebar ke daratan yang berada di sekitarnya. Peristiwa banjir sangat berpotensi membuat kerusakan lingkungan dan kecelakaan masyarakat. (Sugianto, Deli, Miswar, Rusdi, & Irham, 2022).

Penyebab dari peristiwa banjir adalah aktivitas antropogenik, seperti perluasan permukiman penduduk, pertumbuhan penduduk, penggunaan lahan, lahan terbuka yang tergantikan, dan hal tersebut berdampak pada siklus hidrologi dan ketersediaan air bersih. Banjir juga dapat terjadi juga akibat dari hujan yang terlalu lebat, peningkatan debit air sungai, kerusakan sistem pengendalian air, dan lain sebagainya (Sugianto, Deli, Miswar, Rusdi, & Irham, 2022).

Jenis-jenis banjir menurut Pusat Kritis Kesehatan Kemenkes RI (2018) terbagi lima jenis, seperti:

1. Banjir Lumpur

Banjir lumpur adalah banjir yang disebabkan oleh keluarnya lumpur dari dalam bumi sehingga memenuhi daratan. Lumpur yang keluar dari dalam bumi juga mengandung bahan dan gas kimia yang berbahaya untuk makhluk hidup

2. Banjir Bandang

Banjir bandang adalah kondisi banjir yang airnya membawa material lain seperti lumpur, kayu, timbunan rumah, dan dapat menghayutkan apapun sehingga merusak lingkungan yang dilewatinya. Banjir ini lebih berbahaya dari banjir air biasa, hal ini terjadi di daerah pegunungan yang rawan longsor akibat gundulnya hutan.

3. Banjir Air

Banjir air merupakan kondisi banjir yang paling sering ditemukan, banjir ini adalah kondisi tidak tertampungnya air dari sungai, danau, selokan sehingga air akan memenuhi daratan yang kering. Hal ini disebabkan oleh intensitas hujan yang besar sehingga sistem penampungan air tidak mampu lagi menahan air dan akan meluap.

4. Banjir Rob (Muka Air Laut Tinggi/Laut Pasang)

Banjir ini merupakan banjir yang terjadi pada wilayah permukiman yang dekat dengan pantai. Kondisi banjir ini disebabkan oleh air laut yang pasang dan mendorong air sungai sehingga memenuhi daratan di sekitar laut dan hulu sungai, hal ini disebabkan oleh alam dan perilaku buruk manusia yang merusak lingkungan.

5. Banjir Cileunang

Jenis banjir ini mirip dengan jenis banjir air, penyebab banjir ini adalah hujan yang sangat deras dengan debit air yang sangat besar sehingga air hujan memenuhi daratan akibat drainase yang tidak sanggup menampung air hujan yang deras.

Faktor penyebab banjir terbagi menjadi dua kategori menurut (Kodoatie & Sugiyanto, 2002), yaitu:

1. Banjir Yang Terjadi Secara Alami

a. Daya Tampung Sungai

Banjir ini terjadi karena adanya pengendapan sedimen yang terjadi akibat erosi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) ataupun erosi dari tanggul sungai dan sedimentasi sunga karena tidak adanya vegetasi penutup atau pemakaian lahan yang tidak tepat.

b. Daya Tampung Drainase

Drainase merupakan salah satu sistem yang dipakai untuk menampung air hujan sebelum dialirkan ke sungai atau anak sungai, tetapi banyak drainase dalam kota yang tidak efektif dalam menampung air hujan sehingga dapat menyebabkan air meluap ke daratan.

c. Erosi dan Sedimentasi

Erosi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) akan menyebabkan adanya pengurangan volume dari daya tampung penampang sungai. Sedimen yang mengendap akan menghambat aliran dan air akan meluap ke daratan.

d. Curah hujan

Indonesia merupakan negara yang berada di garis khatulistiwa dan menjadi negara tropis, sehingga memiliki dua musim (hujan dan panas). Ketika musim hujan tiba membuat intensitas curah hujan yang tinggi sehingga drainase tidak dapat menampung air hujan.

e. Geografi dan Fisiografi

Sungai terpengaruh dari geografi karena letaknya mempengaruhi banjir pada sungai dan fisiografi sungai seperti bentuk penampang, kemiringan DAS, kedalaman, material pada dasar sungai juga mempengaruhi banjir pada sungai.

2. Banjir Yang Terjadi Akibat Tindakan Manusia

a. Wilayah Kumuh

Wilayah yang kumuh di sekitar tepi sungai akan menahan aliran pada sungai dan membuat air akan meluap.

b. Sampah

Sampah pada sungai menjadi faktor yang sering terjadi pada sungai di perkotaan karena perilaku manusia yang sering membuang sampah pada sungai. Sampah akan menahan aliran sungai dan air akan meluap.

c. Perubahan Kondisi DAS

Aliran banjir pada perkotaan juga meningkat akibat dari perubahannya kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) seperti, pembangunan gedung dan perluasan kota yang membuat area kedap air meningkat, perubahan tata guna lahan yang tidak sesuai, pengembangan usaha pertanian yang tidak di tempat yang seharusnya dan lainnya.

d. Drainase Lahan

Perkembangan kota dan peningkatan tata guna lahan ataupun perubahan tata guna lahan di sekitar sungai membuat berkurangnya kemampuan sungai menahan debit air yang tinggi.

e. Kerusakan Bangunan Pengendali Banjir

Kerusakan terhadap bangunan pengendali banjir dapat memicu adanya banjir karena tidak efektif lagi kemampuannya untuk menahan tinggi muka air banjir, disebabkan oleh perawatan dan pemeliharaan yang kurang baik.

f. Perencanaan Sistem Pengendali Banjir yang Tidak Tepat

Sistem pengendali banjir bila direncanakan dengan tidak tepat dapat membuat banjir yang lebih besar akibat kesalahan perencanaan sistemnya karena tidak efektif untuk menahan dan menghentikan banjir.

g. Rusaknya Hutan

Rusaknya vegetasi alami akibat penggunaan lahan yang tidak tepat membuat area kedap air meningkat dan aliran resapan air berkurang sehingga meningkatnya masalah banjir.

2.2 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

Menurut (Narendra, et al., 2021), Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah yang digambarkan secara topografis dengan sistem aliran yang mengalir ke satu titik *outlet*. Daerah Aliran Sungai (DAS) menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Republik Indonesia Nomor 10/PRT/M/2015 merupakan sebuah wilayah yang berisi sungai, anak sungai, dan daratan yang berfungsi menampung, mengalirkan, dan menyimpan air hujan ke danau ataupun ke laut dengan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan dan di darat adalah pemisah topografis. Menurut (Martopo, 1994), DAS adalah daerah yang dibatasi topografi pemisah air yang terkeringkan oleh sungai sehingga segala aliran yang jatuh di daerah tersebut akan keluar dari saluran lepas tunggal atau biasa disebut Daerah Tangkapan Air (*Catchment Area*)

2.2.1 Topografi

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, topografi adalah kajian yang terperinci mengenai keadaan muka bumi pada suatu daerah atau pemetaan muka bumi pada daerah tertentu. Permukaan pada muka bumi atau topografi bumi berisi ketinggian yang dihitung dari permukaan laut atau disebut juga peta topografi. Peta ini digambarkan secara ukuran *planimetric* atau panjang dan lebar (koordinat X dan Y) dan relief atau ketinggian (koordinat Z). Peta topografi ini akan digunakan dalam pengolahan data untuk mengetahui batasan-batasan sungai.

2.2.2 Tutupan Lahan dan Koefisien Aliran

Menurut (Asdak, 2007), wujud fisik dari benda alam, sensor budaya, dan vegetasi suatu wilayah pada permukaan bumi adalah pengertian dari tutupan lahan. Tutupan lahan terbagi menjadi dua yaitu tutupan lahan bervegetasi dan tidak bervegetasi. Faktor yang mempengaruhi tutupan lahan terdapat dua jenis, yaitu alam dan manusia. Faktor alam merupakan kejadian perubahan iklim, topografi tanah, bencana alam, sedangkan faktor dari manusia adalah penggunaan tata guna lahan seperti pembuatan gedung, permukiman. Karakteristik Daerah Aliran Sungai sangat terpengaruh dari daerah resapan air pada tutupan lahan, bila tata guna lahan tidak tepat maka akan berpotensi menyebabkan banjir saat intensitas hujan tinggi, selain itu aliran permukaan sungai juga terpengaruh dari tutupan lahan.

Menurut (Syehan, 1990), Aliran permukaan merupakan limpasan suatu aliran yang tipis pada permukaan, dan akhirnya air tersebut berkumpul ke dalam suatu aliran sungai yang lebih rendah, namun jika debit sungai juga besar dan melampaui kapasitas sungai maka aliran permukaan tersebut akan berkumpul di sekitar sungai atau yang memiliki elevasi lebih rendah. Besarnya aliran permukaan

terpengaruh oleh topografi, luas dan bentuk DAS, serta tata guna lahan yang masing-masing memiliki koefisien aliran (C).

Koefisien aliran (C) adalah bilangan yang dapat menunjukkan besarnya hubungan aliran permukaan dengan curah hujan. Interval nilai koefisien lahan adalah 0-1, dengan arti nilai 0 menunjukkan air hujan terinfiltrasi sempurna ke dalam tanah, sedangkan nilai 1 menunjukkan air hujan tidak terinfiltrasi tetapi menjadi aliran permukaan. Untuk karakteristik Daerah Aliran Sungai yang baik adalah nilai koefisien aliran (C) mendekati 0, bila semakin buruk suatu DAS maka nilai koefisien aliran (C) mendekati 1. Laju infiltrasi tanah, atau persentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan merupakan faktor utama yang mempengaruhi nilai koefisien aliran (C) (Kodoatie & Sjarief, 2006).

Daerah Aliran Sungai memiliki berbagai macam tata guna lahan dengan koefisien (C) yang berbeda-beda, koefisien aliran dapat dihitung menggunakan rumus, berikut (Suripin, 2004):

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

Keterangan:

- C : Koefisien aliran permukaan
- n : Jumlah jenis tutupan lahan
- C_i : Koefisien aliran limpasan berdasarkan tutupan lahan i
- A_i : Luas daerah tutupan lahan i

Koefisien limpasan permukaan berdasarkan tutupan lahan dapat dilihat pada Lampiran 2. Pada Lampiran 2, nilai koefisien limpasan permukaan dinilai berdasarkan variabel tekstur tanah (infiltrasi), penggunaan lahan, dan kemiringan lereng. Dengan memperhatikan besar pengaruhnya dari setiap variabel tersebut dalam debit puncak dan luasan satuan lahan dan luasan DAS (Kodoatie & Sjarief, 2005).

2.3 Hidrologi

Menurut (Sugwinyo, 2021), Hidrologi merupakan ilmu yang mendalami pemahaman tentang keberadaan air di bumi seperti, sirkulasinya, penyebarannya, sifat fisik, sifat kimiawi, dan hubungannya dengan lingkungan serta pengaruhnya terhadap kehidupan. Ilmu hidrologi ini sangat berkaitan dengan matematika, fisika, statistika, meteorologi, oceanografi, meteorologi, geomorfologi, hidrolika dan ilmu lainnya, tetapi ilmu ini tidak sepenuhnya mengenai eksak namun juga membutuhkan prediksi, pendekatan ilmiah dan interpretasi. Hidrologi memiliki siklus, yaitu proses air lalui dari bumi ke atmosfer hingga kembali lagi ke bumi. Menurut (Sugwinyo, 2021) bahasan hidrologi memiliki empat parameter penting dalam siklus hidrologi, seperti:

1. Evaporasi dan Transpirasi

Evaporasi merupakan proses penguapan air yang terjadi dari permukaan air bebas seperti laut, danau, rawan dan sungai, sedangkan transpirasi merupakan penguapan air yang terjadi pada dedaunan atau tumbuhan. Kedua hal ini penting untuk memperhitungkan jumlah penguapan air dari tumbuhan atau waduk dan lainnya.

2. Hujan

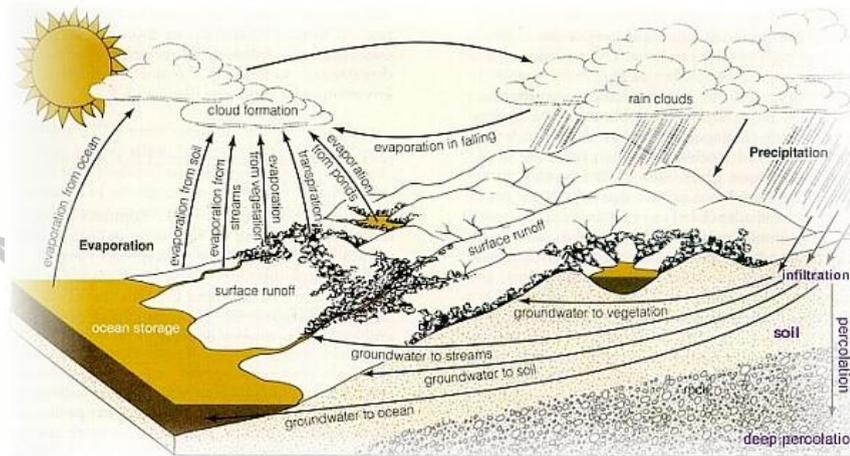
Bentuk presipitasi terpenting pada kawasan tropis adalah hujan. Presipitasi merupakan proses pembentukan hujan, salju, dan hujan batu yang berasal dari kumpulan awan yang sudah tidak mampu menampung air. Analisis hujan berguna untuk menentukan besaran debit banjir untuk sungai, drainase, waduk, pompa air dan lainnya, juga menentukan besaran kebutuhan air untuk tanaman beririgasi dan analisa debit andalan.

3. Debit Aliran Permukaan

Aliran air pada permukaan lahan yang mengalir masuk ke dalam drainase atau saluran pembuangan dan sungai disebut dengan aliran permukaan. Analisa debit aliran berguna untuk menentukan debit banjir rencana dan debit andalan (ketersediaan banjir) yang bisa diukur dengan mengetahui debit aliran dalam satuan volume per waktu.

4. Air Tanah

Air yang berada di dalam tanah merupakan air tawar yang dapat digunakan langsung untuk kebutuhan manusia. Air tanah terbagi menjadi dua klasifikasi, yaitu air tanah dalam (kedalaman lebih dari 30 m) dan air tanah dangkal (kurang dari 30 m).



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi (Syarifudin, 2017)

Dalam terus berkembangnya kota, jumlah penduduk dan industri, membuat kebutuhan air meningkat di masa yang akan datang, hal ini membuat peran hidrologi semakin penting dalam proses studi, desain dan operasional bangunan-bangunan air. Peran analisis hidrologi berguna untuk mencari dan mengetahui besaran debit banjir rencana, kala ulang banjir, volume air, debit andalan untuk daerah irigasi, dan lain sebagainya. Berikut ini adalah parameter-parameter analisis hidrologi:

2.3.1 Curah Hujan Wilayah

Curah hujan wilayah dibutuhkan dalam menentukan maksimum curah hujan rata-rata yang tercatat pada setiap stasiun hujan dan berperan penting dalam perhitungan debit banjir rencana. Diperlukan perhitungan curah hujan rata-rata pada setiap stasiun hujan yang terletak di sekitar DAS karena data yang tercatat hanya berada pada titik tertentu. Pada Tabel 2.1, terdapat 3 metode perhitungan untuk menentukan curah

hujan wilayah atau rerata curah hujan yang disesuaikan berdasarkan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) (Suripin, 2004):

Tabel 2.1 Metode Perhitungan Curah Hujan Wilayah

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

Sumber: (Suripin, 2004)

1. Metode Rata-rata Aljabar (Aritmatik)

Metode ini dilakukan dengan cara menambahkan seluruh tinggi curah hujan dari setiap stasiun pengukuran hujan pada periode tertentu lalu dibagi dengan jumlah stasiun pengukuran hujan, dapat dilihat pada Gambar 2.2. Metode ini digunakan pada stasiun hujan yang banyak dan sifat hujannya merata, serta berada pada daerah yang datar, berikut ini adalah persamaan rumus metode aritmatik (SNI 2415, 2016):

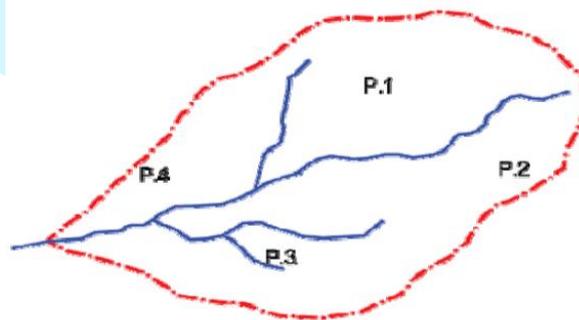
$$\bar{p} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad (2.2)$$

Keterangan:

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

P_1, \dots, P_n : Tinggi hujan pada setiap stasiun hujan

n : Jumlah Stasiun Hujan



Gambar 2.2 Hujan Rata-rata DAS dalam Metode Aritmatik (SNI 2415, 2016)

2. Metode Thiessen

Dalam metode Thiessen perhitungan dilakukan dengan cara membuat poligon antar stasiun hujan pada suatu Daerah Aliran

Sungai (DAS). Perhitungan tinggi curah hujan rata-rata wilayah dari hasil jumlah perkalian tiap luas poligon dan tinggi hujan lalu dibagi dengan luas seluruh DAS, dapat dilihat pada Gambar 2.3. Metode ini baik digunakan untuk menentukan tinggi hujan rata-rata pada stasiun hujan yang tidak merata, berikut adalah persamaan rumus metode Thiessen (SNI 2415, 2016):

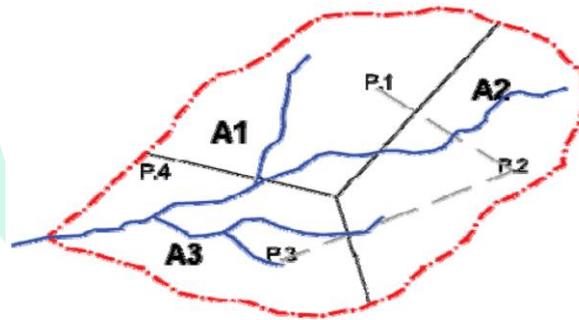
$$\bar{p} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_{total}} \quad (2.3)$$

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



Gambar 2.3 Hujan Rata-rata DAS dalam Metode Thiessen (SNI 2415, 2016)

3. Metode Isohyet

Metode ini cocok pada daerah dataran tinggi atau pegunungan dan perbukitan. Metode ini dilakukan perhitungan dengan cara menggunakan garis kontur pada peta untuk tinggi hujan di suatu daerah dan tinggi hujan rata-rata DAS, perhitungannya adalah jumlah perkalian tinggi hujan rata-rata pada garis isohyet dengan luas wilayah antara kedua garis isohyet tersebut, lalu total jumlah tadi dibagi dengan luas total seluruh DAS, dapat dilihat pada Gambar 2.4, berikut ini adalah rumus persamaan metode isohyet (SNI 2415, 2016):

$$\bar{p} = \frac{\frac{A_1(P_1 + P_2)}{2} + \frac{A_2(P_2 + P_3)}{2} + \dots + \frac{A_n(P_n + P_{n+1})}{2}}{A_{total}} \quad (2.4)$$

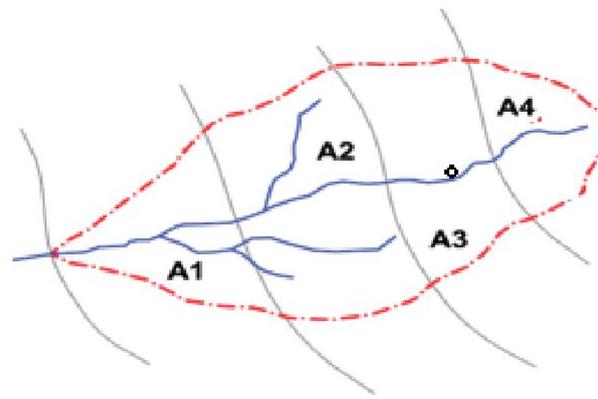
Keterangan:

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

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

$A_1 \dots A_n$: Luas yang dibatasi oleh 2 garis isohiet (km²)

A_{total} : Luas total DAS (km²)



Gambar 2.4 Hujan Rata-rata DAS dalam Metode Isohyet (SNI 2415, 2016)

2.3.2 Data Curah Hujan yang Hilang

Dalam perhitungan analisis hidrologi diperlukan data hujan bertahun-tahun dalam menemukan perencanaan yang tepat dan akurat, data yang semakin banyak dan lengkap, maka akan semakin tepat. Dalam mengetahui sifat atau distribusi dari hujan yang turun pada suatu DAS, dilaksanakan pencatatan data curah hujan di beberapa titik pos atau stasiun hujan, tetapi pencatatan pada beberapa titik stasiun masih memiliki data yang hilang. Data curah hujan yang hilang dapat disebabkan tidak optimal atau rusaknya alat pencatat curah hujan dan kelalaian petugas pencatat curah hujan. Berikut ini adalah cara pengisian data curah hujan dengan dilakukannya metode pendekatan (SNI 2415:2016):

1. Mengisi data hujan yang hilang dengan cara mengambil data curah hujan rata-rata dari stasiun curah hujan terdekat dengan stasiun yang hilang datanya.
2. Melaksanakan analisis regresi pada stasiun hujan terdekat atau transposing dari karakteristik data yang dimiliki
3. Perhitungan faktor bobot yang berdasarkan nilai rasio hujan tahunan, berikut adalah persamaan yang digunakan

$$P_x = \frac{1}{n} \left[P_a \frac{A_{nx}}{A_{na}} + P_b \frac{A_{nx}}{A_{nb}} + \dots + P_n \frac{A_{nx}}{A_{nn}} \right] \quad (2.5)$$

Keterangan:

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

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

n : Jumlah data hujan

A_x : Tinggi curah hujan rata rata dalam tahunan dari stasiun hujan yang datanya tidak lengkap (mm)

$A_{a,b,c}$: Tinggi curah hujan rata-rata tahunan dari stasiun hujan a, b, dan c (km²)

2.3.3 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi ini merupakan cara yang dipakai dalam menentukan probabilitas terjadinya debit banjir atau pun curah hujan yang merupakan perhitungan dasar dalam perencanaan hidrologi untuk mencegah terjadinya bencana banjir serta dapat berfungsi untuk perhitungan pembuatan bangunan air. Mendalami relasi antara frekuensi kejadian dengan peristiwa ekstrim untuk distribusi probabilitas, berikut ini tahapan-tahapan didalam analisis frekuensi (Triatmodjo, 2008):

1. Penentuan Parameter Statistik Hujan

Langkah pertama dalam analisis frekuensi adalah penentuan parameter statistik hujan yang terdiri dari lima parameter, yaitu nilai rata-rata, standar deviasi, koefisien kemiringan, koefisien variasi, dan koefisien kurtosis (SNI 2415, 2016)

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

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.6)$$

2. Standar Deviasi (S_d)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.7)$$

3. Koefisien Variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \quad (2.8)$$

4. Koefisien Kemencengan/Skewness (C_s)

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

5. Koefisien Ketajaman/Kurtosis (C_k)

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

Keterangan:

\bar{X} : Nilai tinggi rata-rata curah hujan (mm)

X_i : Nilai curah hujan maksimum (mm)

n : Jumlah data hujan

S_d : Standar deviasi curah hujan

C_v : Koefisien variasi curah hujan

C_s : Koefisien kemencengan curah hujan

C_k : Koefisien kurtosis curah hujan

2. Pemilihan Jenis Distribusi

Langkah berikutnya sesudah menentukan hasil dari parameter statistik dilakukannya pemilihan jenis distribusi atau sebaran, pemilihan dengan membandingkan hasil perhitungan parameter dengan persyaratan yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 (SNI 2415, 2016)

Tabel 2.2 *Persyaratan Parameter Statistik Untuk Jenis Distribusi*

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

Sumber: SNI 2415, 2016

3. Pengujian Jenis Distribusi

Metode analisa curah Hujan Harian Maksimum (HHM) digunakan untuk langkah pengujian jenis distribusi atau sebaran, adalah sebagai berikut (SNI 2415, 2016):

A. Metode Normal

Metode ini dapat digunakan untuk menentukan perhitungan hujan dengan periode ulang yang dipilih berdasarkan nilai variabel probabilitas kumulatif yang dapat dilihat pada lampiran 3. Rumus persamaan yang digunakan untuk menghitung curah hujan periode ulang berdasarkan metode sebaran normal adalah berikut (SNI 2415, 2016):

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_d \quad (2.11)$$

Keterangan:

X_T : Nilai tinggi curah hujan periode ulang (mm/hari)

- \bar{X} : Nilai tinggi hujan maksimum rata-rata (mm/hari)
- K_T : Faktor probabilitas kumulatif dari metode normal, dapat dilihat pada Lampiran 3.
- S_d : Standar deviasi (simpangan baku).

B. Metode Gumbel

Dalam menentukan perhitungan data maksimum frekuensi banjir atau hujan rencana tertentu, berikut ini adalah persamaan metode gumbel (SNI 2415, 2016):

$$X_T = \bar{X} + \frac{S_d}{S_n} (Y_T - Y_n) \quad (2.12)$$

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

Hubungan antara 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 : Nilai curah hujan rencana berdasarkan T tahun

\bar{X} : Nilai tinggi curah hujan rata-rata (mm/hari)

S_d : Standar deviasi (simpangan baku).

Y_T : Nilai reduksi variat (*reduced variate*) pada periode ulang T tahun, nilai ini dapat dilihat pada Lampiran 4.

Y_n : Nilai reduksi rata-rata variat (*reduced mean*) yang terpengaruh oleh jumlah data yang dipakai, nilai ini dapat dilihat pada Lampiran 4.

S_n : Standar deviasi yang merupakan hasil standar deviasi (*reduced standard deviation*), nilai ini juga

terpengaruh oleh data yang dipakai, nilai ini dapat dilihat pada Lampiran 4.

C. Metode Log Normal

Metode ini merupakan metode yang sama dengan metode distribusi normal, tetapi menggunakan variabel probabilitas kumulatif dengan perhitungan logaritma yang dapat dilihat pada Lampiran 5. Berikut adalah persamaan perhitungan hujan rencana periode T tahun untuk metode log normal (SNI 2415, 2016):

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_d \quad (2.15)$$

Keterangan:

X_T : Nilai tinggi curah hujan periode ulang (mm/hari)

\bar{X} : Nilai tinggi hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

K_T : Faktor probabilitas kumulatif dari variabel standar pada metode log normal untuk periode T tahun yang dapat dilihat pada Lampiran 5.

S_d : Standar deviasi (simpangan baku).

D. Metode Log Pearson III

Metode ini merupakan metode pearson II dengan meganti variat menjadi variabel logaritma. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan perhitungan hujan rencana untuk metode log pearson III (SNI 2415, 2016):

1. Data curah hujan harian maksimum tahunan sesuai periode n tahun diganti dengan bentuk variabel logaritma.
2. Menghitung persamaan harga rata-rata:

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log} X_i}{n} \quad (2.16)$$

3. Menghitung nilai untuk simpangan baku atau standar deviasi (S_d):

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.17)$$

4. Menghitung nilai koefisien kemencengan (C_s):

$$C_s = \frac{n \sum (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.18)$$

5. Menghitung nilai curah hujan rencana dengan rumus:

$$X_t = \bar{X} + K_T \cdot S_d \quad (2.19)$$

6. Menghitung nilai koefisien kurtosis (C_k):

$$C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \log \bar{X}\}^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (2.20)$$

7. Menghitung nilai koefisien variasi (C_v):

$$C_v = \frac{S_d}{\log(\bar{X})} \quad (2.21)$$

8. Menghitung nilai ekstrem:

$$\log X = \log \bar{X} + K_T \cdot S_d \quad (2.22)$$

9. Mencari nilai antilog dari $\log X$ untuk menentukan debit banjir rencana yang diinginkan

Keterangan:

X_T : Nilai tinggi curah hujan periode ulang T tahun (mm/hari)

$\log \bar{X}$: Nilai tinggi curah hujan logaritmik (mm)

X_i : Nilai curah hujan rata-rata setiap tahun (mm)

n : Jumlah data hujan

S_d : Standar deviasi curah hujan

C_v : Koefisien variasi curah hujan

C_s : Koefisien kemencengan curah hujan

C_k : Koefisien kurtosis curah hujan (mm/hari)

K_T : Faktor probabilitas kumulatif dari variabel standar pada metode log normal untuk periode T tahun yang dapat dilihat pada Lampiran 5.

4. Uji Kecocokan Sebaran

Dalam mengetahui frekuensi dari data probabilitas sebaran dengan metode curah hujan rencana yang didapatkan, diperlukannya uji kecocokan sebaran dalam pengecekan parameter verifikasi. Pengujian kecocokan sebaran adalah sebagai berikut:

A. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan sebaran ini biasa disebut sebagai uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), alasannya karena pengujian ini tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Persamaan untuk pengujian Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut (SNI 2415, 2016):

$$a = \frac{P_{max}}{P(x)} - \frac{P(x_i)}{\Delta_{cr}} \quad (2.23)$$

Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian Smirnov-Kolmogorov:

1. Data pengamatan diurutkan dari yang terkecil ke yang terbesar atau sebaliknya, dan tentukan hasil dari nilai setiap data tersebut:

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

2. Menentukan nilai peluang teoritis dari masing-masing data (persamaan distribusinya):

$$X_1 \rightarrow P'(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P'(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P'(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$

3. Hasil dari kedua nilai tersebut lalu menentukan selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P(X_m) - P'(X_m)] \quad (2.24)$$

4. Menentukan nilai D_0 berdasarkan dengan Lampiran 6, nilai kritis untuk Smirnov-Kolmogorov yang dapat dilihat pada Lampiran 6. Jika nilai $D < D_0$ dapat diartikan hasil distribusi teoritis dapat diterima, namun sebaliknya tidak dapat diterima.

B. Uji Chi-Kuadrat

Uji kecocokan sebaran ini digunakan dalam pengecekan persamaan distribusi yang dipilih sudah sesuai untuk mewakili data yang dianalisis. Berikut ini adalah persamaan untuk pengujian Chi-Kuadrat (SNI 2415, 2016):

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.25)$$

Keterangan:

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

X_h^2 : Nilai Chi-Kuadrat Terhitung

Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian Chi-Kuadrat:

1. Data hasil pengamatan diurutkan dari yang terkecil ke yang terbesar atau sebaliknya
2. Mengelompokkan data menjadi beberapa kelompok (G) yang minimal terdiri dari tiga buah data.

3. Menghitung nilai derajat kebebasan $(Dk)=G-P-1$ (untuk distribusi pearson dan gumbel nilai $P=1$, dan nilai $P=2$ untuk distribusi normal dan binomial)
4. Menghitung nilai n
5. Menentukan nilai $E_i = \text{jumlah data } (n) / \text{jumlah kelas atau kelompok } (G)$
6. Menentukan nilai O_i pada masing-masing kelompok
7. Melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai Chi-Kuadrat dengan rumus (2.25). Jika nilai $X_h^2 < X_h^2$ (kritis) sesuai dengan Lampiran 6. maka hasil jenis distribusi dan data dapat diterima.

2.3.4 Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan banyaknya hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Intensitas hujan bergantung pada lamanya curah hujan serta frekuensi kejadiannya. Hubungan dari intensitas, lamanya hujan dan frekuensi kejadian hujan dikaji dalam lengkung Intensitas (*Intensity*) – Durasi (*Duration*) – Frekuensi (*Frequency*) atau bisa disebut lengkung IDF. Dalam menentukan lengkung IDF dibutuhkan data hujan jangka pendek seperti 5, 10, 30 menit dan data jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. (Suripin, 2004)

Intensitas curah hujan dapat dihitung dengan beberapa persamaan, salah satunya persamaan Mononobe, berikut ini adalah persamaan intensitas menurut Mononobe (SNI 2415, 2016):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[\frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.26)$$

Keterangan:

I : Intensitas curah hujan (mm/jam)

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

t : Durasi curah hujan (jam)

Curah hujan efektif dicari karena ini merupakan bagian total hujan yang menghasilkan limpasan secara langsung (*direct runoff*). Persamaan untuk perhitungan curah hujan efektif (SNI 2415, 2016):

$$R_e = R_t \cdot R_{24} \cdot C \quad (2.27)$$

$$R_t = t \cdot I_t - (t - 1)(I_{t-1}) \quad (2.28)$$

Keterangan:

R_e : Curah hujan efektif

R_t : Rasio distribusi hujan (%)

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

C : Koefisien pengaliran permukaan

2.3.5 Debit Banjir dengan Aplikasi EPA SWMM

Analisis debit banjir merupakan hal perencanaan banjir rencana berdasarkan hujan rencana yang turun pada Daerah Aliran Sungai (DAS). Analisis debit banjir kali ini menggunakan perangkat lunak EPA SWMM (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*), karena perangkat ini dapat memodelkan analisis hidrologi dengan hasil debit aliran pada DAS tertentu. EPA SWMM membutuhkan kalibrasi model untuk mengetahui parameter yang digunakan dapat diterapkan pada kondisi rencana, berikut ini adalah kalibrasi model terhadap hasil debit puncak (Ariwibowo, Suripin, & Atmojo, 2017):

A. *Root Mean Squared Error* (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (2.29)$$

B. *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2.30)$$

Keterangan:

- O_i : Debit yang diamati ($m^3/detik$)
 S_i : Hasil simulasi debit ($m^3/detik$)
 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, 2021)

Salah satu cara untuk menemukan debit banjir rencana adalah menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) yang juga dijadikan dasar persamaan dalam menggunakan aplikasi EPA SWMM namun masih banyak metode lain, seperti Rasional, Melchior, Weduwen, Haspers, FSR Jawa-Sumatra, *Flood Marking*.

HSS yang digunakan dalam penelitian ini adalah HSS Nakayasu. Dalam metode HSS Nakayasu dibutuhkan beberapa parameter yang mempengaruhi debit banjir, yaitu luas daerah aliran sungai, panjang sungai, koefisien aliran dan curah hujan maksimum dalam 24 jam. Berikut ini adalah persamaan rumus Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu (Hadisusanto, 2011):

$$Q_p = \frac{c \cdot A \cdot R_{24}}{3,6 (0,3T_p + T_{0,3})} \quad (2.31)$$

$$Q_{base\ flow} = 0,5 Q_p \quad (2.32)$$

Keterangan:

- Q_p : Debit puncak banjir ($m^3/detik$)
 C : Koefisien pengaliran permukaan
 A : Luas daerah tangkapan atau DAS hingga *outlet* (km^2)
 R_{24} : Curah Hujan Maksimum dalam 24 jam (mm)

T_p : Tenggang waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (jam)

$T_{0,30}$: Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali atau 30% debit puncak banjir (jam)

Selanjutnya perhitungan tenggang waktu dari permulaan hujan hingga puncak banjir T_p , persamaan perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

$$T_p = T_g + 0,80 T_r \quad (2.33)$$

Keterangan:

T_g : Waktu konsentrasi (jam)

: untuk $L > 15$ km nilai $T_g = 0,4 + 0,058L$

: untuk $L < 15$ km nilai $T_g = 0,21L^{0,70}$

T_r : Waktu hujan efektif (jam)

: $0,5T_g$ sampai $1T_g$

Waktu yang diperlukan dalam penurunan debit $T_{0,30}$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_{0,30} = \alpha \cdot T_g \quad (2.34)$$

Keterangan:

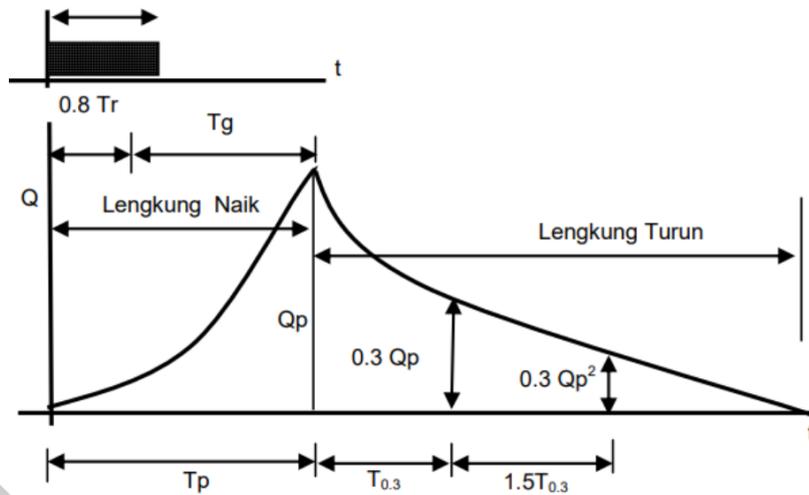
α : Faktor Koefisien berdasarkan bentuk hidrograf banjir pada DAS

: untuk nilai DAS aliran biasa = 2

: pada bagian hidrograf naik lambat dan turun cepat = 1,5

: pada bagian hidrograf naik cepat dan turun lambat = 3,0

Contoh hubungan antara waktu dengan debit puncak pada hidrograf Nakayasu yang dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Grafik Model Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Kamiana, 2011)

Dalam memperhitungkan debit tiap jam pada hidrograf, perlu diperhatikan posisi waktu pada saat waktu atau jam terjadinya banjir. Berikut adalah penjelasannya:

- a. Bagian kurva naik atau *rising limb* ($0 < t < T_p = 3,33$)

$$UH = Qp \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.35)$$

- b. Bagian kurva turun atau *decreasing limb* ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$UH = Qp \times 0,3 \frac{t-T_p}{T_{0,3}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.36)$$

- c. Bagian kurva turun atau *decreasing limb* ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$UH = Qp \times 0,3 \frac{(t-T_p) + (0,5 \times T_{0,3})}{1,5 \times T_{0,3}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.37)$$

- d. Bagian kurva turun atau *decreasing limb* ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$UH = Qp \times 0,3 \frac{(t-T_p) + (1,5 \times T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.38)$$

Dalam perhitungan total untuk debit banjir akibat distribusi hujan dapat dihitung dalam persamaan berikut:

$$Q_{tot} = U_1.R_{ei} + U_2.R_{ei1} + U_3.R_{ei3} + U_n.R_{ei(n-1)} + Q_b \quad (2.39)$$

Keterangan:

Q_{tot} : Debit banjir total per jam untuk periode ulang R tahun ($m^3/detik$)

U_a : Ordinat unit HSS; Q_r ; Q_r ; Q_t ($m^3/detik$)

R_{ei} : Hujan efektif pada distribusi hujan (mm)

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

2.3.6 Kala Ulang Untuk Bangunan Air

Setelah menentukan debit banjir rencana pada DAS dengan menggunakan kala ulang, dibutuhkan pula perhitungan kala ulang untuk bangunan. Kala ulang yang digunakan untuk kolam retensi berdasarkan luas daerah pengaliran (*catchment area*), dan tipologi kota yang akan direncanakan dengan perhitungan curah hujan minimal 10 tahun berurutan yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Kementerian PUPR, 2020):

Tabel 2.4 Nilai Kala Ulang Kolam Retensi Berdasarkan Tipologi Kota dan Luas DAS

Jenis Bangunan	Catchment Area (Ha)			
	<10	10-100	100-500	>500
Kota Metropolitan	2 Tahun	2-5 Tahun	5-10 Tahun	10-25 Tahun
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: (Kementerian PUPR, 2020)

2.4 Kolam Retensi

Kolam retensi dapat didefinisikan sebagai pengendali banjir yang dibuat untuk menampung air sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya banjir dengan menggunakan infiltrasi sebagai pembuangan utama. Dalam pembuatan desain kolam retensi, pertama-tama perlu dipastikan bahwa

lokasi sudah sesuai dengan kriteria, harus dipastikan bahwa terdapat ruang yang cukup untuk pembuatan kolam retensi. Selain itu, dibutuhkan kapasitas resapan dari setiap lokasi serta analisis material permukaan cekungan, material bawah permukaan, luas dasar, kedalaman, serta perlu juga dilakukan pertimbangan peristiwa terjadinya badai yang dapat menyebabkan air yang melebihi kapasitas kolam retensi. Selain itu, terdapat beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan, yaitu biaya pembuatan, biaya operasi, serta biaya pemeliharaan. (Travis & Mays, 2008).

Bukan hanya menampung air, kolam retensi dapat berfungsi meningkatkan kualitas air, yaitu dengan proses-proses alami seperti sedimentasi yang menghilangkan padatan tersuspensi dan bakteri serta mereduksi logam, dekomposisi, disinfeksi matahari, dan penyaringan tanah. Selain meningkatkan kualitas air, kolam retensi juga dapat dimanfaatkan sebagai tempat pengembangan habitat baru, dimana partikel yang mengendap pada kolam retensi dapat digunakan atau dikembangbiakkan secara biologis, dapat juga dimanfaatkan sebagai irigasi pada pertanian, dan masih banyak lagi. (Mallin, Ensign, Wheeler, & Mayes, 2002).

Menurut (Kementrian PUPR, 2020), kolam retensi memiliki beberapa macam jenis, seperti berikut:

1. Kolam Retensi di Dalam Badan Sungai



Gambar 2.6 Kolam Retensi di Dalam Badan Sungai (Kementrian PUPR, 2020)

Pada Gambar 2.6, kolam retensi yang terdapat di dalam sungai mempunyai beberapa bagian, seperti tanggung keliling, pintu outlet, *bending*, kolam sedimen, serta saringan sampah. Penggunaan kolam retensi yang terdapat di dalam badan sungai biasanya apabila tidak terdapat lahan yang dapat

dimanfaatkan sebagai kolam retensi, namun pada dasarnya kapasitas dari kolam sangat terbatas, tergantung lokasi yang digunakan, selain itu dalam proses pelaksanaannya terhitung cukup rumit dan dalam proses pemeliharannya dibutuhkan biaya yang mahal dibandingkan dengan jenis yang lain.

2. Kolam Retensi Tipe di Samping Badan Sungai



Gambar 2.7 Kolam Retensi di Samping Badan Sungai (Kementrian PUPR, 2020)

Pada Gambar 2.7, kolam retensi yang berada di samping badan sungai mempunyai beberapa bagian, seperti pintu inlet dan outlet, akses jalan ke kolam retensi, bangunan yang berfungsi untuk pelimpah samping, ambang rendah di depan pintu *outlet*, serta saringan sampah dan kolam ikan. Kolam retensi ini biasa digunakan apabila didapatkan lahan yang cocok. Penelitian ini menggunakan kolam retensi yang berada di samping badan sungai.

3. Kolam Retensi Tipe *Storage* Memanjang



Gambar 2.8 Kolam Retensi di Dalam Badan Sungai (Kementrian PUPR, 2020)

Pada Gambar 2.8 kolam retensi dengan tipe *storage* memanjang merupakan kolam retensi yang memiliki saluran yang lebih lebar. Sama halnya seperti kolam retensi yang terletak di dalam badan sungai, kolam retensi tipe *storage* memanjang biasanya digunakan apabila tidak terdapat lahan yang bisa digunakan, namun kekurangannya adalah kapasitasnya terbatas, perlu menunggu air hujan, serta dalam proses konstruksi akan lebih sulit.

Menurut (Kementrian PUPR, 2020), kolam retensi yang sudah berfungsi dengan baik, perlu juga dilakukan beberapa hal untuk memelihara kolam retensi, yaitu:

1. Melakukan pengecekan secara rutin terhadap sampah-sampah maupun tanaman air pada kolam retensi, karena hal tersebut dapat membuat proses kerja kolam retensi tidak maksimal.
2. Melakukan pengerukan sedimen yang masuk baik sengaja maupun tidak sengaja pada kolam retensi, hal ini dilakukan untuk mencegah adanya penyusutan daya tampung pada kolam retensi.
3. Melakukan pengecekan dan pembersihan *inlet* dan *outlet* serta bagian-bagian bangunan air yang lain.

2.5 Analisis Hidrolika Kolam Retensi dengan EPA SWMM dan HEC RAS

Menurut SNI 1724:2015, Hidrolika merupakan ilmu yang berkaitan dengan aliran air dan material yang diangkutnya, ataupun kekuatan yang ditimbulkannya. Analisis hidrolika memiliki dua macam aliran, yaitu aliran terbuka seperti sungai dan aliran tertutup seperti saluran drainase. Mengetahui kapasitas penampang sungai merupakan salah satu tujuan dari analisis hidrolika, dengan rumus perhitungan adalah persamaan manning yang dapat dilihat pada Rumus (2.40):

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A \quad (2.40)$$

Keterangan:

Q = kapasitas debit penampang (m^3/det)

- A = Luas penampang (m^2)
 R = Jari-jari hidrolik (m) = A/P
 P = Keliling penampang (m)
 S = Kemiringan dasar saluran
 C = Koefisien Chezy
 n = Koefisien kekasaran Manning untuk saluran Tabel 2.5
 γ = Berat jenis bahan lapisan saluran

Koefisien *manning* memiliki dua koefisien yang berbeda, yaitu untuk dasar saluran dan jenis tutupan lahan. Keduanya membutuhkan koefisien *manning* karena laju dari sebuah aliran dipengaruhi oleh kekasaran pada permukaan yang dilaluinya. Koefisien *manning* dapat dilihat pada Tabel 2.5 untuk dasar saluran dan Tabel 2.6 untuk jenis tutupan lahan.

Tabel 2.5 Koefisien Kekasaran Manning untuk Dasar Saluran

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

Sumber: SNI 8066:2015

Tabel 2.6 Koefisien Kekasaran Manning untuk Tutupan Lahan

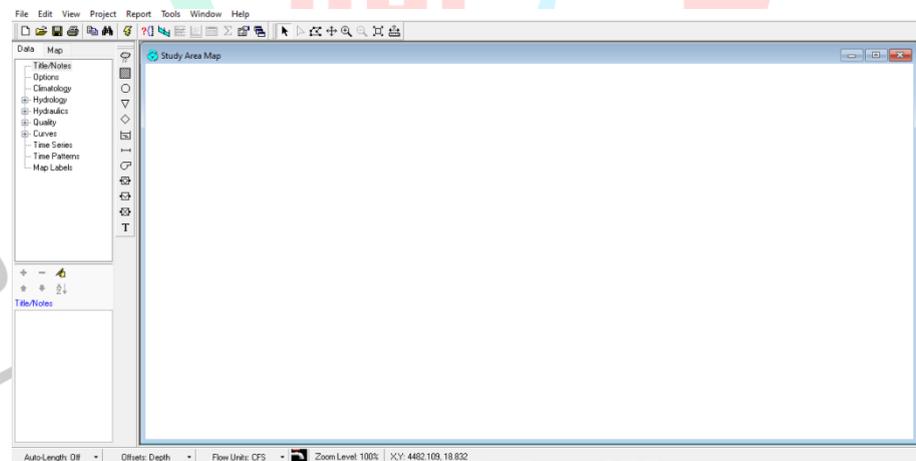
Jenis Tutupan Lahan	Koefisien Manning	
Daerah Buatan	Daerah perkotaan dan industri	0,013
	Daerah pertambangan	0,013
	Ruang terbuka hijau buatan	0,025
Daerah Agrikultur	Daerah pertanian subur	0,03
	Daerah pertanian permanen	0,08
	Padang rumput	0,035
	Daerah pertanian dengan vegetasi alami	0,05
Daerah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

	Jenis Tutupan Lahan	Koefisien Manning
Badan air	Badan air tawar	0,05
	Badan air laut	0,07

Sumber: (Papaioannou, et al., 2022)

2.5.1 EPA SWMM

Software EPA SWMM (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*) adalah suatu perangkat lunak yang yang digunakan untuk simulasi peristiwa hujan tunggal atau simulasi berkelanjutan dari beberapa hujan dengan kuantitas limpasan di suatu daerah aliran sungai tertentu. Model perhitungan pada EPA-SWMM pada umumnya digunakan untuk merencanakan, mengendalikan, serta menganalisis limpasan air hujan, merancang komponen sistem drainase, serta mengevaluasi pengelolaan daerah aliran sungai. Terdapat beberapa objek pada bagian menu utama dari EPA SWMM, seperi berikut (Al Amin M. B., 2020):



Gambar 2.9 Menu Utama EPA SWMM (Dokumentasi Pribadi, 2023)

A. Main menu

Bagian ini berisikan kumpulan menu-menu yang digunakan untuk berjalannya program ini.

B. Toolbars

Bagian ini berisikan tombol-tombol perintah atau *shortcuts* yang sering digunakan untuk program ini.

C. *Project/Map Browser*

Bagian ini berisikan akses-akses pada seluruh data pada pekerjaan yang sedang dilakukan untuk program ini.

D. *Study Area Map*

Bagian ini merupakan tempat penggambaran untuk pemodelan jaringan sistem drainase.

E. *Property Editor*

Bagian ini digunakan untuk mengedit *variable* pada setiap objek sistem drainase yang terdapat pada *study area map*.

F. *Status Bar*

Bagian ini berisikan informasi-informasi dari metode penggambaran jaringan, posisi dasar saluran terhadap simpul, tingkatan tampilan (*zoom*), koordinat peta, dan sistem satuan yang digunakan.

Dibutuhkan input data pada beberapa objek di aplikasi EPA SWMM, seperti berikut (Al Amin M. B., 2020):

A. *Rain Gage*

Rain gage memberikan data prestipasi untuk *subcatchment* pada wilayah tersebut. Input data ke system perlu menggunakan objek ini.

B. *Outfall*

Outfall merupakan titik dari sistem drainase yang pada umumnya ditetapkan pada akhir dari batas hilir rangkaian aliran daerah tersebut.

C. *Subcatchment*

Subcatchment merupakan unit hidrologi dari tanah yang topografi serta elemen sistem drainase menunjukkan permukaan *runoff* pada satu titik outlet pelepasan.

D. *Junction*

Junction merupakan objek untuk menampilkan pertemuan dari lubang pembuangan air kotor dari sistem pembuangan, pertemuan dari saluran alami atau pipa penghubung.

E. *Conduit*

Conduit merupakan saluran yang mengalirkan air dari satu titik ke titik lainnya. Bentuk *conduit* biasanya saluran tertutup, terbuka atauapun tidak beraturan.

F. *Flow Divider*

Flow divider merupakan sebuah komponen drainase yang berguna untuk menyalurkan *inflow* dan dalam komponen ini bisa saja terdiri dari dua *conduit*

G. *Flow Regulators*

Flow regulators merupakan sebuah struktur atau sarana yang berguna untuk melakukan pengontrolan atau pengalihan aliran.

H. *Pumps*

Pumps merupakan sebuah alat yang berfungsi dalam menaikkan elevasi air.

I. *Storage Unit*

Storage Unit merupakan tempat sarana atau fasilitas penyedia tampungan air seperti kolam atau danau.

2.5.2 HEC-RAS

HEC-RAS (*Hydrology Engineering Center - River Analysis System*) merupakan program yang digunakan untuk membuat permodelan aliran pada sungai. HEC-RAS memiliki beberapa aspek rekayasa hidrologi, yaitu analisis curah hujan-limpasan, hidrolika sungai, simulasi sistem reservoir, analisis kerusakan akibat banjir, serta memprediksi waktu untuk pengoperasian waduk. (Brunner, Warner, Wolfe, Piper, & Marston, 2016)

Pada mulanya aplikasi ini hanya ada kemampuan untuk menganalisis aliran stabil dan tidak stabil dalam satu dimensi (1D), namun saat ini ada pengembangan fitur baru di sistem untuk analisis aliran sungai dua dimensi (2D). Dalam mendukung fungsi saluran, penampang aliran sungai terbagi menjadi beberapa bagian berdasarkan

nilai n atau koefisien dari kekasaran *manning*. Menurut (Istiarto, 2014) rumus yang digunakan untuk menghitung persamaan *Manning*:

$$Q = KS^{\frac{1}{2}} \quad (2.41)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{\frac{2}{3}} \quad (2.42)$$

Keterangan:

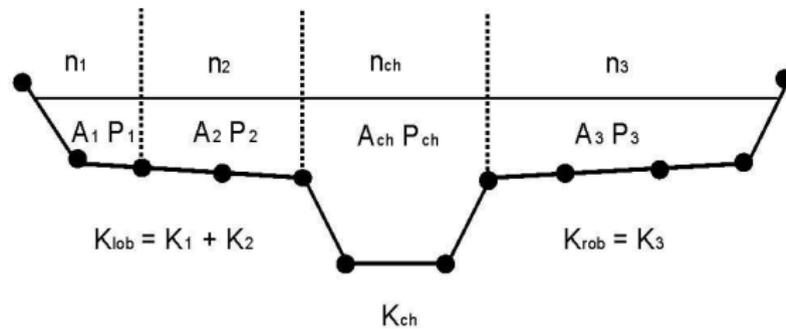
Q : Debit banjir pada saluran air (m³/detik)

K : Nilai pengantar untuk aliran pada unit

A : Luas permukaan penampang saluran

R : Jari-jari dari hidrolika

Dalam perhitungan rumus (2.42), nilai dari K dapat ditentukan dengan menggunakan kekasaran *Manning* yang didapatkan dari bagian penampang saluran, seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Contoh Penampang Saluran Air (Istiarto, 2014)

Geometri yang ada pada model satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D) terbuat dengan cara yang berbeda. Geometri pada 1D pada dasarnya digambarkan oleh konektivitas antara data penampang melintang sungai dengan struktur hidrolis. Pembagian antara saluran utama dan dataran banjir dibuat dengan menggunakan koefisien kekasaran yang berbeda untuk penampang melintang. Dalam model 2D, saluran utama memiliki geometri 1D, sedangkan pada dataran banjir memiliki geometri sebagai jalur komputasi yang dibuat dengan menghubungkan sel-sel yang tidak lebih dari 8 permukaan. *Mesh* terhubung dengan aliran 1D dan *boundary condition* terhubung

dengan titik-titik pada saluran struktur 1D. aliran diantara permukaan dihitung selama proses komputasi dan kedalaman air untuk setiap titik dihitung. (Yazdan, Ahad, Kumar, & Mehedi, 2022)

A. Aliran Permanen (*Steady Flow*)

Aliran ini adalah aliran satu dimensi dengan kondisi profil muka air dengan aliran permanen tidak berubah (*steady flow*). Perhitungan persamaan menggunakan pendekatan konvensional untuk menghitung tinggi permukaan air dan garis derajat energi untuk dua penampang yang berdekatan, berikut ini adalah persamaan energi satu dimensi aliran permanen (Al-Hussein, Khan, Ncibi, Hamdi, & Hamed, 2022):

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2.43)$$

Keterangan:

Z_1, Z_2 : Ketinggian dasar penampang saluran (m)

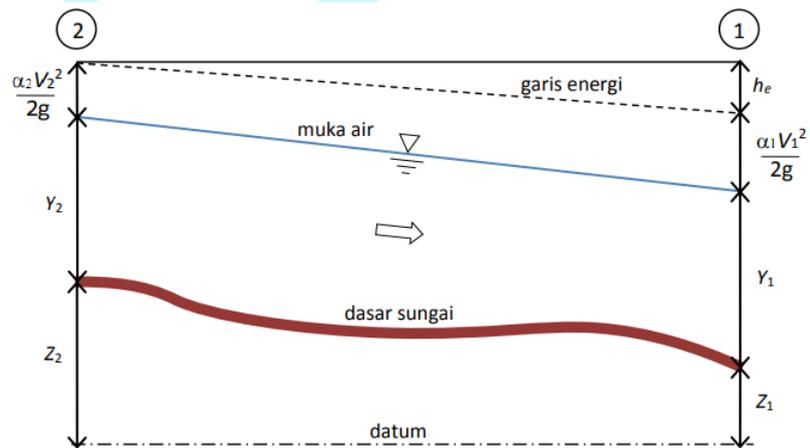
Y_1, Y_2 : Kedalaman tinggi air pada penampang saluran (m)

V_1, V_2 : Kecepatan aliran pada penampang saluran (m/s)

α_1, α_2 : Koefisien kecepatan aliran

g : Percepatan grafitasi (m/s^2)

h_e : Kehilangan energi pada aliran (*energy head loss*)



Gambar 2.11 Bentuk Diagram Energi pada Hidrolika (Istiarto, 2014)

Harga h_e dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Al-Hussein, Khan, Ncibi, Hamdi, & Hamed, 2022):

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{a_2 V_3}{2g} - \frac{a_1 V_1}{2g} \right| \quad (2.44)$$

Keterangan:

L : Panjang antara 2 penampang dasar saluran

S_f : Kemiringan gesekan representif pada penampang saluran

C : Koefisien untuk kehilangan energi (penyempitan atau belokan)

B. Aliran Tidak Permanen (*Unsteady Flow*)

Aliran ini adalah aliran dengan kondisi profil muka air yang kecepatan, kedalaman, dan debit aliran berubah terhadap waktu (*unsteady flow*). Persamaan aliran tidak permanen menggunakan persamaan air dangkal (*shallow water equations*) sebagai dasar analisis dengan persamaan kekekalan massa (persamaan kontinuitas) dan persamaan momentum. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan dalam 1D dan 2D aliran tidak permanen (Al-Hussein, Khan, Ncibi, Hamdi, & Hamed, 2022)

a. Satu Dimensi (1D)

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + q = 0 \quad (2.45)$$

Keterangan:

Q : Laju aliran

A : Luas penampang

q : Aliran masuk lateral

2. Persamaan Momentum

$$\frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial}{\partial x} + \left(\frac{v^2}{2g} + h \right) = g(S_0 - S_f) \quad (2.46)$$

Keterangan:

V : Kecepatan aliran

g : Percepatan grafitasi

h : Kedalaman Air

S_0 : Kemiringan dasar penampang

S_f : Kemiringan gesekan representif pada penampang saluran

b. Dua Dimensi (2D)

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (2.47)$$

Keterangan:

H : Elevasi permukaan air

h : Kedalaman air

u dan v : Kecepatan aliran dalam arah x dan y

q : Aliran masuk lateral

2. Persamaan Momentum

Arah X

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + Vt \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - C_f \cdot u + fv \quad (2.48)$$

Arah Y

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + Vt \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - C_f \cdot v + uv \quad (2.49)$$

Koefisien gesekan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus *Manning*:

$$C_f = \frac{n^2 g |u|}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (2.50)$$

Keterangan:

H : Elevasi permukaan air

h : Kedalaman air

u dan v : Kecepatan aliran rata-rata ke dalam arah x dan y

V_t : Koefisien viskositas Eddy

C_f : Koefisien gesekan (*Manning*)

g : Percepatan gravitasi

R : Jari-jari hidrolik

c. 1D-2D *Coupled Model*

Menurut (Dasallas, Kim, & An, 2019), *lateral structure* (*weir equation*) digunakan untuk menggabungkan 1D dan 2D pada aplikasi HEC-RAS sebagai penghubung antara aliran sungai (1D) yang meluap ke dataran banjir (2D). Hal tersebut disebut juga dengan metode 1D-2D *Coupled Model* yang dapat memberikan bangunan air. Persamaan 2D atau persamaan weir (bendung) pada Rumus (2.51), merupakan persamaan untuk luapan banjir dari *lateral structure*.

$$dQ = C(y_{ws} - y_w)^{\frac{2}{3}} dx \quad (2.51)$$

Keterangan:

dQ : Limpasan struktur (m)

dx : Jarak elemen (m)

y_{ws} : Elevasi muka air (m)

y_w : Elevasi struktur (m)

C : Koefisien *weir* (Tabel 2.7)

Tabel 2.7 *Koefisien Lateral Weir*

Model <i>lateral structure</i>	Deskripsi	Koefisien Weir
Tanggul > 100 cm dari permukaan tanah	Berperan menahan air agar tidak meluap	0,83 – 1,43
Tanggul 30 cm – 100 cm di atas permukaan tanah	Berperan menahan air agar tidak meluap namun mudah terendam	0,55 – 1,1

	Tidak berperan menahan	
Tanggul alami dengan ketinggian 30 cm – 100 cm dari permukaan tanah	air agar tidak meluap, namun air harus meluap untuk menuju 2D <i>flow area</i>	0,28 - 0,5
Tidak ada tanggul	Air meluap dari sungai	0,06 – 0,28

Sumber: (Yazdan, Ahad, Kumar, & Mehedi, 2022)

2.6 Penelitian Terdahulu

Kondisi hidrologi pada kawasan kajian menunjukkan adanya peningkatan *trend* curah hujan maksimum, seperti yang dikemukakan pada penelitian M. Farid, et al. (2021). Penelitian ini bertujuan untuk membahas analisis kecenderungan distribusi frekuensi curah hujan dalam periode waktu dari yang berbeda-beda dan dampaknya terhadap debit banjir pada Sungai Ciliwung yang terletak di Jakarta. Berdasarkan penelitian (Farid, et al., 2021), diketahui bahwa debit banjir dan curah hujan yang semakin meningkat dapat menyebabkan banjir yang lebih besar lagi, sehingga dibutuhkan mitigasi.

Mitigasi banjir pada kawasan kajian dapat dilakukan menggunakan kolam retensi, seperti dikemukakan oleh Florince, et al. (2015). Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan serta menganalisis pengaruh dari perencanaan kolam retensi dalam upaya pengendalian banjir. Lokasi dilakukannya penelitian ini adalah pada daerah yang dialiri sungai Way Simpur, yaitu pada Jalan Duana, Kelurahan Palapa, Kecamatan Tanjung Karang Pusat. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode yang tepat dalam pengendalian banjir di sungai Way Simpur adalah membuat kolam retensi karena dapat menampung debit hujan sehingga banjir dapat diatasi.

Penelitian lain yang menggunakan kolam retensi sebagai mitigasi banjir dikemukakan oleh Awan, et al. (2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas kolam retensi yang cukup untuk menampung debit banjir di lokasi Perumahan Mutiara Witayu, Kelurahan Sri Menanti, Kecamatan Rumbai Kota Pekanbaru. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode yang

tepat dalam pengendalian banjir di Perumahan Mutiara Witayu adalah membuat kolam retensi yang dapat menyelesaikan masalah banjir sebesar 100%.

Penelitian selanjutnya yang membahas tentang kolam retensi dikemukakan oleh Ali, et al. (2021). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perencanaan kolam retensi dan analisis hidrolika untuk menghitung kapasitas penampang sungai di Sungai Lamasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kolam retensi sebagai pengendalian banjir dan pertimbangan biaya pembebasan lahan dapat dihindari karena kolam retensi dibangun diatas sungai yang berpindah-pindah.

Penelitian lainnya mengenai pengendalian banjir menggunakan kolam retensi dikemukakan oleh Pramono, et al. (2020). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit puncak aliran yang masuk ke kolam retensi Tawang Semarang dan mengavaluasi kemampuan kolam retensi dalam mengatasi permasalahan banjir. Penelitian ini menunjukkan bahwa kolam retensi yang ada sudah dapat menampung banjir, namun pembesaran kapasitas kolam retensi dapat membuat kolam retensi tersebut berfungsi secara maksimal.

Penelitian mitigasi lainnya seperti tanggul dikemukakan oleh Rusmawati, et al. (2022). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran debit pada Sungai Mata Allo dan mengetahui tinggi elevasi tanggul dalam penanggulangan banjir. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi Aplikasi HEC-RAS yang mensimulasikan peninggian elevasi tanggul sudah dapat menangani banjir dengan periode ulang 25 tahun. Penelitian tersebut juga menunjukkan wilayah sungai harus dilakukan perawatan secara rutin seperti pengerukan dan pembersihan untuk menghindari pendangkalan sungai. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Florince, Arifaini, & Adha, 2015), (Ali, Musa, & Mallombasi, 2021), (Pramono & Saputro, 2020) dan (Awan, Suprayogi, & Asmura, 2019) diketahui bahwa penggunaan kolam retensi dan (Rusmawati & Musa, 2022) tanggul dapat menyelesaikan masalah banjir yang ada, namun penggunaan tanggul diperlukannya pengerukan rutin untuk menghindari pendangkalan sungai . Oleh karena itu peneliti, memilih mitigasi menggunakan kolam retensi sebagai topik Skripsi karena dapat digunakan untuk jangka panjang tanpa harus melakukan pengerukan secara rutin.

Penelitian yang dikemukakan oleh Awan, et al. (2019) juga menunjukkan penggunaan kolam retensi dengan analisis simulasi hidrolika menggunakan Aplikasi EPA SWMM. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Ariwibowo, et al (2017). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit banjir secara berkala sesuai dengan perubahan tata guna lahan yang dicatat oleh parameter DAS dan data hidrologi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Ariwibowo, Suripin, & Atmojo, 2017), diketahui bahwa melalui aplikasi EPA SWMM dapat disimulasikan berbagai macam mitigasi banjir, sehingga ditemukannya hasil penanggulangan untuk menurunkan banjir seperti penggunaan kolam retensi atau pembesaran dimensi drainase.

Setelah melakukan analisis simulasi hidrolika pada Aplikasi EPA SWMM, selanjutnya dapat dilakukan analisis hidrolika limpasan banjir menggunakan Aplikasi HEC-RAS. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dikemukakan oleh Dasallas, et al (2019), dimana penelitian bertujuan untuk menggabungkan simulasi satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D) pada HEC-RAS, dengan media lateral struktur yang digunakan. Dalam pembuatan simulasi banjir 2D, digunakan aplikasi FLUMEN dan Gerris untuk membandingkan hasil simulasi yang didapatkan dari Aplikasi HEC-RAS. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan aplikasi HEC-RAS dinyatakan lebih masuk akal pada hasil simulasi banjir dibandingkan aplikasi FLUMEN dan Gerris.

Penelitian terdahulu diatas dijadikan acuan peneliti untuk melaksanakan analisis pada penelitian dari topik dan tema yang telah ditentukan oleh peneliti. Dari penelitian sebelumnya, peneliti tidak menemukan topik penelitian serupa di lokasi kajian seperti topik yang dipilih oleh peneliti.