

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang Relevan

Sistem sungai yang melintasi Jakarta, sering menjadi banyak penelitian rekayasa banjir. Dikarenakan sering menjadi objek penelitian, banyak studi yang memberikan konteks, benchmark dan referensi untuk pemodelan banjir di saluran Drainase Jl. Lewa XV. benchmark awal yang sangat berguna untuk memverifikasi hasil analisis hidrologi yang dilakukan untuk penelitian ini. Tiga DAS yang dijadikan benchmark debit banjir antara lain, yang pertama DAS Sunter dan Cipinang, DAS Ciliwung serta DAS Cisadane. Dalam area saluran drainase Jl. Lewa XV, merupakan anak sungai dari sungai Ciliwung sehingga benchmark yang digunakan hanya DAS Ciliwung sebagai hilir dari saluran drainase tempat penelitian. Menurut (Fredrik et al., 2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Tinggi Muka Air pada Kawasan Sungai Ciliwung MT. Haryono – Pintu Air Manggarai dengan Program HEC – RAS 4.1.0”. Berdasarkan dari hasil analisis dan studi yang dilakukan di kawasan Ciliwung hingga Pintu Air Manggarai didapatkan debit banjir rancangan dengan periode 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun hingga 50 tahun. Penelitian ini menyimpulkan beberapa tindak lanjut untuk mengatasi banjir seperti meningkatkan elevasi tebing, normalisasi sungai dan pengerukan untuk memperbesar kapasitas tampung sungai.

Simulasi aliran *steady dan unsteady* dari penelitian yang dilakukan (Alfath, 2021) pada penelitiannya, Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung seringkali tidak dapat menampung debit air ketika curah hujan dengan intensitas tinggi. Untuk mengurangi debit air yang masuk dalam kesimpulannya, menggunakan metode memanen air hujan untuk rumah tipe 36 sebanyak 200.000 unit dipasang di daerah DAS Ciliwung. Pemasangan pemanen air hujan bertujuan untuk mengurangi debit sehingga penampang mampu menampung volume air dan tidak terjadi limpasan melewati penampang sungai.

Menurut (Briantara et al., 2025) dalam jurnal yang berjudul “Pemodelan Banjir Rob menggunakan HEC – RAS di Pulau Laut Utara Kabupaten Kotabaru Provinsi Kalimantan Selatan” untuk mengetahui faktor banjir dilakukan pengumpulan data

diantaranya topografi, batimetri, curah hujan dan pasang surut. Sedangkan model HEC – RAS dilakukan dengan pendekatan *Unsteady Flow* dengan menginput data topografi, batimetri, curah hujan dan pasang surut. Pengambilan data topografi menggunakan metode *Systematic Sampling* dengan mengikuti pola jalan yang diulai dari siring laut yang sering terjadi banjir rob. Penulis menyimpulkan bahwa tinggi genangan bisa diprediksi oleh model HEC – RAS dan model yang dibut telah berhasil digunakan untuk memodelkan fenomena banjir rob di Pulau Laut Utara dan memberikan hasil yang mendekati dengan data observasi di lapangan sehingga tingkat akurasi model mampu untuk memprediksi tinggi genangan.

Menurut (Nuzul et al., 2021) dalam penelitiannya berjudul “Analisis Genangan Banjir Akibat Debit Puncak di DAS Baubau menggunakan HEC – RAS dan arcGis”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui wilayah yang berpotensi pada DAS Baubau menggunakan periode ulang 5 tahun hingga 100 tahun kedepan. Penulis melakukan analisis dengan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu dan survei lapangan. Satuan sintetik Nakayasu mengasumsikan hujan satuan yang merata di seluruh DAS dan menghasilkan bentuk hidrograf yang terdiri dari kurva naik dan kurva turun dengan hubungan matematis tertentu antara debit puncak, waktu dan bentuk hidrograf.

Jurnal lain tentang pemetaan banjir menggunakan HEC – RAS (Mandagi & Suharnoto, 2019) dalam penelitiannya berisi tentang pemetaan banjir menggunakan bantuan software ArcGis dan Hec – Ras. Metode yang digunakan oleh penulis dengan melakukan observasi sepanjang sungai way Sekampung Udik, Lampung Timur. Data primer berupa data titik koordinat dan data sekunder berasal dari simulasi SWAT, curah hujan, dan peta RBI Lampung. Dalam pembahasannya dijelaskan bahwa DAS way Sekampung tersusun dari tanah yang berkelok. Berdasarkan pengamatan penulis pada saat banjir menutupi gubuk atau tersusun perumahan warga setempat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Parhusip & Wicaksono, 2020) pada evaluasi sistem drainase kelurahan Kalideres Jakarta Barat, penelitian tersebut menggunakan metode rasional untuk melakukan perhitungan debit kala ulang rencana sebagai acuan evaluasi terhadap saluran drainase.

Jurnal yang menjelaskan tentang pengelolaan air hujan yang berhubungan dengan penelitian ini yang bertujuan untuk mereduksi banjir adalah penelitian yang dilakukan (Lestari, 2021) yang berjudul “Pemanfaatan Bioretensi buatan Sebagai Upaya Pengelolaan Air Hujan untuk Peningkatan Kualitas Air” dijelaskan di dalam jurnal tersebut bahwa bioretensi adalah salah satu cara untuk pengelolaan air hujan yang dapat mengurangi beban puncak sehingga berkurang volume limpasan akibat air hujan. Dalam bioretensi sendiri terdapat media infiltrasi lokal seperti tanah dan vegetasi campuran yang bertujuan untuk menyerap dan tidak langsung mengalir ke badan sungai kembali. Hasil dari penelitian tersebut tidak hanya mereduksi volume limpasan air, namun juga meningkatkan kualitas air karena menghasilkan air yang jernih setelah dilakukan penyaringan pada minggu ke- 3.

Upaya pengurangan debit banjir dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan membuat sumur resapan yang berfungsi untuk mengurangi debit banjir dan konservasi air tanah sehingga kadar air pada tanah tetap terjaga.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Banjir

Banjir adalah aliran air sungai yang melampaui kapasitas tampung sungai dan banjir merupakan salah satu ancaman yang bermusim sering terjadi apabila meluapnya tubuh air dari saluran yang ada (Sinurat et al., 2022).

Banjir secara proses alami memang dapat menjadi bencana, ketika daerah tangkapan air dialih fungsikan menjadi tempat tinggal manusia. Pertumbuhan penduduk yang cepat serta pengelolaan sumber daya alam yang berubah dapat meningkatkan resiko banjir. Selain itu banyak pemukiman yang berada dibawah elevasi sungai atau berada di badan sungai sehingga menyebabkan penyempitan terhadap penampang sungai. (Daoed & Syahputra, 2024)

2.2.2. Sistem Drainase

Drainase berasal dari bahasa inggris drainage yang mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang atau mengalihkan air. Secara umum drainase dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan untuk mengurangi

kelebihan air yang berasal dari air hujan, rembesan hingga kelebihan air irigasi dari suatu lahan, hal ini membuat fasilitas lainnya yang berada di daerah itu tidak terganggu. Drainase merupakan upaya untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitan dengan sanitasi. Sehingga drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah. (Imamuddin & Farhanah, 2021)

2.2.3. Kolam Retensi

Kolam Retensi merupakan kolam yang berfungsi untuk menampung air hujan untuk sementara waktu dan memberikan ruang untuk air dapat meresap ke dalam tanah yang operasionalnya dapat dikombinasikan dengan pintu air, air hujan dan air sungai yang ditampung sementara kemudian dikeluarkan kembali menuju sungai atau disalurkan ke dalam tanah untuk infiltrasi. Dimensi dari kolam retensi mulai dari volume, luas dan kedalaman kolam sangat tergantung dari luas lahan yang tersedia yang dapat dimanfaatkan sebagai kolam retensi. (Muzakki & Salim, 2024)

Ada beberapa jenis kolam Retensi, berikut merupakan penjelasan tentang kolam retensi:

2.2.3.1. Kolam retensi yang dibangun di samping badan sungai

Kolam retensi tipe ini memiliki bagian berupa kolam retensi, pintu inlet, bangunan pelimpah samping, pintu outlet, jalan akses menuju kolam retensi serta ambang rendah di dekat outlet. Lalu ada saringan untuk memfilter sampah dan kolam penangkap sedimen. Jenis ini dipakai ketika tersedia lahan yang luas untuk kolam retensi sehingga kapasitasnya bisa optimal. Salah satu keunggulan dari tipe ini adalah tidak mengganggu sistem aliran yang ada dan mudah dalam pelaksanaan dan pemeliharaan.



Gambar 2. 1 Kolam Retensi Embung Pekayon
Sumber Tempo.co

2.2.3.2. Kolam retensi yang dibangun di dalam badan sungai

Bagian bagian dari kolam retensi bagian ini antara lain berupa tanggul keliling pintu outlet, bending, saringan sampah, dan kolam sedimen. Penerapan tipe ini bila lahan untuk kolam retensi sulit untuk dilakukan dan kelemahannya adalah kapasitas tampungan yang terbatas harus menunggu arus dari hulu, adapun pelaksanaan pembangunan yang sulit dan pemeliharaan yang mahal.



Gambar 2. 2 Kolam Retensi di dalam Badan sungai
Sumber DPUPR

2.2.3.3. Kolam retensi tipe storage memanjang

Kelengkapan dari kolam tipe ini adalah saluran yang lebar dan dalam dari segi penampangnya. Tipe ini dipakai apabila lahan tidak tersedia sehingga harus mengoptimalkan saluran drainase yang ada. Kelemahan dari kolam retensi tipe ini adalah harus mengganggu aliran air yang ada dan pelaksanaannya yang lebih sulit.



Gambar 2. 3 Kolam Retensi Tipe Storage memanjang
Sumber DPUPR

2.2.4. Pemetaan Sebaran Curah Hujan menggunakan Metode Poligon Thiessen

Dalam penelitian ini, Metode Poligon Thiessen digunakan untuk pemetaan sebaran curah hujan dan menentukan data stasiun hujan yang terdekat dan memiliki pengaruh terhadap tempat penelitian. Metode ini dilakukan dengan cara menghubungkan koordinat stasiun hujan yang berada daerah tempat penelitian dan dianalisis dengan menggunakan software *arcGis* (Pratama & Darmawan, 2025)

Untuk perhitungan Curah hujan menggunakan persamaan metode Poligon Thiessen melibatkan pembuatan polygon di antara stasiun pengukuran hujan di suatu wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS). Tinggi hujan rata-rata di daerah tersebut dihitung dengan mengalikan tinggi hujan di setiap stasiun

dengan luas polygon, kemudian hasilnya dibagi dengan luas total DAS. Metode ini lebih cocok digunakan untuk menentukan tinggi hujan rata rata Ketika hujannya tidak merata. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

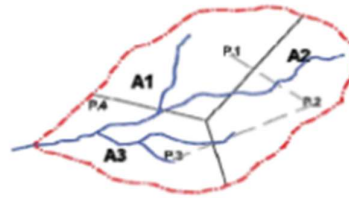
$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_{total}} \quad (2.1)$$

$\bar{P}$: tinggi hujan rata-rata (mm);

$P_1 \dots P_n$: tinggi hujan pada setiap pos hujan yang diamati (mm)

$A_1 \dots A_n$: luas yang dibatasi oleh 2 garis isohyet (km^2)

A : luas total DAS (km^2)



Gambar 2. 4 Hujan Rata-rata untuk Metode Thiessen
Sumber SNI 2415 – 2016

2.2.5. Analisis Curah Hujan Rencana Metode Aritmatik

Metode Aritmatik dihitung menggunakan cara menjumlahkan tinggi hujan dari semua lokasi pemantauan dalam periode tertentu, lalu hasilnya dibagi dengan jumlah lokasi pengukuran. (Wulandari et al., 2023).

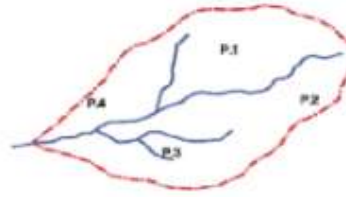
$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\bar{P}$: tinggi hujan rata-rata (mm);

$P_1 \dots P_n$: tinggi hujan pada setiap pos hujan yang diamati (mm)

n : banyaknya pos hujan



Gambar 2. 5 Hujan Rata-rata untuk Metode Aritmatik
Sumber SNI 2415 – 2016

2.2.6. Analisis Curah Hujan Rencana Metode Isohyet

Metode Isohyet dilakukan dengan menggunakan peta garis kontur untuk menentukan tinggi hujan rata-rata suatu wilayah. Rata-rata tinggi hujan dalam DAS dihitung dengan mengalikan tinggi hujan rata-rata antara garis sesuai digunakan untuk daerah yang berbukit. (Wulandari et al., 2023).

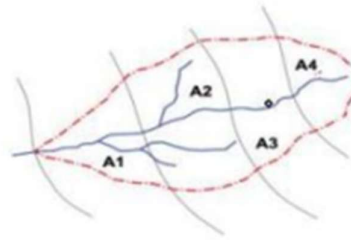
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{P_1 + P_2}{2} + A_2 \frac{P_2 + P_3}{2} + \dots + A_n \frac{P_n + P_{(n+1)}}{2}}{A_{total}} \quad (2.3)$$

$\bar{P}$: tinggi hujan rata-rata (mm);

$P_1 \dots P_n$: tinggi hujan pada setiap pos hujan yang diamati (mm)

$A_1 \dots A_n$: luas yang dibatasi oleh 2 garis isohyet (km^2)

A : luas total DAS (km^2)



Gambar 2. 6 Hujan Rata-rata untuk metode Isohyet
Sumber SNI 2415 – 2016

Cara memilih metode

a. Pos penangkar hujan dalam DAS

Jumlah pos pemantauan hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi factor penting. Jika jumlah stasiun pemantauan hujan cukup, semua metode seperti metode Poligon Thiessen, Metode Aritmatik dan metode Isohyet dapat digunakan dengan baik. Namun, jumlah stasiun pemantauan hujan terbatas, maka metode yang lebih sederhana seperti Poligon Thiessen dan Metode Aritmatik dapat menjadi pilihan.

b. Topografi DAS

DAS yang berada di daerah pegunungan cenderung lebih rumit sehingga metode Aritmatik yang sederhana lebih efisien. Sementara itu, DAS yang berada di dataran atau wilayah yang lebih datar dapat menggunakan metode Poligon Thiessen. Sedangkan untuk DAS yang berbukit dan tidak beraturan, metode Isohyet yang memperhitungkan pola curah hujan yang merata dapat menjadi pilihan yang tepat.

c. Luas DAS

DAS yang relatif kecil ($<500 \text{ km}^2$) cenderung memiliki variasi curah hujan yang lebih terbatas, sehingga metode aritmatik dapat memberikan hasil yang memadai. Untuk luas DAS sedang ($500 \text{ s/d } 5000 \text{ km}^2$) menggunakan metode Poligon Thiessen. Namun, untuk DAS yang lebih besar ($>5000 \text{ km}^2$), metode Isohyet yang memperhitungkan distribusi spasial curah hujan secara lebih detail menjadi lebih tepat. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, pemilihan metode analisis hidrologi dapat dilakukan dengan lebih tepat sesuai dengan karakteristik dan kondisi DAS yang bersangkutan.

Dalam penelitian ini, dipilih metode aritmatik untuk menentukan curah hujan rata-rata. Keputusan ini didasarkan pada karakteristik SUBDAS pada Saluran Drainase JL. Lewa XV, yang termasuk dalam kategori SUBDAS kecil dengan luas 0.46 km^2 dan *catchment area* efektif sebesar $0,14 \text{ km}^2$. Metode aritmatik dipilih karena lebih tepat untuk digunakan untuk DAS kecil dengan variasi curah hujan yang terbatas.

Variasi curah hujan di daerah penelitian cenderung stabil dan tidak mengalami perubahan yang signifikan dari tahun ke tahun.

2.2.7. Analisis Curah hujan Metode Distribusi Normal

Analisis Curah hujan dengan metode Distribusi Normal ini mengasumsikan sebaran data curah hujan maksimum tahunan dengan mengikuti kurva normal simetris (Wulandari et al., 2023). Berikut adalah proses perhitungan curah hujan dengan metode Distribusi Normal:

1. Mengumpulkan data curah hujan maksimum harian dari setiap tahun selama periode pengamatan (dalam penelitian ini digunakan data 10 tahun)

Keterangan:

$X_1, X_2, \dots, X_n$ = Data Curah Hujan Harian Maksimum dari setiap tahun selama periode pengamatan.

2. Menghitung rata – rata menggunakan persamaan:

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = Rata – Rata

n = Jumlah Data

X_i = Data Curah Hujan Harian Maksimum dari setiap tahun selama periode pengamatan.

3. Menghitung simpangan baku (S) untuk mengukur seberapa penyebaran data dari nilai rata – rata, menggunakan persamaan:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

S = Simpangan Baku

$\bar{x}$ = Rata – Rata

X_i = Data Curah Hujan Harian Maksimum dari setiap tahun selama periode pengamatan.

n = Jumlah Data

4. Menentukan Faktor Frekuensi yang didapat dari tabel distribusi normal standat berdasarkan periode ulang (T). Nilai K_T ini sebagai nilai probabilitas kejadian

P	Tr	K_T
1E-04	10000	3.719
5E-04	2000	3.291
0.001	1000	3.090
0.005	200	2.576
0.010	100	2.326
0.025	40	1.960
0.050	20	1.645
0.100	10	1.282
0.150	6.67	1.036
0.200	5.00	0.842
0.250	4.00	0.674
0.300	3.33	0.524
0.350	2.86	0.385
0.400	2.50	0.253
0.450	2.22	0.126
0.500	2.00	0.000
0.550	1.82	-0.126
0.600	1.67	-0.253
0.650	1.54	-0.385
0.700	1.43	-0.524

Tabel 2. 1 Nilai Probabilitas dan Faktor Frekuensi terhadap Periode Ulang

Sumber: (Wulandari et al., 2023)

5. Menghitung Koefisien Kemiringan dengan persamaan:

$$Cs = \frac{n \sum (X_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \quad (2.6)$$

Keterangan:

n = Jumlah Data

Sd = Standar Deviasi

Xi = Data terbesar ke terkecil

$\bar{x}$ = Rata – rata data

6. Menghitung Koefisien Kurtosis dengan persamaan:

$$Ck = \frac{n^2 \sum (X_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \quad (2.7)$$

Keterangan:

n = Jumlah Data

Sd = Standar Deviasi

Xi = Data terbesar ke terkecil

$\bar{x}$ = Rata – rata data

7. Menghitung Koefisien Varians dengan persamaan:

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{x}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

Sd = Standar Deviasi

$\bar{x}$ = Rata – rata data

8. Menghitung data curah hujan rencana dengan persamaan:

$$X_T = \bar{x} + K_T \cdot S \quad (2.9)$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan rencana untuk periode ulang T

$\bar{x}$ = Curah hujan rata – rata

K_T = Faktor Frekuensi Normal

S = Simpangan baku

2.2.8. Analisis Curah hujan Metode Gumbel

Salah satu metode perhitungan curah hujan untuk menganalisis nilai – nilai ekstrem seperti curah hujan maksimum dan debit banjir puncak (Wulandari et al., 2023). Berikut adalah langkah langkah perhitungan untuk metode distribusi gumbel:

1. Mengumpulkan data curah hujan maksimum tahunan (X_i) lalu menghitung jumlah data (n), nilai rata – rata ($\bar{x}$) dan simpangan baku (S).
2. Menghitung Koefisien Kemiringan (C_s), Koefisien Kurtosis (C_k) dan Koefisien Varians (C_v).
3. Menentukan parameter Gumbel berdasarkan jumlah data (n), lalu cari mencari nilai *Reduced Mean* (Y_n) dan *Reduces Standard Deviation* (S_n) dari tabel Gumbel sebagai berikut:

Jumlah Data (n)	Yn	Sn
10	0.4952	0.9497
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
40	0.5436	1.1413
50	0.5485	1.1609
100	0.5600	1.2070

Tabel 2. 2 Nilai *Reduced Mean* (Y_n) dan *Reduces Standard Deviation* (S_n)
Sumber: (Dr. Ir. Suripin, 2004)

4. Menghitung *Reduces Variate* (Y_T) dengan persamaan berikut berdasarkan periode ulang (T)

$$Y_T = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.10)$$

Keterangan:

$Y_T = \text{Reduces Variate}$

$T = \text{Periode Ulang}$

5. Menghitung Faktor Frekuensi Gumbel dengan persamaan berikut:

$$K_T = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (2.11)$$

Keterangan:

$K_T = \text{Faktor Frekuensi Gumbel}$

$Y_T = \text{Reduces Variate}$

$Y_n = \text{Reduced Mean (tabel)}$

$S_n = \text{Reduces Standard Deviation (tabel)}$

6. Menghitung Curah Hujan Rencana (X_T) menggunakan persamaan berikut:

$$X_T = \bar{x} + K_T \cdot S \quad (2.12)$$

Keterangan:

$X_T = \text{Curah hujan rencana untuk periode ulang } T$

$\bar{x} = \text{Curah hujan rata – rata}$

$K_T = \text{Faktor Frekuensi Normal}$

$S = \text{Simpangan baku}$

2.2.9. Analisis Curah hujan Metode Log Pearson III

Distribusi Log Pearson III digunakan untuk menganalisis beberapa variabel dengan nilai varian minimum seperti contoh analisis frekuensi dari debit minimum (low flows) (Wulandari et al., 2023). Log Pearson III mempunyai koefisien kemiringan $CS \neq 0$. Berikut langkah – langkah untuk melakukan perhitungan:

1. Mengubah data curah hujan sebanyak n ($X_1, X_2, X_3, \dots$) menjadi ($\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots$)

$$Y_i = \log(X_i) \quad (2.13)$$

Keterangan:

$Y_i = \text{Nilai Algoritma dari curah hujan maksimum pada tahun ke- } i.$

2. Hitung Rata - Rata menggunakan rumus berikut:

Keterangan:

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (2.14)$$

Keterangan:

$\bar{Y}$ = Rata – rata (Mean)

$\sum Y_i$ = Jumlah total nilai Y_i

n = Jumlah data

3. Menghitung Standar Deviasi (Sd) dengan menggunakan rumus:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (2.15)$$

Keterangan:

S_y = Standar Deviasi

Y_i = Nilai Curah Hujan

$\bar{Y}$ = Rata – Rata Curah Hujan

N = jumlah data

4. Menghitung Koefisien Kemiringan (C_s), Koefisien Kurtosis (C_k) dan Koefisien Varians (C_v).

5. Menentukan Faktor Frekuensi

Nilai K didapatkan dari tabel Faktor Frekuensi yang menghubungkan antara nilai koefisien kemiringan (C_s) dan (T) Periode ulang yaitu $T = 2, 5, 10, 25, 50$ atau 100 tahun:

$$K = f(C_s, T) \quad (2.16)$$

6. Menentukan nilai K berdasarkan nilai Cs dengan melihat pada tabel

Kemiringan (Cs)	Periode Ulang							
	2	5	10	25	50	100	500	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
3	-0.396	0.42	1.18	2.278	3.152	4.051	4.97	7.25
2.5	-0.36	0.518	1.25	2.262	3.048	3.845	4.652	6.6
2.2	-0.33	0.574	1.284	2.24	2.97	3.705	4.444	6.2
2	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.91
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.66
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.78	3.388	3.99	5.39
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.11
1.2	-0.195	0.732	1.34	2.087	2.626	3.149	3.661	4.82
1	-0.164	0.758	1.34	2.043	2.542	3.022	3.489	4.54
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	0.78	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.25
0.7	-0.116	0.79	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.6	-0.099	0.8	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.96
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.91	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.88	2.261	2.615	2.949	3.67
0.3	-0.05	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.2	-0.033	0.83	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.38
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.4	2.67	3.235

Tabel 2. 3 Nilai Peluang Persentase Hujan terhadap nilai Kemiringan (Cs)

Sumber: (Dr. Ir. Suripin, 2004)

7. Perhitungan Curah Hujan Rencana (dalam Bentuk Log):

$$\text{Log } Y_T = \text{Log } \bar{x} + (K_T \times S_d) \quad (2.17)$$

Keterangan:

Y_T = Nilai logaritma dari curah hujan rencana untuk periode ulang T

$\bar{x}$ = Rata – rata

K = Faktor frekuensi

S_d = Standar deviasi

8. Menghitung nilai curah hujan rencana yang sudah dalam bentuk satuan (mm) dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$X_T = (10)^{Y_T} \quad (2.18)$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan rencana untuk periode ulang T dalam satuan (mm)

Y_T = Curah hujan rencana dalam bentuk log

2.2.10. Analisis Curah Hujan Metode Log Normal

Untuk melakukan distribusi dengan metode log normal caranya hampir sama dengan metode normal yang membedakan adalah pada metode log normal adalah analisis ini menggunakan nilai logaritma. (Wulandari et al., 2023)

Untuk perhitungan curah hujan rencana dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Log } Y_T = \text{Log } \bar{x} + (K_T \times S_d) \quad (2.19)$$

Keterangan:

Y_T = Nilai logaritma dari curah hujan rencana untuk periode ulang T

$\bar{x}$ = Rata – rata

K = Faktor frekuensi

S_d = Standar deviasi

Setelah itu dikonversikan dalam bentuk satuan (mm) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_T = (10)^{Y_T} \quad (2.20)$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan rencana untuk periode ulang T dalam satuan (mm)

Y_T = Curah hujan rencana dalam bentuk log

2.2.11. Pengujian Chi Square

Pengujian ini dilakukan untuk memeriksa jika ada penyimpangan rata rata data yang sudah dianalisis berdasarkan distribusi yang sudah dipilih. Penyimpangan ini diukur dengan menggunakan perbedaan nilai probabilitas setiap varian x menurut hitungan distribusi frekuensi yang teoritis dengan menurut hitungan dengan pendekatan empiris. Cara pengujiannya adalah dengan memastikan apakah ada perbedaan yang nyata dari data yang diamati berdasarkan hipotesis nol (H_0). (Suryadi et al., 2025)

Sehingga dari kesimpulan yang akan didapat akan menentukan apakah persamaan distribusi yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Berikut adalah proses pengujian Chi Square:

1. Menghitung jumlah kelas menggunakan persamaan;

$$K = 1 + 3,22 \log n \quad (2.21)$$

Keterangan:

K = Banyak kelas

N = Banyak data

2. Setelah itu, buat kelompok kelas sesuai dengan jumlah kelas yang dihitung
3. Menghitung frekuensi pengamatan kelas (O_j)
4. Menentukan jumlah curah hujan yang masuk dalam setiap batas kelas (E_j).

5. Menghitung derajat kepercayaan yang hitung:

$$\mu^2 \text{ hitung} = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (2.22)$$

Keterangan:

μ^2 = Chi square terhitung

K = Jumlah Kelas

O_j = Frekuensi pengamatan kelas

E_j = Frekuensi teoritis kelas

6. Menentukan derajat kepercayaan kritis (μ^2 kritis) dari tabel Chi Square
Setelah dilakukan pengujian Chi Square, kesimpulan yang dapat diterima jika nilai μ^2 hitung $< \mu^2$ kritis sehingga distribusi terpenuhi dan sebaliknya jika μ^2 hitung $> \mu^2$ kritis menandakan distribusi tidak terpenuhi. Berikut merupakan tabel nilai kritis untuk distribusi Chi Square:

d ^k	derajat kepercayaan							
	t _{0,995}	t _{0,99}	t _{0,975}	t _{0,95}	t _{0,05}	t _{0,025}	t _{0,01}	t _{0,005}
1	0,039	0,160	0,098	0,393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,100	0,201	0,506	0,103	5,991	6,783	9,210	10,597
3	0,717	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	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	24,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,598
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	21,920	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	6,262	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	6,884	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,852
20	7,434	8,260	9,591	10,851	34,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,298	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	42,920	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	48,920

Tabel 2. 4 Tabel Nilai Kritis distribusi Chi Square
Sumber: (Dr. Ir. Suripin, 2004)

2.2.12. Pengujian Smirnov – Kolmogorov

Pengujian ini dilihat berdasarkan perbedaan terbesar dalam nilai absolut antara probabilitas kumulatif teoritis dan secara empiris. Kesalahan antara probabilitas teoritis dan kumulatif dibandingkan dengan nilai kritis. Hipotesis diterima jika kesalahan absolut maksimum lebih rendah dari nilai kritis. (Zainal et al., 2021).

Untuk melakukan pengujian Smirnov – Kolmogorov, berikut adalah tahapan pengujiannya:

1. Mengurutkan data dari yang terbesar hingga terkecil dan tentukan peluang dari setiap data:

$$X_1 P(X_1); X_2 P(X_2); X_n P(X_n)$$

2. Menentukan nilai peluang teoritis dari hasil pemodelan data.

$$X_1 P'(X_1); X_2 P'(X_2); X_n P'(X_n)$$

3. Menghitung selisih terbesar antara peluang pengamatan dan peluang teoritis.

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

Setelah dilakukan nilai D hitung dilakukan perbandingan untuk mengevaluasi jika ada kecocokan antara distribusi teoritis yang digunakan dalam persamaan distribusi data yang sebenarnya. Perbandingan menggunakan nilai D kritis yang dapat dilihat di tabel 2.5 (Nilai Kritis Uji Smirnov – Kolmogorov). Jika nilai D hitung $< D$ kritis maka distribusi teoritis dapat diterima dan sebaliknya jika D hitung $> D$ kritis maka distribusi teoritis tidak dapat diterima serta persamaan distribusi tersebut tidak sesuai dengan data yang sebenarnya.

Berikut adalah tabel nilai kritis uji Smirnov – Kolmogorov:

Sampel (n)	Level Of Significance (%)			
	20	10	5	1
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,322	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
50	0,15	0,17	0,19	0,23

Tabel 2. 5 Nilai Kritis Uji Smirnov – Kolmogorov
Sumber: (Dr. Ir. Suripin, 2004)

2.2.13. Intensitas Hujan

Intensitas hujan dapat didefinisikan sebagai laju hujan atau kedalaman (tinggi) air hujan per satuan waktu. Hujan memiliki sifat umum, makin intensitas hujan yang tinggi maka hujan akan berlangsung dengan singkat dan jika kala ulang makin tinggi maka makin tinggi pula intensitas hujan. Umumnya intensitas hujan dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek misal dengan interval 5 menit atau 10 menit hingga dalam waktu jam. Data hujan yang memiliki durasi pendek hanya dapat diperoleh dengan alat pencatat hujan otomatis. Jika data hujan dengan durasi pendek tidak tersedia dan hanya memiliki data hujan harian dari alat pencatat manual, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Mononobe. (Widyasari & Achmad, 2023)

Berikut adalah persamaan untuk menghitung intensitas hujan:

$$I = \frac{R_{24}}{tc} \quad (2.24)$$

Keterangan:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

tc = Lama hujan (jam)

R_{24} = tinggi hujan maksimum dalam 24 jam atau besaran hujan
rancangan

Proses pengubahan hujan menjadi aliran ada beberapa faktor penting dari sifat hujan antara lain, curah hujan, durasi, intensitas, frekuensi dan luas tangkapan. Analisis antara dua parameter intensitas dan durasi hujan dapat dihubungkan secara statistic dengan frekuensi kejadian hujan yang dinyatakan dengan kala ulang. Kala ulang merupakan waktu hipotetik dimana hujan dengan besaran tertentu akan disamai atau dilampaui.

2.2.14. Analisis Debit Banjir Metode Rasional

Metode Rasional dipilih berdasarkan *catchment area* yang ada metode ini lebih efektif untuk ukuran *catchment area* yang kecil. Metode Rasional dihitung berdasarkan rasio curah hujan terhadap aliran air pada saluran drainase. Persamaan yang digunakan untuk metode rasional didasarkan hubungan aliran puncak. (Nurhazah et al., 2022).

$$Q_t = 0,278 C I_{ct,T} A \quad (2.25)$$

Keterangan:

Q_t = debit puncak untuk periode ulang T tahun (m^3/det)

C = Koefisien aliran dengan pengaruh tata guna lahan pada *catchment Area*.

$I_{ct,T}$ = Intensitas curah hujan rata-rata mm/jam untuk waktu konsentrasi (tc) dan periode ulang T tahun.

A = Luas daerah tangkapan air/ *catchment area* (km^2)

Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)*
Jalan beton dan jalan aspal	0.70-0.95
Jalan kerikil dan jalan tanah	0.40-0.70
Bahu jalan :	
Tanah berbutir halus	0.40-0.65
Tanah berbutir kasar	0.10-0.20
Batuan masif keras	0.70-0.85
Batuan masif lunak	0.60-0.75
Daerah perkotaan	0.70-0.95
Daerah pinggir kota	0.60-0.70
Daerah industri	0.60-0.90
Permukiman padat	0.40-0.60
Permukiman tidak padat	0.20-0.40
Taman dan kebun	0.45-0.60
Persawahan	0.70-0.80
Perbukitan	0.75-0.90

Tabel 2. 6 Koefisien Pengaliran (C)

Sumber: (Prawira et al., 2025)

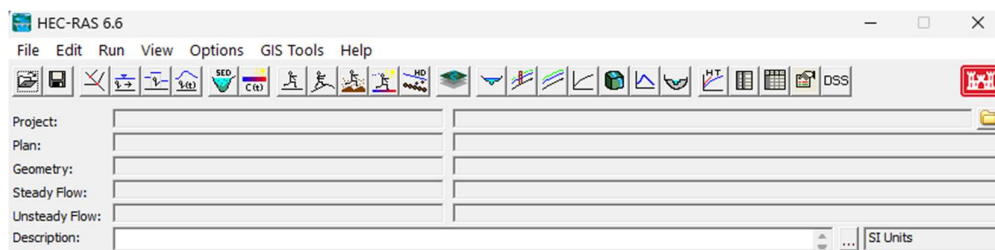
Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$
Gumbel	$C_s = 1,1396$ $C_k = 5,4002$
Log Pearson Type III	Selain dari nilai diatas/flexibel $C_s = C_v^3 + 3C_v = 3$
Log Normal	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$

Tabel 2. 7 Syarat Penentuan Distribusi
Sumber: SNI 2415 - 2016

2.3. HEC – RAS

HEC – RAS (*Hydraulic Engineering Center – River Analysis System*) adalah *software* yang digunakan untuk memodelkan aliran di sungai dan memperhitungkan penampang muka aliran subkritis dan superkritis. Komponen yang diperlukan untuk analisis hidrolis satu dimensi, yaitu perhitungan penampang muka air aliran tetap (*steady flow*), aliran tidak tetap (*unsteady flow*), perhitungan transportasi sedimen dan kualitas air. (Candrayana et al., 2021).

HEC – RAS digunakan untuk mensimulasikan profil muka air dan memodelkan aliran sungai terbuka atau tertutup, hasil dalam pemodelan tersebut dapat memberikan solusi mengenai permasalahan pengolahan bantaran sungai, perkiraan muka air sebagai perbaikan alur sungai atau pembangunan tanggul yang dapat diselesaikan secara efisien. (Destania, 2020)



Gambar 2. 7 Aplikasi HEC – RAS
Sumber: HEC – RAS 6.6

Dalam analisis dan pemodelan system drainase aplikasi HEC – RAS memiliki akurasi serta memberikan data yang diinginkan untuk mempermudah proses evaluasi system drainase serta pemodelan di tempat pengamatan. Pemodelan di aplikasi HEC – RAS dapat menggunakan model hujan aliran dinamis sehingga

dapat disimulasikan secara berkelanjutan atau dapat melihat kejadian banjir sesaat pada wilayah tertentu. Parameter yang dimasukkan pada aplikasi HEC – RAS menggunakan parameter dari kondisi di lapangan sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih akurat dan dapat menjadi bahan evaluasi perbaikan. (Ifanda, 2024)

HEC – RAS dapat memanfaatkan data topografi wilayah pengamatan, data tersebut berupa DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*) untuk membentuk geometri daerah aliran sungai lalu mensimulasikan debit banjir rencana berdasarkan kala ulang tertentu. (Permana & Nurhakim, 2025)

2.4. Perencanaan Kolam Retensi

Kapasitas saluran drainase yang tidak mampu menampung debit air menyebabkan air keluar saluran drainase sehingga dengan waktu yang lama akan menyebabkan banjir. Salah satu pendekatan untuk saluran drainase adalah pembuatan kolam retensi, yang berfungsi jika adanya kelebihan air pada saluran drainase sebagai kolam penampung untuk mengontrol limpasan permukaan air pada saluran drainase. (Muzakki & Salim, 2024)

Untuk mengetahui efektivitas kolam retensi dilakukan perbandingan kolam retensi terhadap volume banjir per satuan waktu. Dengan demikian nilai volume banjir adalah hasil konversi debit air yang mengalir kala ulang 2, 5 dan 10 tahun.

Perhitungan efektivitas kolam retensi juga memerlukan data volume kolam retensi (C_a) yang didapat dari data panjang, lebar lahan serta rencana kedalaman kolam retensi. Setelah itu, dilakukan perhitungan efektivitas kolam retensi terhadap volume banjir (V_B) dengan persamaan:

$$E = \frac{C_a}{V_B} \times 100\% \quad (2.26)$$

2.5. Normalisasi Sungai

Normalisasi adalah upaya peningkatan kapasitas aliran saluran sungai yang bertujuan untuk mengendalikan banjir di wilayah perkotaan atau pemukiman padat. Normalisasi yang dilakukan mencakup pelebaran, pengerukan lumpur, menambah kedalaman dan perbaikan bantaran sungai. (Subiantoro et al., 2025)