

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Denpasar merupakan kawasan perkotaan dan pusat ibu kota Provinsi Bali. Kecamatan Denpasar Timur merupakan salah satu bagian dari empat kecamatan yang berada di wilayah Kota Denpasar. Kecamatan Denpasar Timur merupakan kawasan sentral yang memiliki susunan fungsi kawasan sebagai tempat permukiman perkotaan, sawah, jasa perkantoran/ pemerintahan, pendidikan, lapangan, dan kawasan pariwisata. Fungsi kawasan tersebut yang menjadi penyebab terjadinya perubahan tata guna lahan di kawasan Kecamatan Denpasar Timur (Sedana, 2016).

Perubahan alih fungsi kawasan merupakan salah satu indikasi dasar penyebab kawasan Denpasar Timur mengalami banjir pada musim hujan. Selain terjadinya alih fungsi kawasan penyebab banjir di kawasan Denpasar Timur adalah saluran drainase yang kurang bekerja secara optimal. Pada tahun 2021 salah satu daerah yang mengalami banjir di wilayah Kecamatan Denpasar Timur adalah kawasan *Art Centre* Kota Denpasar (Balipost, 2021). Lokasi *Art Center* Kota Denpasar berada di Jl. Nusa Indah No.1 Kelurahan Sumerta Kelod, Kecamatan Denpasar Timur, Provinsi Bali.

Luas wilayah *Art Centre* adalah 5 Ha (hektar are) yang memiliki lahan terbuka hijau sebesar 30% sedangkan lahan tertutup sebesar 70%. Saluran drainase di dalam *Art Centre* Kota Denpasar tersebut merupakan anak sungai dari Tukad Ayung yang dinamakan daerah irigasi Oongan (PUPR, 2022). Kondisi

eksisting saluran drainase di *Art Centre* mengalami sedimentasi akibat sampah yang ikut terbawa oleh air sungai. Hal tersebut menyebabkan saluran drainase di *Art Centre* pada tahun 2021 kurang bekerja secara optimal sehingga mengalami banjir (Balipost, 2021).

Kelebihan air di saluran drainase tersebut menimbulkan genangan air di bawah Gedung Ksirarnawa (tempat pameran seni). Tinggi genangan air yang terbentuk mencapai pergelangan kaki orang dewasa yaitu sekitar 10 cm. Lama genangan air yang terjadi yaitu tidak lebih dari 2 jam karena segera dilakukan penyedotan oleh Petugas BPBD Provinsi Bali serta Dinas PU Provinsi Bali (Balipost, 2021). Genangan air tersebut harus ditangani agar tidak menimbulkan permasalahan salah satunya permasalahan kesehatan.

Dari permasalahan tersebut dapat dilakukan antisipasi banjir yaitu dengan cara memperbaharui dimensi saluran dan normalisasi saluran drainase. Dalam perencanaan dimensi saluran drainase yang optimum dapat dilihat dari kondisi eksisting serta hasil dari analisis evaluasi kapasitas saluran drainase. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu analisis hidrologi dan analisis hidrolika. Dalam menganalisa hidrologi dan hidrolika maka penelitian tentang Analisis Evaluasi Karakteristik dan Kapasitas Saluran Drainase di *Art Centre* Kelurahan Sumerta Kelod Kota Denpasar sangat berguna.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas saluran drainase, menganalisis data serta mendapatkan penanganan yang tepat dalam menangani banjir di kawasan *Art Centre*, Kelurahan Sumerta Kelod, Kecamatan Denpasar Timur, Kota Denpasar.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa besar curah hujan rancangan di Art Centre?
2. Bagaimana hasil debit banjir rancangan di Art Centre?
3. Bagaimana hasil evaluasi kapasitas debit saluran eksisting dan pola aliran dengan menggunakan HEC-RAS?

1.3. Tujuan Penelitian

Setelah adanya perumusan masalah diatas maka ada beberapa tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk menganalisis perhitungan curah hujan rancangan di Art Centre.
2. Untuk menganalisis debit banjir rancangan di Art Centre.
3. Untuk menganalisis kapasitas debit saluran eksisting dan pola aliran dengan menggunakan HEC-RAS.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan maupun didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti: sebagai studi yang dapat diterapkan ke lapangan yang berkaitan dengan mata kuliah yang telah dipelajari saat dibangku perkuliahan.
2. Bagi Akademik: sebagai sarana pembelajaran serta berguna untuk pihak-pihak yang memerlukan sumber terkait.

3. Bagi Masyarakat: sebagai sarana pembelajaran, informasi serta masukan yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan yang sama pada lahan resapan di daerah-daerah tertentu

1.5. Batasan Penelitian

Berdasarkan luasnya permasalahan maka penelitian ini dapat dibatasi dengan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Wilayah yang ditinjau pada penelitian ini adalah kawasan Art Centre Kota Denpasar.
2. Data curah hujan yang digunakan yaitu stasiun sumerta, stasiun sanglah dan stasiun klumpu.
3. Analisis uji konsistensi curah hujan menggunakan metode RAPS dan metode *double mass analysis*.
4. Analisis curah hujan kawasan menggunakan metode Polygon Thiessen dan metode Aljabar.
5. Analisis curah hujan rancangan menggunakan distribusi *gumbel*, distribusi normal, log normal dan *log pearson type III*.
6. Uji kesesuaian menggunakan metode *smirnov-kolmogorof* dan *chi-square*.
7. Analisis intensitas hujan menggunakan metode mononobe, sherman, ishiguro dan Talbot.
8. Analisis saluran drainase hanya menghitung kapasitas debit banjir rencana menggunakan metode rasional dan dimensi saluran drainase.
9. Pemodelan profil muka air menggunakan *software* HEC-RAS.
10. Tidak menghitung sedimentasi hanya mengukur ketinggian sedimentasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Drainase

Drainase merupakan bangunan hidrolika yang difungsikan sebagai mengontrol genangan air sebagai sistem memenuhi kebutuhan masyarakat dan merupakan komponen yang penting dalam perencanaan infrastruktur. Menurut Suripin, (2004), drainase memiliki arti mengalirkan, menguras, membuang atau mengalihkan air. Secara umum, drainase dapat didefinisikan sebagai suatu rangkaian sistem bangunan air yang memiliki fungsi untuk membuang kelebihan air dari suatu kawasan, sehingga kawasan tersebut dapat digunakan secara optimal. Dapat diasumsikan bahwa drainase tidak hanya menyangkut air permukaan tapi ada kaitannya juga dengan air tanah.

Jenis drainase dapat dibedakan berdasarkan dari sistem pengalirannya, maka dapat dikelompokkan menjadi :

1. Drainase dengan sistem jaringan adalah suatu sistem pengeringan atau pengaliran air pada suatu kawasan untuk mengalirkan air melalui sistem tata saluran drainase dengan bangunan-bangunan pelengkap.
2. Drainase dengan sistem resapan adalah sistem pengeringan atau pengaliran air yang dilakukan dengan cara meresapkan air kedalam tanah. Drainase dengan sistem resapan ini dapat digunakan langsung pada genangan air yang berada di permukaan tanah lalu meresap ke dalam tanah atau melalui sumuran/saluran resapan (Wesli, 2008)

2.2. Hidrologi

Hidrologi merupakan suatu ilmu yang ada kaitannya dengan air bumi, terjadinya peredaran, sifat-sifat kimia dan morfologi serta reaksi terhadap lingkungan termasuk hubungannya dengan makhluk hidup (Seyhan, 1990). Dari masa ke masa ilmu hidrologi mengalami perkembangan yang kemudian berkembang menjadi ilmu yang mempelajari tentang sirkulasi air. Dapat dikatakan bahwa hidrologi adalah ilmu yang mempelajari tentang: presipitasi, evaporasi dan transpirasi, aliran permukaan (*surface stream flow*) dan air tanah (*ground water*).

2.3. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi sangat diperlukan dalam perencanaan bangunan air seperti bendungan, bangunan pengendali banjir dan irigasi. Analisis hidrologi ditunjukan untuk menentukan perhitungan rancangan yang setara dengan beban rancangan dalam menganalisis suatu bangunan air (Bhayunagiri, 2016). Dalam perencanaan drainase, *culvert* dan jembatan yang melintasi saluran air atau sungai peran analisis hidrologi sangat dibutuhkan. Dalam perencanaan saluran drainase dapat direncanakan ukurannya sedemikian rupa untuk mengalirkan sejumlah volume air dalam hitungan waktu yang disebut dengan debit (Q).

Debit air dapat dihitung berdasarkan curah hujan, apabila curah hujan tidak tetap maka debit air yang akan ditampung oleh saluran juga mengalami perubahan. Perencanaan dimensi saluran drainase harus menentukan besar debit rencana (debit banjir rencana). Jika membuat perhitungan debit rencana terlalu kecil, maka mendapatkan saluran tersebut meluap dan sebaliknya apabila debit

yang diambil terlalu besar maka saluran yang direncanakan tidak ekonomis. Dari hal tersebut maka memperhitungkan debit di dalam saluran drainase agar dapat memilih suatu debit rencana. Setelah mendapatkan nilai debit rencana maka diambil debit banjir maksimum pada daerah perencanaan.

2.4. Hujan

Menurut Soemarto (1995), hujan terjadi diawali dengan peristiwa penguapan air dari seluruh permukaan bumi baik dari tanah, tumbuhan dan permukaan air. Penguapan umumnya terdiri dari 2 jenis yaitu penguapan permukaan air (*free water evaporation*) dan penguapan yang terjadi dari permukaan tumbuhan dikenal dengan transpirasi (*transpiration*). Setelah terjadinya proses penguapan dengan perbedaan temperatur maka dapat terbentuk awan. Selanjutnya awan tersebut bergerak yang dibantu oleh tiupan angin ke berbagai tempat sesuai arah hembusan angin. Hujan turun apabila terjadinya peristiwa dimana berat butir-butir hujan air tersebut telah lebih besar dari gaya tekan udara keatas.

2.5. Analisis Uji Konsistensi Hujan

2.5.1. Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Analisis uji konsistensi hujan bertujuan untuk mengetahui nilai data curah hujan yang diolah sudah konsisten atau tidak. Perhitungan data dilakukan dengan menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_k^* = Y_i - \bar{Y} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_k^{**} = 0, \text{ dengan } k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

$$D_y^2 = \sum_i^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (2.3)$$

Dengan:

Y_i : data hujan ke-n,

S_k^{**} : hasil nilai uji RAPS,

$\bar{Y}$: data hujan rerata-n,

D_y : standar deviasi,

n : jumlah data

Nilai statistik:

$$Q = \max |S_k^{**}|, 0 \leq k \leq n \quad (2.4)$$

$$R(\text{Range}) = \text{maksimum } S_k^{**} - \text{minimum } S_k^{**}, 0 \leq k \leq n \quad (2.5)$$

Syarat konsistensi dari metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

adalah sebagai berikut:

$$Q/\sqrt{n} \text{ hitung} < Q/\sqrt{n} \text{ tabel}$$

$$R/\sqrt{n} \text{ hitung} < R/\sqrt{n} \text{ tabel}$$

Nilai kritik Q dan R ditunjukkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1. Nilai statistik Q dan R

α/n	$Q/\sqrt{n}$			$R/\sqrt{n}$		
N	90 %	95 %	99 %	90 %	95 %	99 %
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

Sumber: Sri Harto, 2009

2.5.2. Metode *Double Mass Analysis* (DMA)

Lengkung massa ganda (*Double Mass Analysis*) adalah pengujian yang menggunakan dua atau lebih data dari stasiun curah hujan. Pengujian dilakukan dengan cara merata-ratakan data dari setiap stasiun curah hujan kawasan (sumbu x) sedangkan pada stasiun yang akan diuji konsistensinya (sumbu y). Pada dasarnya stasiun yang digunakan ≤ 10 (ada juga yang menetapkan ≤ 5) (Subarkah, 1980).

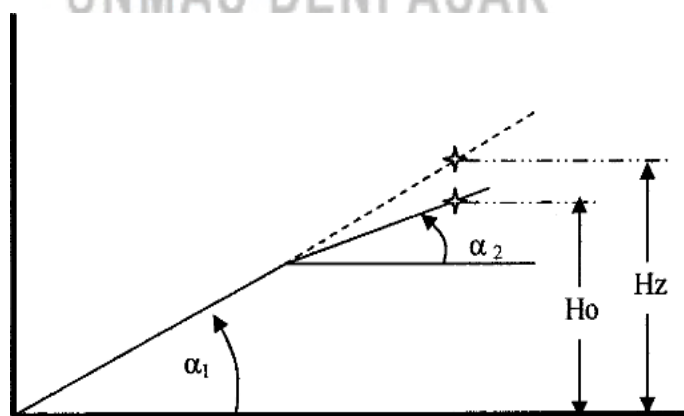
Jika stasiun tidak konsisten, akan dilakukan koreksi dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan sebelum dan setelah kurva patah (*Triatmodjo*, 2008). Data curah hujan yang tidak konsisten harus diluruskan menggunakan rumus faktor koreksi dengan persamaan (2. 6) sebagai berikut:

$$H_z = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \times H_o \quad (2. 6)$$

Dimana:

H_z = Tinggi hujan setelah dikoreksi

H_o = Tinggi hujan sebelum dikoreksi



Gambar 2.1. Metode *Double Mass Analysis*

Sumber: *Triatmodjo*, 2008

Pengujian dengan metode ini menggunakan analisis regresi linier. Analisis regresi linier adalah hubungan secara linier antara satu variabel independen (X) dengan variabel dependen (Y). Rumus regresi linier adalah:

$$Y = a + bX \quad (2.7)$$

Keterangan:

Y = Variabel dependen (nilai yang diprediksi)

X = Variabel Independen

a = Konstanta (nilai Y apabila X = 0)

b = Koefisien regresi (nilai peningkatan ataupun penurunan)

Berikut merupakan rumus konstanta (a), koefisien regresi (b) dan model regresi (R) (Sugiyono, 2009):

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.8)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.9)$$

$$R = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (2.10)$$

Keselarasan model regresi dapat diterangkan dengan menggunakan nilai R^2 . Semakin besar nilai tersebut maka model semakin baik. Jika nilai $R^2 < 1$ maka model regresi semakin baik. Nilai R^2 mempunyai karakteristik antara lain selalu positif. Jika $R^2 = 1$ mempunyai arti kesesuaian yang sempurna, maksudnya seluruh variasi dalam variabel Y dapat diterangkan oleh model regresi. Sebaliknya jika $R^2 = 0$ maka tidak ada hubungan linier antara X dan Y.

2.6. Analisis Curah Hujan Kawasan

2.6.1. Metode Poligon Thiessen

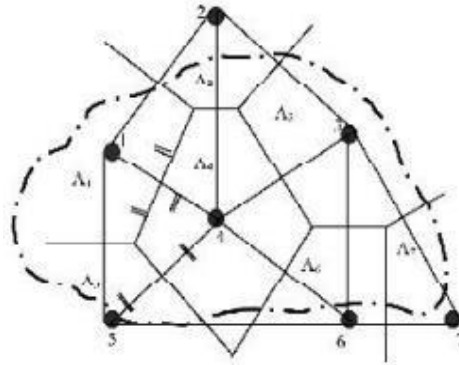
Metode Poligon Thiessen atau disebut dengan metode rata-rata timbangan (*weighted mean*). Metode ini memberikan skala luasan daerah pengaruh stasiun hujan untuk membantu ketidakseragaman jarak. Daerah yang berpengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sambung tegak lurus terhadap garis penghubung tiga stasiun terdekat. Dapat diperkirakan bahwa variasi hujan antara stasiun pengamatan hujan satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarangan stasiun hujan dapat ditafsirkan mewakili kawasan terdekat (Hadisusanto, 2010).

Prosedur penerapan metode ini meliputi :

1. Lokasi stasiun pengamatan hujan di plotting pada peta DAS. Antara pos penakar dibuat garis lurus dan saling terhubung.
2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon thiessen (Gambar 2.2) semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan stasiun pengamatan yang ada di dalamnya yang membandingkan dengan jarak terhadap stasiun pengamatan lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada stasiun pengamatan hujan tersebut ditafsirkan perwakilan hujan pada suatu kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
3. Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan poligon.

4. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.11)$$



Gambar 2.2. Poligon Thiessen

Sumber: Soemarto, 1987

Dimana:

P = Curah hujan rata-rata daerah,

$P_1, P_2, \dots, P_n$ = Curah hujan di titik=titik pengamatan,

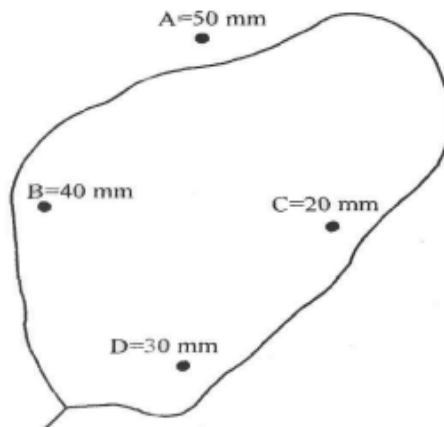
$A_1, A_2, \dots, A_n$ = Luas setiap bagian,

A = Luas total.

2.6.2. Metode Aritmatika (Rata-rata Aljabar)

Analisis curah hujan kawasan metode aljabar merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungannya. Analisis curah hujan kawasan menggunakan metode ini membutuhkan data tinggi curah hujan dari stasiun terdekat dengan DAS penelitian. Stasiun yang digunakan dalam perhitungan metode ini adalah berada dalam DAS maupun pada stasiun di luar DAS yang masih berdekatan (Triatmodjo, 2013). Cara perhitungan curah hujan dari suatu pengamatan curah hujan di beberapa titik adalah sebagai berikut:

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad (2.12)$$



Gambar 2.3. Rata-rata Aljabar

Dimana:

P = Curah hujan rata-rata daerah,

$P_1, P_2, \dots, P_n$ = Curah hujan di titik=titik pengamatan,

n = Jumlah stasiun

2.7. Analisis Curah Hujan Rencana (R)

Analisis curah hujan rencana digunakan dalam menentukan jumlah probabilitas besaran curah hujan rencana dalam berbagai periode ulang. Dasar perhitungan distribusi curah hujan rencana adalah ukuran yang berkaitan dengan analisis data dimana berisi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi dan koefisien skewness (kecondongan atau kemencengan). Analisis curah hujan rencana dapat dihitung dengan cara distribusi Gumbel, Normal, Log Normal dan *Log Pearson Type III* (Suripin, 2004)

2.7.1. Distribusi Gumbel

Perhitungan curah hujan rencana berdasarkan Metode Gumbel, memiliki rumusan yang tertera pada persamaan dibawah ini:

$$X = \bar{x} + Sd.K \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

$\bar{X}$ = Harga rata-rata sampel,

Sd = Standar deviasi (simpangan baku) sampel.

Berikut merupakan langkah-langkah menggunakan distribusi gumbel dimana mencari nilai rata-rata ($\bar{x}$), standar deviasi (Sd), koefisien variasi (Cv), Koefisien skewness (Cs) dan pengukuran kurtosis (Ck) maka nilai tersebut dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$1. \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.14)$$

$$2. Sd = \sqrt{\frac{\sum X_i - \bar{X}^2}{n-1}} \quad (2.15)$$

$$3. Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \quad (2.16)$$

$$4. Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad (2.17)$$

$$5. Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \quad (2.18)$$

Faktor probabilitas K untuk harga-harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan di bawah ini:

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \quad (2.19)$$

Dimana:

Y_{Tr} = Reduced variate,

S_n = Reduced standard deviation yang juga tergantung pada jumlah sampel n,

Y_n = Reduced mean yang tergantung jumlah sampel/data n.

$$Y = -\ln. -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \quad (2.20)$$

Tabel 2.2. Standar deviasi (Y_n) untuk Distribusi Gumbel

No	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,500	0,504	0,507	0,510	0,513	0,516	0,518	0,520	0,522
20	0,524	0,525	0,527	0,528	0,530	0,531	0,532	0,533	0,534	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,539	0,540	0,540	0,541	0,542	0,542	0,535
40	0,544	0,544	0,545	0,545	0,546	0,546	0,547	0,473	0,548	0,548
50	0,549	0,549	0,549	0,550	0,550	0,550	0,551	0,551	0,552	0,552
60	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554	0,554	0,555
70	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,557	0,557
80	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558	0,559
90	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,560	0,560	0,560	0,560
100	0,560	0,560	0,560	0,560	0,561	0,561	0,561	0,561	0,551	0,561

Sumber: Suripin, 2004

Tabel 2.3. Reduksi standar deviasi (S_n) untuk Distribusi Gumbel

No	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,94	0,96	0,99	0,99	0,99	1,020	1,03	1,04	1,049	1,056
20	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,091	1,09	1,10	1,104	1,108
30	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,128	1,13	1,13	1,136	1,138
40	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,151	1,15	1,15	1,157	1,159
50	1,10	1,16	1,16	1,16	1,16	1,168	1,16	1,17	1,172	1,173
60	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,180	1,18	1,18	1,183	1,184
70	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,189	1,19	1,19	1,192	1,193
80	1,90	1,19	1,19	1,19	1,19	1,197	1,19	1,19	1,199	1,200
90	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,203	1,20	1,20	1,205	1,206
100	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,208	1,20	1,20	1,209	1,209

Sumber: Suripin, 2004

Tabel 2.4. Reduce variate, Y_{Tr} sebagai fungsi periode ulang

Periode ulang T_r (tahun)	Reduced variate, Y_{Tr}	Periode ulang, T_r (tahun)	Reduced variate, Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9790	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Sumber: Suripin, 2004

2.7.2. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K \cdot Sd \quad (2.21)$$

Dimana:

X_T = Hujan rencana dengan periode ulang (T) tahun

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata dari data hujan X (mm)

K = faktor frekuensi, nilai T (Tabel 2.5. Variabel reduksi gauss)

Sd = Standar deviasi

Berikut merupakan langkah-langkah menggunakan distribusi normal dimana mencari nilai rata-rata ($\bar{x}$), standar deviasi (Sd), koefisien variasi (Cv), Koefisien skewness (Cs) dan pengukuran kurtosis (Ck) maka nilai tersebut dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$1. \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.22)$$

$$2. Sd = \sqrt{\frac{\sum X_i - \bar{X}^2}{n-1}} \quad (2.23)$$

$$3. Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \quad (2.24)$$

$$4. Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad (2.25)$$

$$5. Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \quad (2.26)$$

Tabel 2.5. Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,010	0,990	-2,33
4	1,050	0,950	-1,64
5	1,110	0,900	-1,28
6	1,250	0,800	-0,84
7	1,330	0,750	-0,67
8	1,430	0,700	-0,52

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K _T
9	1,670	0,600	-0,25
10	2,000	0,500	0
11	2,500	0,400	0,25
12	3,330	0,300	0,52
13	4,000	0,250	0,67
14	5,000	0,200	0,84
15	10,000	0,100	1,28
16	20,000	0,050	1,64
17	50,000	0,020	2,05
18	100,000	0,010	2,33
19	200,000	0,005	2,58
20	500,000	0,002	2,88
21	1000,000	0,001	3,09

Sumber: Soewarno, 1995

2.7.3. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah nilai X menjadi logaritmik X. Distribusi *log pearson type III* akan menjadi distribusi log normal apabila nilai koefisien kemencengan $C_s = 0,00$. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan parameter statistik:

1. Ubah data dalam bentuk logaritma, $X_i = \text{Log } X_i$ (2. 27)

2. Hitung harga rata-rata, $\overline{\text{Log}X_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}X_i}{n}$ (2. 28)

3. Hitung harga standar deviasi, $S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X_i})^2}{n-1}}$ (2. 29)

4. Hitung koefisien variasi, $C_v = \frac{S_d}{\overline{\text{Log}X_i}}$ (2. 30)

5. Hitung koefisien kemencengan, $C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X_i})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3}$ (2. 31)

6. Hitung Pengukuran Kurtosis, $C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (\text{Log} X_i - \overline{\text{Log} X_i})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4}$ (2. 32)

7. Hitung Logaritma hujan atau banjir periode kala ulang T, (2. 33)

$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log} X_i} + K.S_d$

Dimana:

K = Variabel standar

$\bar{X}$ = Harga rata-rata

S = Simpangan baku

Cs = Koefisien kemencengan

$\overline{\text{Log} X_i}$ = Nilai rata-rata hitung varians

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T

Tabel 2.6. Standard variable (Kt) untuk metode sebaran log normal

T (Tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt
1	-1.86	20	1.89	90	3.34
2	-0.22	25	2.1	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	3.7
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	3.6	200	4.14
13	1.5	80	3.21	221	4.24
14	1.57	85	3.28	240	4.33
15	1.63	90	3.33	260	4.42

Sumber: Soewarno, 1995

2.7.4. Distribusi *Log Pearson Type III*

Dari data yang diperkirakan mengikuti distribusi sudah dikonversi kedalam bentuk logaritma. Pearson telah mengembangkan serangkaian fungsi probabilitas yang dapat dipakai untuk hampir semua distribusi probabilitas empiris. Distribusi ini masih tetap digunakan karena fleksibilitasnya. Salah satu distribusi dari serangkaian distribusi yang dikembangkan pearson yang menjadi perhatian ahli sumber daya air adalah *Log Pearson*. Tiga parameter penting dalam perhitungan *Log Pearson Type III* yaitu:

1. Menghitung harga rata-rata
2. Menghitung harga simpangan baku
3. Menghitung koefisien kemencengan

Langkah-langkah perhitungan menggunakan distribusi *Log Pearson Type III*:

1. Ubah data dalam bentuk logaritma, $X_i = \text{Log } X_i$ (2. 34)

2. Hitung harga rata-rata, $\overline{\text{Log}X_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}X_i}{n}$ (2. 35)

3. Hitung harga standar deviasi, $Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X_i})^2}{n-1}}$ (2. 36)

4. Hitung koefisien variasi, $Cv = \frac{Sd}{\overline{\text{Log}X_i}}$ (2. 37)

5. Hitung koefisien kemencengan, $Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X_i})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3}$ (2. 38)

6. Hitung Pengukuran Kurtosis, $Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X_i})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4}$ (2. 39)

7. Hitung Logaritma hujan atau banjir periode kala ulang T,
 $\text{Log } X_T = \overline{\text{Log}X_i} + K.Sd$ (2. 40)

Dimana:

K = Variabel standar

$\bar{X}$ = Harga rata-rata

S = Simpangan baku

C_s = Koefisien kemencengan

$\overline{\text{LogXi}}$ = Nilai rata-rata hitung varians

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T

K adalah variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan (C_s) :

Tabel 2.7. Nilai K untuk Distribusi *Log Pearson Type III*

C_s	Interval kejadian (Recurrence interval), tahun (periode ulang)							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui (percent change of being exceeded)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,2	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,192	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,399
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891
0,7	-1,880	-0,857	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,0	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,2	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,6	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,8	-2,891	-0,780	0,122	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,0	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-2,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-2,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,6	-2,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990

Interval kejadian (Recurrence interval), tahun (periode ulang)								
Cs	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui (percent change of being exceeded)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,6	-3,889	-0,490	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	-3,973	-0,469	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,0	-7,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,669

Sumber: Suripin, 2004

2.8. Uji Pemilihan Distribusi

Uji kecocokan distribusi dapat dilakukan dengan cara Uji *Smirnov Kolmogorov* dan *Chi-square* (Soewarno, 1995). Uji kecocokan distribusi memiliki tujuan untuk mengetahui kebenaran dari analisis curah hujan terhadap simpangan data vertikal maupun simpangan data horizontal. Langkah awal yang harus dilakukan untuk mengetahui pengujian distribusi adalah memplotkan data dengan syarat sebagai berikut:

Tabel 2. 8. Syarat distribusi

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$C_s = 0$
	$C_k = 3$
Gumbel	$C_s \leq 1,14$
	$C_k \leq 5,40$
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$
Log Normal	$C_s \approx 3 C_v + C_v^2 = 3$
	$C_k = 5,38$

Sumber: Soemarto, 1999

Jika pengujian telah memenuhi syarat langkah selanjutnya adalah memilih metode kesesuaian distribusi. Dalam perhitungan curah hujan dapat diterima atau ditolak dilihat dari hasil pemilihan metode distribusi.

2.9. Uji Kesesuaian Distribusi

2.9.1. Metode *Smirnov-Kolmogorof*

Uji kesesuaian *Smirnov-Kolmogorof* sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Hal ini disebabkan oleh nilai uji yang terdapat pada Tabel 2. 9 sebagai berikut:

Tabel 2.9. Nilai kritis D_0 untuk Uji *Smirnov-Kolmogorof*

Jumlah data N	Derajat kepercayaan			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	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
N > 50	1,07	1,22	1,36	1,63
	$\frac{1}{\sqrt{N}}$	$\frac{1}{\sqrt{N}}$	$\frac{1}{\sqrt{N}}$	$\frac{1}{\sqrt{N}}$

Sumber: Suripin, 2004

Prosedur dasarnya mencakup perbandingan antara probabilitas kumulatif lapangan dan distribusi kumulatif fungsi yang ditinjau. Sampel yang berukuran n, diatur dengan urutan yang meningkat. Dari data yang diatur akan membentuk suatu fungsi frekuensi kumulatif tangga. Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Urutan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut:

$X_1 = P(X_1)$, $X_2 = P(X_2)$, $X_3 = P(X_3)$, dan seterusnya.

- Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

$$X_1 = P'(X_1), X_2 = P'(X_2), X_3 = P'(X_3), \text{ dan seterusnya.}$$

- Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
- Berdasarkan tabel nilai kritis (smirnov-kolmogorov test) tentukan nilai kritis (D_0).

Apabila nilai $D < D_0$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, tetapi apabila nilai $D > D_0$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan distribusi tidak dapat diterima.

2.9.2. Metode *Chi-Square*

Metode uji kesesuaian *chi-square* biasanya digunakan untuk menguji apakah distribusi pengamatan dapat disamakan dengan baik oleh distribusi teoritis, yakni menguji kebenaran distribusi yang digunakan pada perhitungan frekuensi analisis. Uji *chi-square* ini menggunakan parameter X^2 . Metode ini diperoleh berdasarkan rumus (Hadisusanto, 2010):

$$X^2 = \sum \frac{(E_f - O_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana:

X^2 = Harga *Chi-square*

E_f = Frekuensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan

O_f = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

Nilai X^2 hasil perhitungan nilainya harus lebih kecil dari harga X^2_{cr} (*chi-square* kritis). Derajat nyata tertentu (*level of significance*), yang sering diambil 5%. Adapun derajat kebebasan ini dapat dihitung dengan:

$$DK = K - (P + 1) \quad (2.42)$$

$$K = 1 + 3,322 \log n \quad (2.43)$$

Dimana:

DK = Derajat kebebasan

K = Banyaknya kelas

P = Banyaknya keterikatan atau banyaknya parameter.

Untuk sebaran *chi-square* ditetapkan nilainya = 2.

Dalam hal ini disarankan pula agar banyaknya kelas tidak kurang dari lima dan frekuensi absolut tiap kelas juga tidak kurang dari lima. Apabila terdapat kelas yang frekuensinya kurang dari lima, maka dapat dilakukan penggabungan dengan kelas yang lainnya.

Tabel 2.10. Nilai X^2 Kritis Untuk Uji Chi-Square

Y	0,20	0,10	0,05	0,01
1	1,642	2,706	3,841	6,635
2	3,219	4,605	5,991	9,210
3	4,642	6,251	7,815	11,345
4	5,989	7,779	9,488	13,277
5	7,289	9,236	11,070	15,086
6	8,558	10,645	12,592	16,812
7	9,803	12,017	14,067	18,475
8	11,030	13,362	15,507	20,090
9	12,242	14,684	16,919	21,666
10	13,442	15,987	18,307	23,209
11	14,631	17,275	19,675	24,725

Y	0,20	0,10	0,05	0,01
12	15,812	18,549	21,026	26,217
13	16,985	19,812	22,362	27,688
14	18,151	21,064	23,685	29,141
15	19,311	22,307	24,996	30,578
16	20,465	23,542	26,296	32,000
17	21,615	24,769	27,587	33,409
18	22,760	25,989	28,869	34,805
19	23,900	27,204	30,144	36,191
20	25,038	28,412	31,410	37,566

Sumber: Hadisusanto, 2010

2.9. Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit maksimum pada periode ulang yang akan dialirkan ke saluran drainase yang telah direncanakan untuk mencegah terjadinya genangan atau banjir. Peluang banjir maksimum tersebut disetarakan atau dilampaui dari 1 kali dalam 2 tahun, 1 kali dalam 5 tahun, 2 kali dalam 10 tahun atau 25 kali dalam 100 tahun.

Dalam menentukan debit aliran akibat air hujan dapat diperoleh dari hubungan rasional antara air hujan dengan limpasannya atau disebut dengan metode rasional. Metode rasional terus dimodifikasi oleh beberapa peneliti yaitu *Melchior, Der Wedulen* dan *Hasper* (Suhardjono, 2013)

Adapun asumsi dari metode rasional adalah pengaliran maksimum terjadi kalau lama waktu curah hujan sama dengan lama waktu konsentrasi daerah alirannya. Secara matematis dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$Q = 0,278 C.I.A \dots\dots\dots (2. 44)$$

Dimana:

Q = Debit (m^3/detik),

C = Koefisien aliran permukaan,

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (Km^2)

Dalam merencanakan saluran drainase biasanya menggunakan standar yang telah ditetapkan, mulai dari debit rencana (periode ulang), cara menganalisis, tinggi jagaan, struktur saluran dan lain-lain. Berikut merupakan kriteria desain saluran drainase Tabel 2.8 :

Tabel 2.11. Kriteria desain hidrologi

Luas DAS (Ha)	Periode ulang (Tahun)	Metode perhitungan debit banjir
< 10	2	Rasional
10-100	2-5	Rasional
101-500	5-20	Rasional
> 500	10-50	Hidrograf satuan

Sumber: Suripin, 2004

2.10. Analisis Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah banyaknya kuantitas hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan di setiap satuan waktu (Lutjito, 2019). Besarnya intensitas hujan berbeda-beda setiap waktunya, hal ini tergantung dari rentang waktu curah hujan serta frekuensi kejadiannya. Intensitas hujan didapatkan dengan cara melakukan analisis data hujan baik secara statistik maupun secara empiris. Intensitas hujan (I) adalah kecepatan rata-rata dari rentang waktu hujan dimana sama dengan konsentrasi Tc dengan masa ulang tertentu sesuai dengan kebutuhan.

Langkah aktual dalam untuk menghitung intensitas curah hujan yaitu memilih metode perhitungan intensitas curah hujan yang akan digunakan dalam

menganalisis data. Pemilihan ini dimaksudkan untuk menentukan persamaan intensitas curah hujan untuk daerah penelitian. Berikut merupakan persamaan metode yang akan digunakan.

1. Metode Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (2.45)$$

2. Metode Sherman

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots (2.46)$$

Dengan:

$$\text{Log } a = \frac{[\log I][(\log t)^2] - [\log t \log I][\log t]}{N[\log t^2] - [\log t][\log t]}$$

$$n = \frac{\sum[\log I] \sum[(\log t)^2] - \sum[\log t \cdot \log I] \sum[\log t]}{N \sum[(\log t)^2] - \sum[\log t][\log t]}$$

3. Metode Ishiguro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \dots\dots\dots (2.47)$$

Dengan:

$$a = \frac{[I\sqrt{t}][I^2] - [I^2\sqrt{t}][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][I\sqrt{t}] - N[I^2\sqrt{t}]}{N[I^2] - [I][I]}$$

4. Metode Talbot

$$I = \frac{a}{(t+b)} \dots\dots\dots (2.48)$$

Dengan:

$$a = \frac{[It][I^2] - [I^2t][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][It] - N[I^2t]}{N[I^2] - [I][I]}$$

Dimana:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam),

t = Lamanya curah hujan (menit),

a dan b = Konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah

aliran,,

n = Banyaknya pasangan data i dan t.

2.11. Koefisien Pengaliran (C)

Koefisien pengaliran (C) adalah perbandingan antara jumlah aliran (*run off*) dengan jumlah curah hujan. Sehingga disingkat dengan:

$$C = \frac{\text{Jumlah aliran}}{\text{Jumlah curah hujan}} \quad (2.49)$$

Untuk daerah tangkapan beraneka ragam, bentuk permukaan dapat mencari koefisien pengalirannya dengan rumus:

$$C = \frac{(A_1 C_1 + A_2 C_2 + \dots + A_n C_n)}{\text{Jumlah luas tangkapan}} \quad (2.50)$$

Dimana:

C = Koefisien pengaliran,

A = Luas daerah tangkapan (m²).

Pemilihan koefisien pengaliran harus dipertimbangkan karena ada kemungkinan perubahan tata guna lahan di kemudian hari. Perubahan tata guna

lahan juga dapat mempengaruhi koefisien pengaliran dalam menentukan besar aliran di suatu tempat tertentu berdasarkan jenis aliran. Koefisien pengaliran secara umum dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.12. Koefisien pengaliran (C) secara umum

Tipe Daerah Aliran	Kondisi	Koefisien Aliran (C)
Rerumputan	Tanah Pasir, datar, 2%	0,05 – 0,10
	Tanah Pasir, rata-rata, 2-7%	0,10 – 0,15
	Tanah Pasir, curam, 7%	0,15 – 0,20
	Tanah gemuk, datar, 2%	0,13 – 0,17
	Tanah gemuk, rata-rata, 2-7%	0,18 – 0,22
	Tanah gemuk, curam, 2%	0,25 – 0,35
Business	Daerah kota lama	0,75 – 0,95
	Daerah pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	Daerah “Single Family”	0,30 – 0,50
	“Multi units” terpisah-pisah	0,40 – 0,60
	“Multi units” tertutup	0,60 – 0,75
	“Suburban”	0,25 – 0,40
	Daerah rumah apartemen	0,50 – 0,70
Industri	Daerah ringan	0,50 – 0,80
	Daerah berat	0,60 – 0,90
Pertamanan, kuburan	-	0,10 – 0,25
Tempat beribadah	-	0,20 – 0,35
Halaman kereta api	-	0,20 – 0,40
Taman bermain	-	0,20 – 0,35
Jalan	Beraspal	0,70 – 0,95
	Beton	0,80 – 0,95
	Batu bata, paving	0,70 – 0,85
Untuk berjalan dan naik	-	0,70 – 0,85
Atap bangunan	-	0,75 – 0,95

Sumber: Wesli, 2008

Kemudian Dr. Kawakami pada tahun 1939 menyusun sebuah rumus yang mengemukakan bahwa untuk sungai tertentu koefisien itu tidak tetap, tetapi berbeda – beda tergantung curah hujan.

$$f = 1 - R'/R_t = 1 - f^1 \quad (2. 51)$$

Dengan:

F = koefisien pengaliran

f^1 = laju kehilangan = t / R^s

R_t = jumlah curah hujan (mm)

R' = kehilangan curah hujan

t, s = tetapan

2.12. Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika digunakan untuk menghitung secara teknis dalam sistem drainase yang direncanakan sesuai dengan persyaratan teknis. Ukuran saluran yang direncanakan yaitu berdasarkan aliran maksimum yang mengalir (Suripin, 2004). Berikut dipaparkan beberapa rumus yang digunakan dalam analisis hidrolika:

1. Luas Penampang Basah (A)

$$A = b \times h \dots\dots\dots (2. 52)$$

2. Keliling basah (P)

$$P = B + 2h \dots\dots\dots (2. 53)$$

3. Jari-jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2. 54)$$

4. Kecepatan aliran adalah kecepatan rata-rata suatu aliran dalam waktu tertentu. Rumus kecepatan aliran metode *Manning* antara lain adalah:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots (2. 55)$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran air (m/detik),

n = koefisien manning,

R = Jari-jari hidrolis (m),

S = Kemiringan saluran.

Tabel 2.13. Nilai koefisien *Manning*

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (<i>n</i>)
Besi tuang lapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Beton dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber: Bambang Triatmodjo, 1993

5. Setelah didapatkan nilai kecepatan saluran (*V*) maka selanjutnya dikalikan dengan luas penampang saluran (*A*) untuk mencari hasil kapasitas tampungan penampang saluran. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots (2. 56)$$

Dimana:

Q = Debit Aliran (m^3/s)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/s)

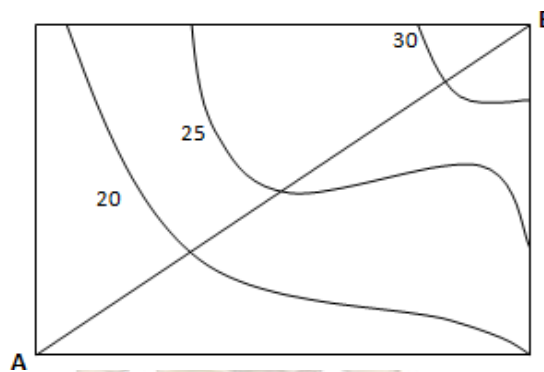
A = Luas penampang (m)

2.13. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi pada daerah pengaliran adalah waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari daerah yang terjauh ke suatu pembuang (*outlet*) tertentu (Suhardjono, 2013). Lama durasi hujan dapat diasumsikan sama dengan waktu konsentrasi pada semua bagian daerah pengaliran dimana air hujan bergabung. Dari asumsi ini bisa mendapatkan suatu debit yang maksimum pada *outlet*. Waktu konsentrasi terbagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. Waktu pemasukan (*inlet time*) atau *time of entry* yaitu waktu yang dibutuhkan oleh aliran permukaan untuk masuk ke saluran.
2. Waktu pengaliran (*Conduit Time*) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir disepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan seperti

Gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.4. Contoh saluran a-b pada suatu daerah pengaliran

Waktu pengaliran (*time of flow*) tergantung pada perbandingan panjang saluran dan kecepatan aliran. Menurut rumus empiris dari Kirpich yang diasumsikan dari rumus *Manning* untuk koefisien kekasaran rata-rata dan jari-jari hidrolis yang berlaku umum. Waktu konsentrasi juga dapat dihitung dengan rumus:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \quad (2.57)$$

$$S = \frac{H}{0,9 \times L} \quad (2.58)$$

Dimana:

t_c = Waktu konsentrasi,

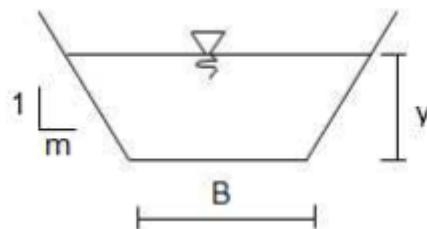
L = Panjang maksimum aliran (Km),

S = Kemiringan saluran.

2.14. Penampang Ekonomis

Saluran terdiri dari saluran tertutup dan saluran terbuka. Saluran tertutup contohnya saluran yang menggunakan pipa, dan saluran terbuka contohnya saluran air untuk drainase kota. Menurut Triatmodjo B., (1993) saluran terbuka yang ekonomis adalah saluran yang dapat mengalirkan debit yang besar dan keliling basah minimum. Bentuk saluran yang demikian dapat diperoleh dari penampang berbentuk setengah lingkaran.

Saluran yang berpenampang dengan bentuk setengah lingkaran sangat sulit proses pembuatannya jika dibandingkan dengan saluran yang mempunyai penampang berbentuk segiempat atau trapesium. Oleh karena itu walaupun bentuk saluran setengah lingkaran paling ekonomis, namun bentuk ini sangat jarang digunakan di lapangan. Alternatif lain yang diterapkan di lapangan adalah dengan memakai saluran berbentuk segiempat untuk dinding beton dan pasangan batu, dan saluran tanah didesain dengan bentuk trapesium. Hal ini bertujuan untuk mempertahankan mutu dan keamanan bangunan saluran. Berikut merupakan saluran penampang ekonomis trapesium:



Gambar 2.5. Gambar Trapesium

$$A=y(B+my) \dots\dots\dots (2. 59)$$

$$P=B+2y \sqrt{1+m^2} \quad (2.60)$$

$$R=\frac{A}{P}=\frac{y(B+my)}{B+2y \sqrt{1+m^2}} \quad (2.61)$$

Bila y dan B adalah variable dan nilai B dari persamaan (2.59) disubstitusi ke pers. (2.60) maka:

$$P=\frac{A-my^2}{y}+2y\sqrt{1+m^2} \quad (2.62)$$

Bila m konstan maka nilai P akan minimum jika $dp/dy = 0$ sehingga:

$$-\frac{y(B+my)}{y^2}-m+2y\sqrt{1+m^2}=0$$

$$-B-2my+2y\sqrt{1+m^2}=0 \quad (2.63)$$

$$B+2my=2y\sqrt{1+m^2} \quad (2.64)$$

$$T=2y\sqrt{1+m^2}$$

2.15. Pemodelan Menggunakan HEC-RAS

Hitungan hidrolika aliran pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang aluran yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam saluran dan kedalaman aliran di batas hilir. Sistem HEC-RAS memuat 3 komponen yaitu perhitungan muka aliran seragam (*steady flow*), perhitungan muka aliran tidak seragam (*unsteady flow*) dan simulasi aliran seragam (Istiarto, 2014). Elemen penyusunan sebuah proyek dibutuhkan file (data). Berikut merupakan file-file dalam menyusun sebuah *project*:

1. *File Plan*

Dalam file ini berisi deskripsi *plan*, nama singkat identifikasi *plan*, daftar file data yang berkaitan dengan *plan* (file data geometri, data aliran permanen atau tak permanen) serta parameter simulasi (durasi, *time step*, ragam aliran).

2. *File Run*

File run berisi informasi yang diperlukan untuk melakukan hitungan sesuai dengan file data dan parameter simulasi yang ada di *file plan*.

3. *File Output*

File output berisi semua hasil dari perhitungan yang diminta atau setelah dianalisis. Hasil hitungan pada *file output* dituliskan dengan format biner dan hanya dapat dibaca melalui *user interface*.

4. *File Geometri*

Dalam file ini berisi informasi mengenai geometri sungai yang akan dimodelkan seperti: tampang lintang, struktur hidraulik (jembatan, gorong-gorong, bending), koefisien kekasaran, koefisien kontraksi/ekspansi dan informasi mengenai cara pemodelan.

5. *File Data Aliran Permanen*

File ini berisi informasi jumlah tampang lintang tempat dilakukan hitungan, data aliran (permanen), dan syarat batas untuk setiap ruas sungai.

6. *File Data Aliran Tak Permanen*

File data ini berisi informasi hidrograf debit aliran di batas hulu, syarat awal, dan syarat batas hilir.

7. *File Data Aliran Tak Permanen Semu*

Dalam file ini berisi informasi hidrograf debit aliran di batas hulu, syarat awal aliran, dan syarat batas hilir.

8. *File Data Sedimen*

Dalam file ini berisi informasi data aliran, syarat batas di setiap ruas saluran dan data sedimen.

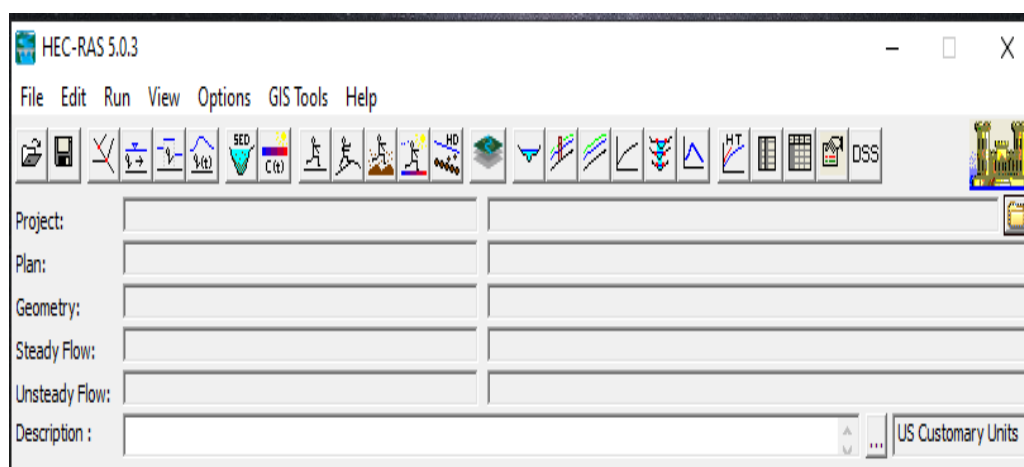
9. *File Data Kualitas Air*

File data kualitas air berisi informasi data syarat batas temperatur di setiap ruas saluran, syarat awal, parameter adveksi-dispersi, dan data meteorology.

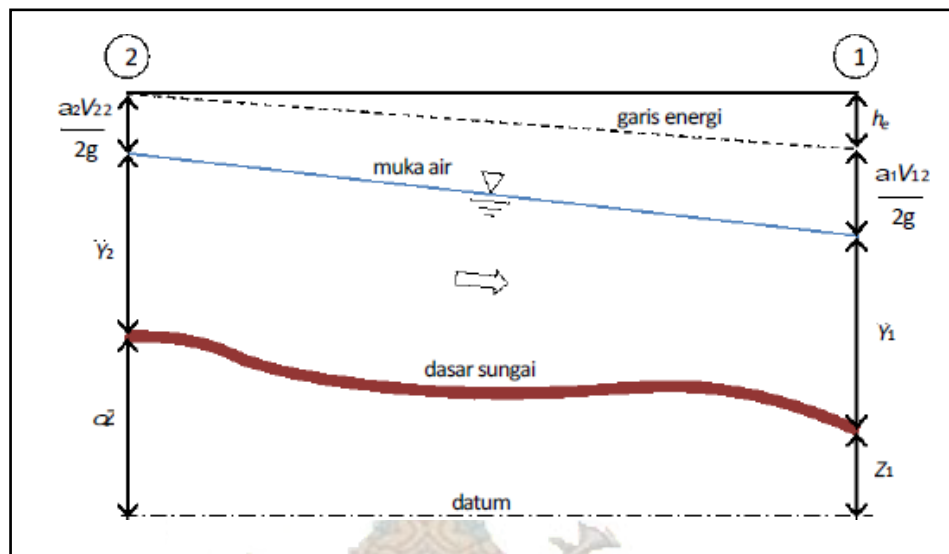
10. *File Data Desain Hidraulika*

Dalam data ini berisi informasi jumlah tampang lintang tempat dilakukan hitungan, data aliran (permanen) dan syarat batas untuk setiap ruas saluran.

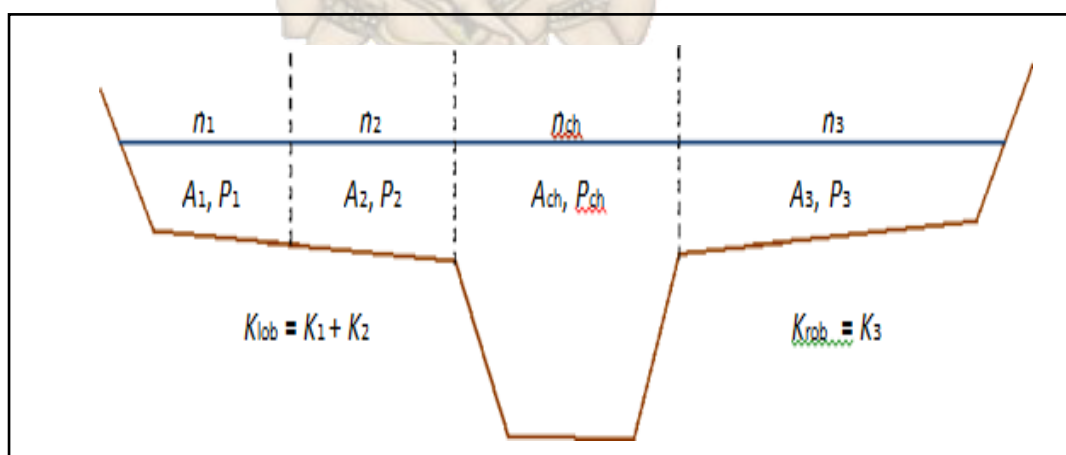
Semua File diciptakan otomatis oleh *user interface*. Data file (geometri, aliran permanen, aliran tak permanen, aliran tak permanen semu, sedimen, kualitas air dan data desain hidraulika) dituliskan dengan format ASCII.



Gambar 2.6. Menu Utama HEC-RAS versi 5.0.3



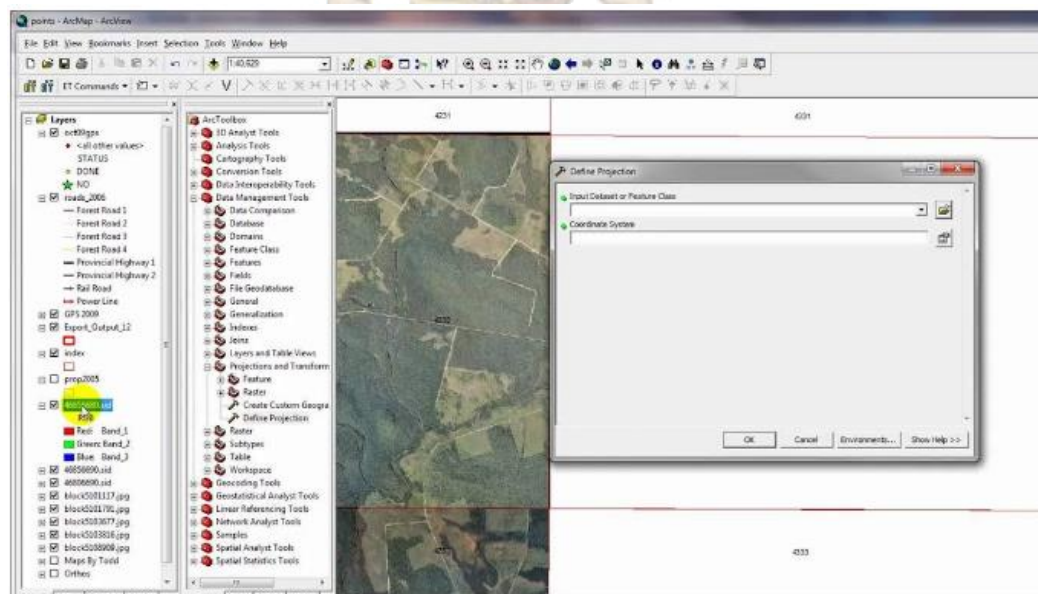
Gambar 2.7. Diagram Aliran Berubah Beraturan



Gambar 2.8. Pembagian Tampang Kapasitas Angkut

2.16. Pemetaan ArcGis

ArcGIS adalah salah satu perangkat lunak yang dikembangkan oleh ESRI (*Environment Science & Research Institue*) yang merupakan kompilasi fungsi fungsi dari berbagai macam perangkat lunak GIS yang berbeda seperti GIS desktop, server, dan GIS berbasis web. Perangkat lunak ini mulai dirilis oleh ESRI Pada tahun 1999. Produk utama dari ArcGIS adalah ArcGIS desktop, dimana ArcGIS desktop merupakan perangkat lunak GIS profesional yang komprehensif dan dikelompokkan atas tiga komponen yaitu : ArcView, ArcEditor dan ArcInfo (Siregar, 2014). Selain itu, ESRI juga memiliki produk ArcGIS yang dapat diakses melalui internet, yaitu ArcGIS Online.



Gambar 2.9. Tampilan Utama ArcGIS

Sumber: *Lintas Bumi*, 2018