

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Denpasar merupakan salah satu kota pariwisata yang menjadi unggulan daerah Bali. Pemerintah Kota Denpasar memberikan perhatian yang serius terhadap faktor-faktor yang akan mempengaruhi kunjungan wisata dalam mempertahankan dan menarik kunjungan wisatawan. Salah satu diantaranya adalah menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat. Perkembangan pertumbuhan penduduk yang sangat pesat serta meningkatnya aktivitas perekonomian sejalan pertumbuhan industri pariwisata berdampak pada permasalahan munculnya penurunan kualitas lingkungan.

Sebagai sebuah kota besar dengan perkembangan ekonomi yang sudah maju, sebagian besar lahan di Kota Denpasar tidak diperuntukkan sebagai lahan pertanian. Alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan bukan pertanian setiap tahunnya mengalami peningkatan. Perubahan penggunaan lahan tersebut selain memberikan beberapa dampak positif juga memberikan dampak negatif.

Salah satu dampak negatif yang terjadi adalah berkurangnya daya resap tanah dan meningkatnya limpasan permukaan yang mengakibatkan adanya kawasan rawan banjir yang pada akhirnya menimbulkan keluhan dari masyarakat di Kawasan tersebut. Dampak yang ditimbulkan selain berkurangnya daya serap tanah juga terjadi perubahan pola aliran yang menimbulkan aliran pada saluran pembuangan menjadi terlambat. Faktor penyebab banjir pada saluran drainase di Denpasar adalah adanya sedimen dan sampah sehingga menyumbat saluran dan

air tidak dapat mengalir dengan lancar. Kurangnya pemeliharaan sehingga beberapa saluran rusak dan tidak berfungsi dengan baik. Perubahan tata guna lahan sehingga berkurangnya daerah resapan. Dimensi saluran yang tidak mencukupi sehingga tidak mampu menampung debit air berlebih saat hujan.

Perkembangan pembangunan di wilayah Kota Denpasar terutama munculnya beberapa kawasan permukiman baru akan berdampak pada penurunan luasan daya serap tanah dan meningkatnya beban limpasan menuju saluran drainase. Pada kawasan yang cepat berkembang harus mendapat penanganan dengan merencanakan pola aliran dengan batasan daerah pengaliran yang jelas.

Kompleksnya permasalahan banjir dan genangan di wilayah Kota Denpasar tentunya memerlukan penanganan yang terintegrasi antara konteks drainase makro dengan drainase mikro. Permasalahan banjir tidak saja disebabkan oleh beban limpasan berdasarkan daerah tangkapan di wilayah studi tetapi harus memperhitungkan kapasitas tampung sungai dalam konteks drainase makro.

Salah satu titik wilayah di Denpasar yang rawan terjadi banjir maupun genangan saat hujan adalah di Jalan Nagasari Penatih. Dimana, rata-rata genangan diakibatkan tersumbatnya saluran drainase akibat adanya sampah yang dibawa oleh arus air. Mengingat curah hujan cukup tinggi disertai sumbatan sampah dan kontur wilayah yang cenderung datar membuat timbulnya genangan air saat hujan lebat dengan intensitas tinggi. Kondisi ini memungkinkan daya tampung drainase yang melebihi kapasitasnya, sehingga selang beberapa menit sudah surut kembali.

Terkait dengan permasalahan tersebut, maka penulis melakukan pengamatan langsung pada saluran drainase di Jalan Nagasari Penatih Denpasar.

Pengamatan langsung dilakukan saat berhentinya hujan dan hasilnya terdapat genangan pada beberapa titik saluran drainase. Maka, penulis mengambil penelitian dalam menganalisis curah hujan rancangan, debit banjir rancangan, kapasitas debit dan profil muka air saluran eksisting drainase di Jalan Nagasari Penatih Denpasar.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang dapat dirumuskan dari latar belakang adalah sebagai berikut:

1. Berapa curah hujan rancangan pada saluran drainase di Jalan Nagasari Desa Dangin Puri Penatih Denpasar?
2. Berapa debit banjir rancangan pada saluran drainase di Jalan Nagasari Desa Dangin Puri Penatih Denpasar?
3. Berapa kapasitas debit saluran eksisting dan profil muka air saluran di Jalan Nagasari Desa Dangin Puri Penatih Denpasar dengan pemodelan HEC-RAS?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung curah hujan rancangan pada saluran drainase di Jalan Nagasari Desa Dangin Puri Penatih Denpasar.
2. Menghitung debit banjir rancangan pada saluran drainase di Jalan Nagasari Desa Dangin Puri Penatih Denpasar.
3. Menganalisis kapasitas debit saluran eksisting dan profil muka air saluran di Jalan Nagasari Desa Dangin Puri Penatih Denpasar dengan pemodelan HEC-RAS.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan mahasiswa dalam menghitung curah hujan dan debit banjir rancangan serta kapasitas debit pada saluran drainase.
2. Sebagai informasi dan bahan kajian bagi instansi terkait seperti Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Denpasar.
3. Sebagai informasi kepada masyarakat untuk menyadari pentingnya merawat saluran drainase yang ada di lingkungan tempat tinggalnya.

1.5. Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian

Adapun batasan dan ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menghitung Curah Hujan dengan data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum selama kurun waktu tahun 2002 – 2021.
2. Pengujian konsistensi data hujan hanya menggunakan metode *Double Mass Analisis* dan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).
3. Uji pemilihan distribusi cs , ck , cv sebelum menentukan curah hujan rancangan.
4. Curah hujan rancangan dalam studi ini dianalisis menggunakan metode Log person *type III*.
5. Uji kesesuaian distribusi frekuensi dengan metode *Smirnov Kolmogorof*.
6. Intensitas hujan.
7. Debit banjir rencana disesuaikan dengan metode rasional.
8. Kapasitas debit saluran eksisting dihitung dengan program *Microsoft Excel* dan profil muka air saluran drainase dianalisis dengan program HEC-RAS.
9. Penelitian tidak menghitung besarnya sedimentasi yang ada dalam saluran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup (Triatmodjo, 2008).

Pada perkembangannya, hidrologi banyak dipelajari khususnya dibidang teknik sipil, salah satunya digunakan dalam memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air, baik itu mata air, sungai, maupun danau guna dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan), irigasi, pembangkit listrik, tenaga air, perikanan, peternakan dan lain sebagainya (Triatmodjo, 2008).

2.2. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi memiliki peranan yang penting dalam melakukan perencanaan bangunan air dalam bidang pengairan, baik untuk perencanaan irigasi maupun dalam perencanaan saluran drainase. Salah satu faktor yang mempunyai peranan itu adalah data hidrologi yang mampu mempengaruhi keadaan dilapangan. Dengan adanya data hidrologi tersebut, kita dapat mengetahui besarnya debit rencana sebagai dasar perencanaan bangunan air (Subarkah, 1980).

Analisis hidrologi diawali dengan menganalisis hujan dan debit rencana yang digunakan sebagai Q_{desain} bangunan air. Dari data curah hujan harian maksimum tahunan dan data karakteristik DAS (Daerah Aliran Sungai) dianalisis

menjadi hujan rancangan dan unit hidrograf Nakayasu menjadi debit rancangan.

Aspek hidrologi yang perlu dikaji yaitu:

2.2.1. Data Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal bila tidak terjadi evaporasi, *runoff* dan infiltrasi (Handoko, 1994).

Menurut (Sosrodarsono, 1995) curah hujan yang digunakan dalam penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan. Curah hujan di atas disebut curah hujan wilayah atau daerah yang dinyatakan dalam satuan milimeter (mm)

Ada 3 (Tiga) macam cara dalam menentukan tinggi curah hujan rerata pada areal tertentu dari angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat yaitu sebagai berikut:

1. Metode Rerata Aljabar

Tinggi rata – rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata – rata hitung pengukuran hujan di stasiun curah hujan di dalam *catchment* area tersebut:

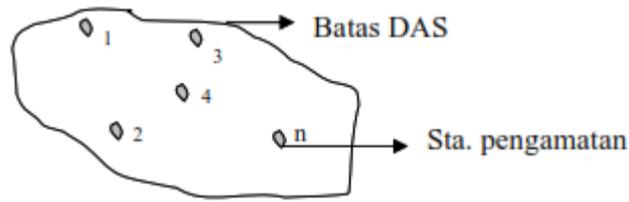
$$R = \frac{1}{n} \times (R_A + R_B + R_C + \dots + R_n) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

R = Tinggi curah hujan rata-rata

R_A, R_B, \dots, R_n = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,.....,n

n = Banyaknya pos penakar



Gambar 2.1. Sketsa Stasiun Curah Hujan Cara Rerata Aljabar

(Sumber: *Sri Harto, 1993*)

2. Metode *Polygon Thiessen*

Polygon Thiessen di hitung berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung diantara dua buah pos penakar (Harto, 1993). Rumus metode *Polygon Thiessen* adalah:

$$R = \frac{R_A \cdot A_A + R_B \cdot A_B + R_C \cdot A_C + \dots + R_n \cdot A_n}{A_A + A_B + A_C + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2.2)$$

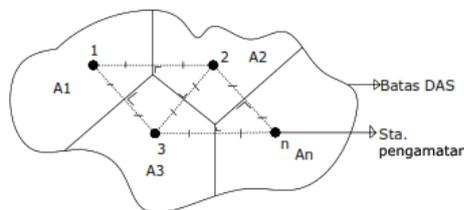
Dengan:

A = Luas areal

R = Tinggi curah hujan rata-rata areal

R_A, R_B, \dots, R_n = Tinggi curah hujan di pos 1, 2, ..., n

A_A, A_B, \dots, A_n = Luas daerah pengaruh pos 1, 2, ..., n



Gambar 2.2. Pembagian Daerah dengan Cara Poligon Thiessen

(Sumber: *Sri Harto, 1993*)

3. Cara Isohyet

Dengan cara ini, kita harus menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*isohyet*) (Harto, 1993):

$$R = \frac{A_A \left(\frac{R_A + R_B}{2} \right) + A_B \left(\frac{R_B + R_C}{2} \right) + A_{n-1} \left(\frac{R_{n-1} + R_n}{2} \right)}{A_A + A_B + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

A = Luas areal

R = Tinggi curah hujan rata-rata area

R_A, R_B, \dots, R_n = Tinggi curah hujan di pos 1, 2, ..., n

A_A, A_B, \dots, A_n = Luas daerah pengaruh pos 1, 2, ..., n



Gambar 2.3. Pembagian Daerah Cara Garis Isohyet

(Sumber: *Sri Harto, 1993*).

2.2.2. Uji Konsistensi Data Hujan

Uji Konsistensi Data Hujan merupakan suatu seri yang bisa terjadi ketidaksamaan data dan tidak konsisten data. Faktor yang menyebabkan data menjadi tidak homogen dan tidak konsisten meliputi:

1. Perubahan mendadak pada sistem hidrologis, misalnya karena adanya pembangunan gedung atau tumbuhnya pohon, gempa bumi dan sebagainya.
2. Pemindahan alat ukur.

3. Perubahan cara pengukuran, misalnya penggantian alat dengan jenis dan spesifikasi alat baru atau metode yang berbeda.

Data tidak homogen maupun data tidak konsisten menyebabkan hasil analisis tidak teliti. Oleh karena itu sebelum data tersebut dipakai untuk analisis, terlebih dahulu harus dilakukan uji konsistensi data. Uji konsistensi data sudah meliputi uji homogenitas data karena data yang konsisten juga berarti data tersebut adalah homogen (Harto, 1993).

Metode yang digunakan untuk pengujian data yaitu dengan Metode *Double Mass Analysis* dan Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).

1. Metode *Double Mass Analysis*

Metode *Double Mass Analysis* secara umum menggambarkan besaran hujan secara kumulatif stasiun yang diuji dengan besaran kumulatif rata-rata stasiun referensi disekitarnya. Ketidakkonsistenan data ditunjukkan oleh penyimpangan garis terhadap garis lurus nya. Persamaan yang dipakai adalah:

$$X_t = \sum_{n=t}^{i=1} R \cdot A_t$$

$$Y_t = \sum_{n=t}^{i=1} R_i$$

$$DMC_t = (X_t, Y_t)$$

dengan:

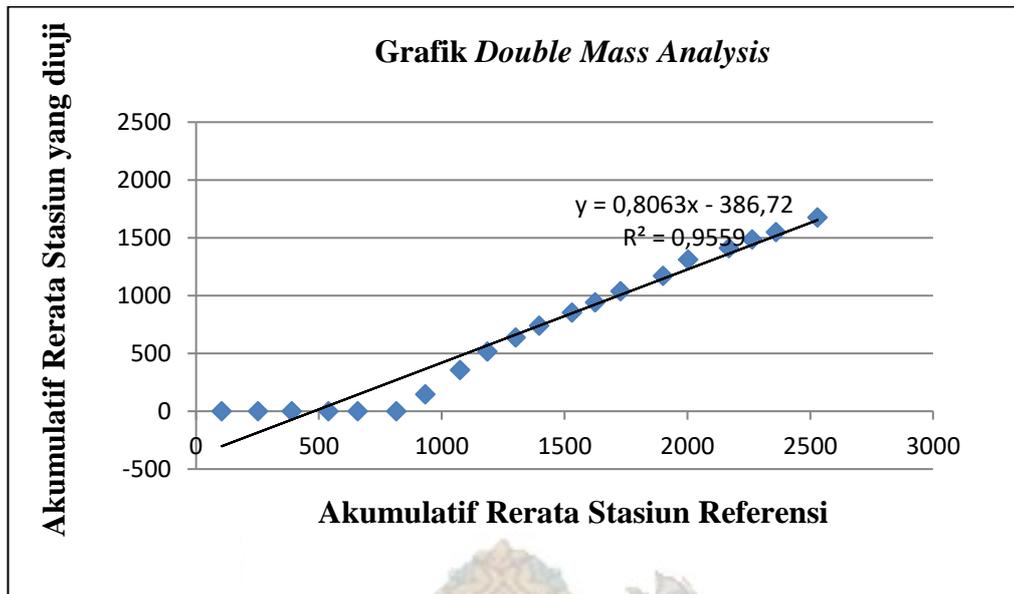
X_t = Kumulatif hujan stasiun A pada tahun ke t

Y_t = Kumulatif hujan stasiun referensi pada tahun ke t

R_i = Rata-rata curah hujan tahunan stasiun referensi pada tahun ke t

$R \cdot A_t$ = Curah hujan tahunan di stasiun A

DMC_t = Titik koordinat kurve lengkung massa ganda tahun ke t



Gambar 2.4. Grafik *Double Mass Analysis*

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

Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) adalah pengujian konsistensi dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri yaitu pengujian dengan kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan terhadap nilai reratanya (Harto, 1993).
 UNMAS DENPASAR

$$S_0^* = 0$$

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (\bar{y} - y_i) \text{ dengan } k = 0, 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(2.4)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{Dy} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})}{n} = \frac{\sum_{i=1}^k (S_k^*)^2}{n} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

y_i = Data hujan ke- i ,

y = Data hujan rerata- i ,

Dy = simpangan rata-rata

n = Jumlah data Nilai statistic Q

Nilai Statistik Q dan R :

$Q = \max |Sk^{**}|$ dengan $0 \leq k \leq n$

$R = \max Sk^{**} - \min Sk^{**}$ dengan $0 \leq k \leq n$

Dengan melihat nilai statistik maka dapat dicari nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n} .

Hasil yang dapat dibandingkan dengan nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n} . Sebagai syarat Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n} dihitung lebih kecil maka data masih dalam batasan konsisten. Syarat nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n} dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.1. Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n}

n	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$			$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	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*, 1993).

2.2.3. Uji Pemilihan Distribusi

Uji pemilihan distribusi dilakukan berdasarkan syarat pengujian tagihan data untuk menggunakan analisis frekuensi. Pemilihan metode perhitungan hujan rencana ditetapkan berdasarkan parameter dasar statistiknya. Perhitungan parameter dasar statistik (Harto, 1993):

1. Nilai Rata-rata

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

\bar{X} = Nilai rata-rata

X_i = Nilai Varian ke i

n = Jumlah data

2. Standard Deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

Sd = Standar Deviasi

X = Tinggi hujan rata – rata selama n tahun (mm)

X_i = Tinggi hujan (mm)

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

3. Koefisien Skewness (C_s)

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

Dimana:

C_s = Koefisien Skewness

X_i = Nilai varian ke i

\bar{X} = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah data

Sd = Standar deviasi

4. Koefisien Kurtosis (C_K)

$$C_K = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \dots\dots\dots (2.10)$$

C_K = Koefisien skewness

X_i = Nilai varian ke i

\bar{X} = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah data

Sd = Standar deviasi

5. Koefisien Variasi (C_V)

$$C_V = \frac{Sd}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.11)$$

C_V = Koefisien Variasi

Sd = Standar Deviasi

X = Curah Hujan Rata – rata (mm)

Syarat pengujian yang dipakai pada pengujian pemilihan distribusi adalah sebagai berikut (Sri Harto, 1993):

Tabel 2.2. Pengujian Pemilihan Distribusi

No.	Sebaran	Syarat
1.	Distribusi Normal	$C_s = 0$
2.	Distribusi Log Normal	$C_v = \frac{C_k}{3}$
3.	Distribusi Log-Pearson Type III	$C_k = 1,50 C_s^2 + 3$
4.	Distribusi Gumbel	$C_s = 1,1395$ $C_k = 5,4002$
5.	Bila tidak ada yang memenuhi syarat digunakan sebaran Log-Person type III	

Sumber: Sri Harto. 1993.

2.2.4. Analisa Hujan Rerata Daerah

Data yang tercatat pada stasiun pencatat hujan adalah merupakan hujan titik (*point rainfall*). Analisa selanjutnya yang perlu diketahui adalah besarnya hujan rerata daerah. Dalam studi ini metode yang digunakan dalam menghitung hujan rerata daerah dengan metode rata-rata aljabar (*arithmetic mean*) (Harto, 1993).

Cara ini memberikan hasil yang dapat dipercaya, dengan syarat stasiun terbagi merata di areal tersebut dan hasil pengukuran masing-masing stasiun hujan tidak menyimpang jauh dari harga rata-rata seluruh stasiun hujan. Persamaan nya:

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_1^n \frac{d_1}{n} \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan:

d = tinggi curah hujan rata-rata areal

d₁, d₂, d₃, ... d_n = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, 3, ..., n

n = banyaknya pos penakar

2.3. Analisis Curah Hujan Rencana

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi hujan dengan periode ulang tertentu. Metode analisis hujan rancangan tersebut pemilihannya tergantung dari kesesuaian parameter statistik data berdasarkan pertimbangan teknis lainnya. Untuk menganalisis probabilitas hujan (Curah Hujan Rencana) dan probabilitas banjir (Debit Banjir Rencana) biasanya dipakai beberapa macam distribusi (Soemarto, 1999), yaitu:

1. Distribusi Normal

Persamaan nya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan:

X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T – tahunan

\bar{X} = nilai rata-rata hitung variant

S = deviasi standar nilai varian

K_T = faktor frekuensi

Tabel 2.3. Distribusi Normal

No.	Periode Ulang (T) Tahun	Peluang	K_T
1.	1,001	0,999	-3,05
2.	1,250	0,800	-0,84
3.	1,670	0,600	-0,25
4.	2,500	0,400	0,25
5.	2,000	0,500	0
6.	5,000	0,200	0,84
7.	10,000	0,100	1,28
8.	20,000	0,050	1,64
9.	50,000	0,020	2,05
10.	100,000	0,010	2,33

(Sumber: *Suripin*, 2004)

2. Distribusi Log-Pearson Type III

Distribusi *Log-Pearson Type III* merupakan perkembangan fungsi probabilitas yang dilakukan oleh *Pearson*. Metode yang dianjurkan dalam pemakaian distribusi *Log Pearson Type III* ialah dengan mengkonversikan rangkaian datanya menjadi bentuk logaritmis.

Nilai rerata:

$$\overline{\text{Log } X} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Log } X}{n} \dots\dots\dots (2.14)$$

Atau dengan cara:

$$\sigma \log x = \frac{\sum (\log x)^2 - (\sum \log x)^2 / n}{n - 1}$$

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

Standard Deviasi :

$$\sigma \log x = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1} \dots\dots\dots(2.16)$$

Koefisien Asimetri:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log x - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2) (\sigma \log x)^3} \dots\dots\dots(2.17)$$

Tabel 2.4. Harga Kemencengan Distribusi Log Pearson type III

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,625	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,410	4,395
0,8	-0,132	0,78	1,336	1,998	2,453	2,891	3,321	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,116	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Sumber: *Suripin*, 2004)

3. Distribusi Gumbel

Metode E.J. Gumbel dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K \cdot S_x \dots \dots \dots (2.18)$$

dengan :

X_T = Variate yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rancangan untuk periode ulang T tahun.

\bar{X} = Harga rerata dari data

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n X_i$$

S_x = Standard deviasi

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \bar{X} \sum_{i=1}^n X_i}{n - 1}}$$

K = Faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang (return periode) dan tipe distribusi frekuensi.

Untuk menghitung faktor frekuensi E.J Gumbel Type I digunakan rumus :

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan :

Y_t = Fungsi periode ulang

T (th) = $-\text{Ln} (-\text{Ln} (T - 1) / T)$

Y_n = *Reduced mean* sebagai fungsi dari banyaknya data n

S_n = *Reduced Standard* deviasi sebagai fungsi dari banyaknya data n

Dengan mensubstitusikan ketiga persamaan diatas diperoleh :

$$X_t = \bar{X} + \frac{S_x}{S_n} (Y_t - Y_n) \dots\dots\dots(2.20)$$

Jika:

$$\frac{1}{a} = \frac{S_x}{S_n}$$

$$b = \bar{X} - (S_x / S_n) \cdot Y_n$$

Persamaan diatas menjadi:

$$X_t = b + (1/a) \cdot Y_T \dots\dots\dots(2.21)$$

Tabel 2.5. Nilai Rata-Rata dari *Reduced Variate* (Y_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5032	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5520
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5309	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5553	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5507	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

(Sumber: *Suripin*, 2004).

Tabel 2.6. Deviasi Standar dari *Reduced Variate* (S_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

(Sumber: *Suripin*, 2004).

Tabel 2.7. Nilai *Reduced Variate* (Y_T)

Periode Ulang Tr. (tahun)	Reduced Variate Y_{Tr}	Periode Ulang Tr. (tahun)	Reduced Variate Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

(Sumber: *Suripin*, 2004).

2.3.1. Pemeriksaan Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Ada dua metode pemeriksaan kesesuaian yang lazim di pakai yaitu metode *Chi-Square Test* (X^2 test) dan metode *Smirnov-Kolmogorof*. Hasil perhitungan dari kedua metode tersebut akan menentukan apakah distribusi yang digunakan dalam analisis sesuai, menurut ketentuan yang harus dipenuhi (Sri Harto, 1993)

1. Metode *Chi Kuadrat*

Metode ini hanya cocok digunakan untuk memeriksa data pengamatan yang banyak, Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X^2 = \sum \frac{(E_f - O_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (2.22)$$

dimana:

X^2 = Harga *Chi –kuadrat*

E_f = Frekuensi (banyaknya pengamatan yang diharapkan, sesuai pembagian kelasnya)

O_f = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

Nilai X^2 yang terdapat ini harus lebih kecil dari nilai X^2 Cr (*Chi-kuadrat* kritik) yang didapat dari tabel, untuk suatu derajat nyata tertentu (*level of significance*), yang sering diambil sebesar 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dapat dihitung dengan:

$$DK = k - (P + 1)$$

Dimana:

DK = Derajat kebebasan (*number of degree of freedom*)

K = Banyaknya kelas (grup)

P = Banyaknya keterikatan (*constrain*) atau sama dengan parameter, yang untuk distribusi *Chi-kuadrat* = 2

Urutan Pemeriksaan kesesuaian distribusi adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data pengamatan dari kecil ke besar atau sebaliknya.
2. Kelompokkan data pengamatan menjadi beberapa “k” kelas interval
3. Catat frekwensi data pengamatan pada setiap kelas interval (O_f)
4. Hitung frekwensi kejadian yang diharapkan, sesuai pembagian kelasnya. (E_f)
5. Hitung nilai X^2
6. Tetapkan nilai derajat kebebasan DK
7. Tetapkan tingkat kepercayaan

8. Cari X^2 kritis pada tabel harga kritis *Chi-Square*
9. Bandingkan X^2 hitungan dengan X^2 kritis, bila X^2 hitungan $< X^2$ kritis, berarti metode distribusi yang diperiksa dapat diterima.

2. Metode *Smirnov-Kolmogorof*

Uji *Smirnov-Kolmogorof* digunakan untuk pengujian kecocokan distribusi dapat dilakukan lebih sederhana dengan membandingkan probabilitas untuk semua varian, dari distribusi empiris dan teoritisnya akan terdapat perbedaan (α) tertentu (Sri Harto, 1983). Berdasarkan persamaan *Smirnov dan Kolmogorov*:

$$\alpha = P \left\{ \max |P(X) - P(X_i)| \right\} \Delta_{cr}$$

Apabila nilai Δ max yang terbaca pada kertas kemungkinan (Δ_{cr} yang didapat dari tabel Δ kritis untuk Uji *Smirnov Kolmogorov*) Untuk derajat nyata (*level of significance*) dan banyaknya varian yang tertentu, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi hanya karena kesalahan-kesalahan yang terjadi secara kebetulan. Urutan test ini adalah sebagai berikut:

1. Susun data curah hujan harian merata tiap tahun dari kecil ke besar atau sebaliknya.
2. Hitung probabilitas untuk masing-masing data hujan dengan persamaan *Weibull* sebagai berikut:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.23)$$

dimana:

P = Probabilitas (%).

m = Nomor urut data dari seri data yang telah disusun.

n = Banyak data.

3. Gambarkan (*plot*) distribusi empiris maupun distribusi teoritis pada kertas grafik probabilitas yang sesuai.
4. Kemudian cari harga mutlak perbedaan maksimum antara distribusi empiris (P empiris) dengan distribusi teoritis (P teoritis).
5. Δ Maks = maksimum $|P$ teoritis $- P$ empiris|.
6. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan nilai Δ kritis.
7. Apabila Δ Maks $\leq \Delta$ kritis , maka distirbusi teroritisnya dapat diterima dan bila terjadi sebaliknya maka distribusi teoritisnya tidak dapat diterima.

Tabel 2.8. Nilai Delta Kritis (Δ cr) Untuk Uji *Smirnov – Kolmogorov*

α n	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,67
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	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

(Sumber: *Shahin*, 1976).

2.3.2. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periodenya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan

biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) digunakan rumus pendekatan *Mononobe* sebagai berikut (Sosrodarsono, 1995):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2.3} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

I = intensitas hujan (mm/jam)

R₂₄ = hujan harian rencana (mm)

T = lamanya hujan

Untuk mendapatkan persamaan lengkung IDF dipakai cara kwadrat terkecil (*lest square*) dari tiga jenis metode yang umum dipakai yaitu : metode *Talbot*, metode *Sherman* dan metode *Ishiguro*:

1. Metode *Talbot* (1881)

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan :

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

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

2. Metode *Sherman* (1905)

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan :

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

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

3. Metode *Ishiguro* (1953)

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

Dengan :

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

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

Besarnya deviasi rata-rata dari ketiga jenis rumus harus dihitung untuk mengetahui metode (jenis rumus) yang memberikan hasil yang optimum sebagai rumus persamaan kurva lengkung IDF.

2.4. Analisis Debit Banjir Rancangan

Menurut (Dapartemen Pekerjaan Umum, 1986), angka periode ulang yang digunakan untuk bangunan air atau sungai adalah:

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| 1. Tubuh bendungan | : 1000 th |
| 2. Pelimpah bendungan | : 100 th |
| 3. Cover DAM pada bendungan | : 20 th |
| 4. Bendung sungai besar sekali | : 100 th |
| 5. Bendung sungai sedang | : 50 th |

6. Bendung sungai kecil	: 25	th
7. Tanggul sungai besar/ daerah penting	: 25	th
8. Tanggul sungai kecil/ daerah tidak penting	: 10	th
9. Jembatan jalan penting	: 25	th
10. Jembatan jalan tidak penting	:10	th
11. Drainase perkotaan	: 5	th

Banjir rancangan adalah debit maksimum di sungai atau saluran dengan periode ulang yang sudah ditentukan. Berdasarkan analisis curah hujan rancangan dari data curah hujan harian maksimum dapat dihitung besarnya debit banjir rancangan dengan kala ulang 5, 10, 25, 50. Analisis debit banjir rancangan dibedakan antara banjir di Sungai dan banjir pada saluran drainase. Banjir pada saluran drainase dianalisis menggunakan rumus Rasional adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,278. I.C.A$$

dengan :

Q = debit rencana ($m^3/detik$)

C = koefisien pengaliran/limpasan

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran/area (km^2)

Saluran sekunder digunakan intensitas hujan dengan periode ulang 5 tahun, sedangkan saluran tersier menggunakan periode ulang 2 tahun. Perhitungan kapasitas saluran tersebut dilakukan dengan memperhatikan koefisien kekasaran manning, bentuk penampang saluran dan prinsip saluran terbuka. Parameter yang menentukan dalam perhitungan debit adalah sebagai berikut:

1. Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran merupakan daerah cakupan hujan yang terjadi di dalam daerah pengaliran. Penentuan daerah pengaliran sangat tergantung dari kontur permukaan.

2. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi persatuan waktu, pada air tersebut terkonsentrasi.

3. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variable yang didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut.

Tabel 2.4. Koefisien Pengaliran

No	Jenis Daerah	Koefisien C
1.	Daerah perdagangan	0,70 – 0,90
	a. Perkotaan (<i>down town</i>) b. Pinggiran	0,50 – 0,70
2.	Pemukiman	
	a. Perumahan satu keluarga	0,30 – 0,50
	b. Perumahan berkelompok, terpisah- pisah	0,40 – 0,60
	c. Perumahan berkelompok, bersambungan	0,60 – 0,75
	d. Suburban	0,25 – 0,40
e. Daerah apartemen	0,50 – 0,70	
3.	Industri	
	a. Daerah industri ringan b. Daerah industri berat	0,50 – 0,80 0,60 – 0,90
4.	Taman, perkuburan	0,10 – 0,25
5.	Tempat bermain	0,20 – 0,35
6.	Daerah stasiun kereta api	0,20 – 0,40
7.	Daerah belum diperbaiki	0,10 – 0,30
8.	Jalan	0,70 – 0,95
9.	Bata	
	a. Jalan, hamparan b. atap	0,75 – 0,85 0,75 – 0,95

(Sumber: Arsyad, 2006).

2.4.1. Analisis Koefisien *Run-Off*

Koefisien pengaliran dari suatu bidang tanah/suatu daerah tergantung dari tata guna tanah, kepadatan penduduk, struktur geologi tanah. Besar koefisien pengaliran rata-rata dari suatu wilayah dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_iA_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan:

C = koefisien pengaliran

A = luas wilayah pengaliran

Sedangkan penentuan koefisien *Run-Off* campuran untuk kawasan dapat dengan menggunakan persamaan:

$$C_n = C_0 + N(1 - C_0)$$

Dimana:

C_n = Koef. *Run off* saat ini

C_0 = Koef. *Run off* awal

N = Presentase lahan yang tidak tertutup bangunan

2.4.2. Distribusi Hujan

Perhitungan distribusi atau sebaran hujan jam-jaman digunakan metode dari

Mononobe dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_t = \frac{R_{24}}{T} \times \left(\frac{t}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.29)$$

dengan:

R_t = Intensitas hujan hujan rata-rata dalam t jam (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan efektif dalam 1 hari

t = Waktu konsentrasi (jam)

T = Waktu mulai hujan (jam)

2.4.3. Limpasan

Limpasan adalah apabila intensitas yang jatuh di suatu DAS melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan pada permukaan tanah. Atau limpasan permukaan terjadi ketika laju hujan lebih besar dari pada laju infiltrasi dan persamaan limpasan permukaan selalu dikembangkan berdasarkan pada kondisi tersebut (Asdak, 2010).

Setelah cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir (melimpas) diatas permukaan tanah. Faktor yang menyebabkan limpasan dan genangan air hujan dipengaruhi lima hal yaitu intensitas curah hujan, jenis tutupan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan kerapatan aliran.

Beberapa variabel yang ditinjau dalam analisis banjir adalah volume banjir, debit puncak, tinggi genangan, lama genangan dan kecepatan aliran. Komponen limpasan terdiri dari:

1. Aliran Permukaan

Aliran Permukaan (*surface flow*) adalah bagian dari air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas permukaan tanah. Aliran permukaan disebut juga aliran langsung (*direct runoff*). Aliran permukaan dapat terkonsentrasi menuju sungai dalam waktu singkat, sehingga aliran permukaan merupakan penyebab utama terjadinya banjir.

2. Aliran Antara

Aliran antara (*interflow*) adalah aliran dalam arah lateral yang terjadi di bawah permukaan tanah. Aliran antara terdiri dari gerakan air dan lensa tanah secara lateral menuju elevasi yang lebih rendah.

3. Aliran air tanah

Aliran air tanah adalah aliran yang terjadi di bawah permukaan air tanah ke elevasi yang lebih rendah yang akhirnya menuju sungai atau langsung ke laut.

2.4.4. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variabel didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut (Soemarto, 1999).

Kondisi dan karakteristik yang dimaksud adalah:

1. Keadaan hujan
2. Luas dan bentuk daerah aliran
3. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
4. Daya infiltrasi dan perkolasi tanah
5. Kebasahan tanah
6. Suhu udara dan angin serta evaporasi dan
7. Tata guna tanah

Koefisien pengaliran yang disajikan pada tabel berikut, didasarkan dengan suatu pertimbangan bahwa koefisien tersebut sangat tergantung pada faktor fisik.

Tabel 2.9. Angka Koefisien Pengaliran

Kondisi DAS	Koef. Pengaliran (C)
Pegunungan curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Tanah berelief berat dan berhutan kayu	0,50 – 0,75
Daratan pertanian	0,45 – 0,60
Daratan sawah irigasi	0,70 – 0,80
Sungai di pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai di daratan rendah	0,45 – 0,75
Sungai besar yang sebagian alirannya berada di daratan rendah	0,50 – 0,75

(Sumber: Soemarto, 1999).

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

$$f = 1 - R'/R_t = 1 - f^l \dots\dots\dots(2.30)$$

dengan:

f = koefisien pengaliran

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

R_t = jumlah curah hujan (mm)

R' = kehilangan curah hujan

t, s = tetapan

2.4.5. Metode Rasional

Metode rasional digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan pada daerah tangkapan aliran (DTA) kecil. Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun terbatas untuk DTA dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (Suripin, 2004).

Metode ini digunakan untuk daerah aliran sungai kecil (sekitar 1000 sampai 5000 hektar) dan diasumsikan bahwa curah hujan turun dengan intensitas konstan dan seragam di semua cekungan. (Majidi, 2012)

Rumus ini banyak digunakan untuk sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas dan juga untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang relatif sempit dan merupakan rumus tertua yang dan paling populer diantara rumus empiris lainnya. Bentuk umum rumus rasional ini adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,002778 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan:

Q = Debit puncak (m³/detik)

F = Koefisien satuan luas, jika luas lahan dalam Ha maka F = 0,00278, jika luas lahan acre maka F=1

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah (Hektar)

2.4.6. Hidrograf Satuan Nakayasu

Penggunaan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, diperlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya, seperti:

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*).
2. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time log*).
3. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*).
4. Luas daerah aliran.

5. Panjang aluran sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*) dan
6. Koefisien pengaliran.

Menurut (Soemarto, 1999) persamaan umum hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut dan dikoreksi untuk nilai waktu puncak banjir dikalikan 0,75 dan debit puncak banjir dikalikan 1,2 untuk penyesuaian dengan kondisi di Indonesia. Rumus dari hidrograf satuan Nakayasu adalah:

$$Q_p = \frac{1,2 \times A \times R_o}{3,6 \times (0,3T_p + T_{3,0})} \dots\dots\dots (2.33)$$

dimana:

Q_p = Debit puncak banjir (m^3 / det)

R_o = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30 % dari debit puncak.

$$T_p = T_g + 0,8 T_r$$

$$T_g = 0,21 \times L^{0,7} \quad \rightarrow \quad L < 15 \text{ km}$$

$$T_g = 0,4 + 0,058 \times L \quad \rightarrow \quad L > 15 \text{ km}$$

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g$$

Dimana:

L = Panjang alur sungai (km)

T_g = Waktu konsentrasi (jam)

T_r = Satuan waktu hujan

α = Untuk daerah pengaliran

Persamaan satuan hidrograf adalah:

1. Pada waktu naik:

$$- 0 \leq t \leq T_p$$

$$Q_t = Q_{maks} \times \left[\frac{t}{T_p} \right]^{2,4} \dots\dots\dots (2.34)$$

2. Pada kurva turun:

$$- 0 \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{t - T_p}{T_{0,3}} \right]} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$- (T_p + T_{0,3} \leq (T_p + T_{0,3} + T_{0,3}^2))$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{t - T_p + T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}} \right]} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$- t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[t -]} \dots\dots\dots (2.37)$$



Gambar 2.5. Hidrograf Satuan Nakayusu

(Sumber: Soemarto, 1999)

2.5. Dimensi Saluran

Dimensi saluran adalah suatu tempat lain melalui bangunan pembawa alamiah maupun buatan manusia. Bangunan pembawa ini dapat terbuka maupun tertutup bagian atasnya. Saluran yang tertutup bagian atasnya disebut saluran

tertutup (*closed conduits*), sedangkan yang terbuka bagian atasnya disebut saluran terbuka (*open channels*).

Pada sistem pengaliran melalui saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas (*free surface*) di mana permukaan bebas ini dipengaruhi oleh tekanan udara luar secara langsung, saluran terbuka umumnya digunakan pada lahan yang masih memungkinkan (luas), lalu lintas pejalan kakinya relatif jarang, beban kiri dan kanan saluran relatif ringan. Pada sistem pengaliran melalui saluran tertutup (pipa *flow*) seluruh pipa diisi dengan air sehingga tidak terdapat permukaan yang bebas, oleh karena itu permukaan tidak secara langsung dipengaruhi oleh tekanan udara luar, saluran tertutup umumnya digunakan pada daerah yang lahannya terbatas (pasar, pertokoan), daerah yang lalu lintas pejalan kakinya relatif padat, lahan yang dipakai untuk lapangan parker (Suripin, 2004).

Berdasarkan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasarnya saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi:

- Saluran prismatic (*prismatic channel*), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya tetap.

Contoh: saluran drainase, saluran irigasi.

- Saluran non prismatic (*non prismatic channel*), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya berubah.

Aliran pada saluran terbuka terdiri dari saluran alam (*natural channel*), seperti: sungai kecil di daerah hulu (pegunungan) hingga sungai besar dimuara, dan saluran buatan (*artificial channel*), seperti saluran drainase tepi jalan, saluran irigasi untuk mengairi persawahan, saluran pembuangan, saluran untuk membawa

air ke pembangkit listrik tenaga air, saluran untuk *supply* air minum, dan saluran banjir. Saluran buatan dapat berbentuk segitiga, trapesium.

2.5.1. Penampang Saluran

Penampang hidrolis terbaik adalah penampang yang mempunyai keliling basah terkecil pada luas penampang tertentu yang akan memberikan aliran yang maksimum atau penampang saluran yang memberikan luas penampang aliran (penampang basah) terkecil pada debit aliran tertentu dimana bentuk penampang saluran akan dapat berpengaruh terhadap besarnya debit aliran yang dapat diangkut atau dialirkan oleh saluran (Suripin, 2004).

Disamping untuk meningkatkan kapasitas saluran, bentuk penampang saluran juga dapat disesuaikan dengan fungsi saluran tersebut dibuat. Adapun bentuk saluran yang dikaitkan dengan fungsi saluran adalah sebagai berikut:

1. Bentuk penampang persegi panjang apabila dilihat pada bagian dinding saluran dapat digunakan sebagai dinding penahan serta ruang untuk saluran sangat terbatas.
2. Bentuk penampang lingkaran atau parabola, walaupun pembuatannya relatif agak sulit tetapi apabila dilihat dari fungsi saluran cukup efektif untuk mengalirkan bahan endapan, serta adanya fluktuasi debit aliran atau untuk mengalirkan air limbah.
3. Bentuk penampang tersusun dibuat apabila lahan terbatas untuk saluran atau fungsi saluran mengalirkan air limbah dan air hujan (tercampur). Penampang tersusun dapat dibuat kombinasi antara empat persegi panjang dengan setengah

lingkaran atau persegi panjang dengan segitiga dibagian bawah dan sebagainya.

Pemilihan bentuk penampang saluran dalam praktek harus dilakukan sedemikian rupa sehingga sedapat mungkin dipenuhi aspek ekonomis penampang saluran dalam arti kata dengan luas penampang tertentu mampu mengalirkan debit air sebanyak-banyaknya (maksimum), selain juga melihat fungsi saluran, misalnya apabila saluran untuk mengalirkan endapan (Chow, 1993).

2.5.2. Kekasaran Dinding Saluran

Seorang insinyur Irlandia bernama Robert Manning 1889 (Montjai, 2015) mengemukakan sebuah rumus kecepatan yaitu sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (2.38)$$

dengan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

V = Kecepatan aliran (m/dt)

I = Kemiringan memanjang dasar saluran

n = Koefisien kekasaran menurut Manning yang besarnya tergantung dari bahan dinding saluran yang dipakai.

Apabila bentuk rumus Manning diubah menjadi rumus *Chezy* maka besarnya C adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \dots\dots\dots (2.39).$$

Dengan:

C = Koefisien *Chezy*

R = Jari – jari hidrolis (m)

n = Koefisien kekasaran menurut Manning

Menurut Chow (1989), faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran Manning antara lain:

1. Kekasaran permukaan, yang ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Secara umum dikatakan bahwa butiran halus menyebabkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi.
2. Tumbuhan yang juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.
3. Ketidakteraturan saluran, yang mencakup pula ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk di sepanjang saluran. Secara umum perubahan lambat laun dan teratur dari penampang ukuran dan bentuk tidak terlalu mempengaruhi nilai n , tetapi perubahan atau peralihan dari penampang kecil ke besar memerlukan penggunaan nilai n yang besar.
4. *Trase* Saluran, dimana kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai n yang relatif rendah, sedangkan kelengkungan yang tajam dengan belokan yang patah akan memperbesar nilai n .
5. Pengendapan dan penggerusan. Secara umum pengendapan dapat mengubah saluran yang sangat tidak beraturan menjadi cukup beraturan dan memperkecil n , sedangkan penggerusan dapat berakibat sebaliknya dan memperbesar n . Namun efek utama dari pengendapan akan tergantung dari sifat alamiah bahan yang diendapkan.

6. Hambatan, berupa balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya yang cenderung memperbesar nilai n .

Nilai yang berupa koefisien atau angka (jari–jari) kekasaran dinding akan sangat berpengaruh pada besarnya kecepatan aliran dan akan berpengaruh terhadap besarnya debit aliran. Semakin kasar dinding akan semakin besar nilai kekasaran dinding dan menghasilkan debit aliran yang semakin kecil dan juga sebaliknya semakin halus dinding akan menghasilkan debit aliran yang semakin tinggi.

2.5.3. Kapasitas Saluran

Perhitungan hidraulika digunakan untuk menganalisa dimensi penampang berdasarkan kapasitas maksimum saluran. Penentuan dimensi saluran yang direncanakan, berdasarkan debit maksimum yang akan dialirkan (Suripin, 2004).

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{sal}} = A \cdot V \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana:

Q_{sal} = Debit banjir rancangan (m^3/dt)

A = Luas penampang basah (m^2)

V = Kecepatan rata-rata.

Dengan:

$$A = B \cdot h$$

$$P = B + 2h$$

$$R = \frac{A}{P}$$

dimana:

B = Lebar dasar saluran (m)

P = Keliling basah saluran (m)

h = Tinggi muka air (m)

R = Jari-jari hidraulik (m)

Tabel 2.10 Tinggi Jagaan untuk saluran pasangan

No.	Debit (m ³ /dt)	Tinggi Jagaan (m)
1	< 0,5	0,15
2	0,5 – 1,5	0,20
3	1,5 – 5,0	0,25
4	5,0 – 10,0	0,30
5	10 – 50	0,40
6	> 50	0,50

(Sumber: *Standar Perencanaan*, KP – 03, 1986).

2.6. Program HEC–RAS (Hidrolika)

HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan. HEC–RAS berfungsi untuk menghitung profil muka air aliran permanen berubah beraturan (*steady gradually varied flow*) yang mampu memodelkan jaring sungai, sungai dendritik, maupun sungai tunggal.

Perhitungan profil muka air yang dilakukan oleh modul aliran permanen HEC-RAS didasarkan pada penyelesaian persamaan energi (satu-dimensi). Kehilangan energi dianggap diakibatkan oleh gesekan (Persamaan Manning) dan kontraksi/ekspansi (koefisien dikalikan beda tinggi kecepatan). Persamaan momentum dipakai manakala dijumpai aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*), misalnya campuran regime aliran sub-kritik dan super-kritik (*hydraulic jump*), aliran melalui jembatan, aliran di percabangan sungai (*stream junctions*).

HEC-RAS dalam aliran permanen mampu memperhitungkan pengaruh berbagai hambatan aliran, seperti jembatan (*bridges*), gorong-gorong (*culverts*), bendung (*weirs*), ataupun hambatan di bantaran sungai. Aliran permanen dirancang untuk dipakai pada permasalahan pengelolaan bantaran sungai dan penetapan asuransi risiko banjir berkenaan dengan penetapan bantaran sungai dan dataran banjir.

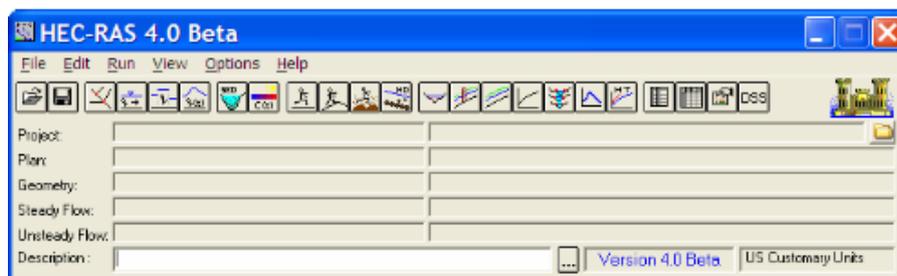
Aliran permanen dapat pula dipakai untuk perkiraan perubahan muka air akibat perbaikan alur atau pembangunan tanggul. Aliran permanen HEC-RAS mencakup analisis plan ganda, hitungan profil ganda, analisis bukaan gorong-gorong atau pintu ganda, optimasi pemisahan aliran, serta desain dan analisis saluran stabil.

HEC-RAS dalam aliran tak-permanen hanya dapat diaplikasikan pada aliran sub-kritik, namun sejak diluncurkannya versi 3.1, aliran tak-permanen HEC-RAS dapat pula mensimulasikan regime aliran campuran (sub-kritik, super-kritik, loncat air, dan *draw-downs*). Aliran tak-permanen mencakup analisis dam-*break*, limpasan melalui tanggul dan tanggul jebol, pompa, operasi dam navigasi, serta aliran tekan dalam pipa (Istiarto, 2014)

HEC-RAS menampilkan hasil hitungan dalam bentuk grafik dan tabel. Grafik dipakai untuk menampilkan penampang lintang di suatu *River Reach*, penampang panjang (profil muka air sepanjang alur), kurva ukur debit, gambar perspektif alur (untuk hitungan aliran tak permanen). Tabel yang dipakai untuk menampilkan hasil rinci berupa angka (nilai) variabel di lokasi atau titik tertentu,

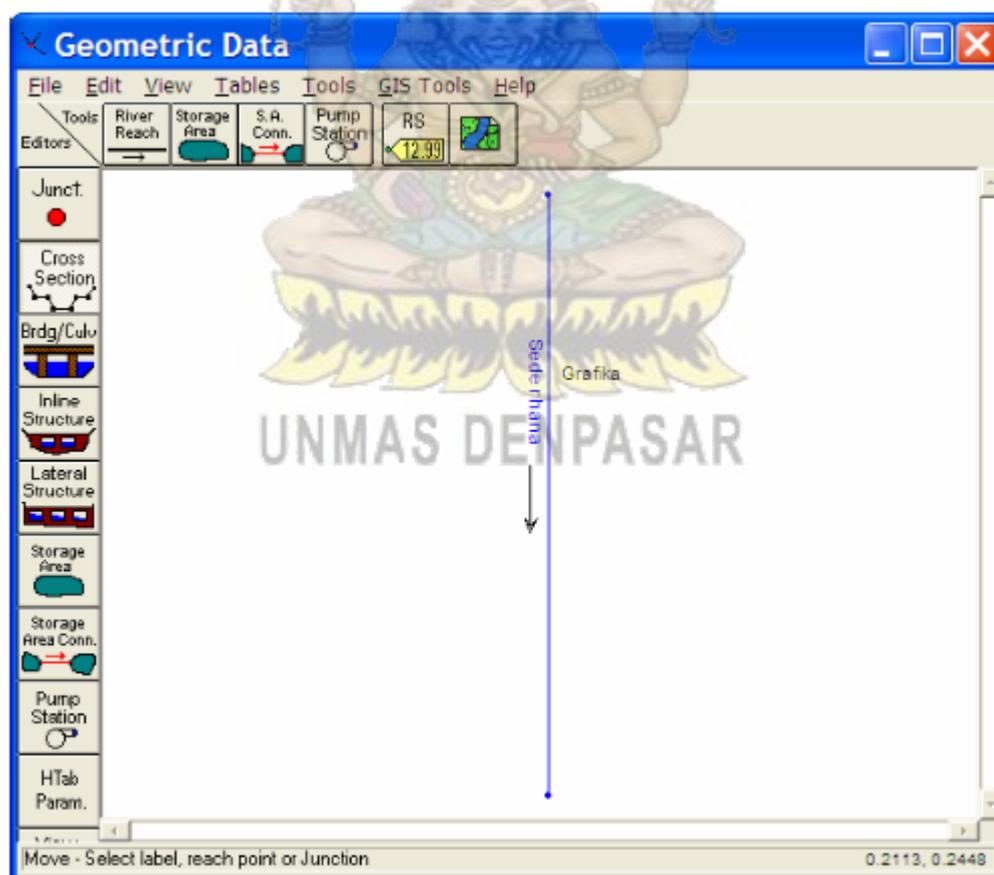
laporan ringkas proses hitungan seperti kesalahan dan peringatan. Berikut adalah langkah-langkah dalam menghitung HEC-RAS:

1. Hasil Tampilan Utama



Gambar 2.6. Hasil Tampilan Utama

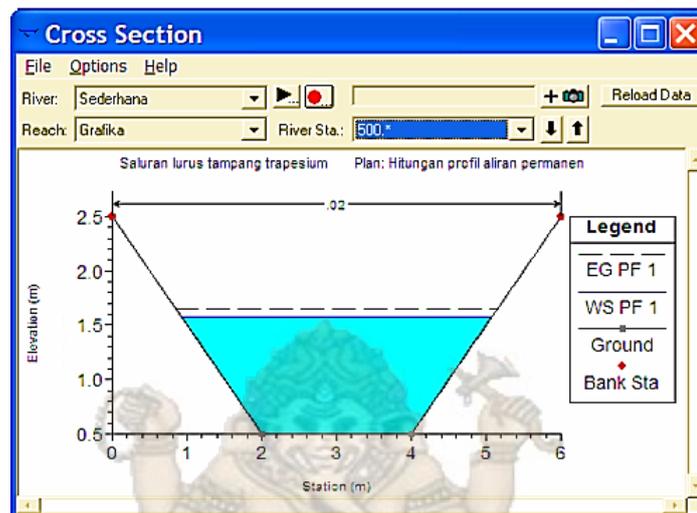
2. Geometri Data



Gambar 2.7. Geometri Data

3. Hasil Hitungan di sebuah Tampang Lintang (*View cross sections*)

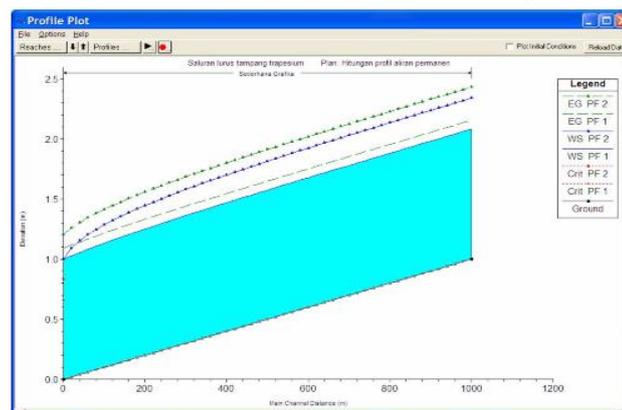
Tampang Lintang (*View cross sections*) merupakan untuk menampilkan grafik tampang lintang seperti tampak pada gambar berikut:



Gambar 2.8. Tampang Lintang (*View cross sections*)

4. Hasil Hitungan Profil Muka Air di Sepanjang Alur (*Water Surface Profiles*)

Profil Muka Air di Sepanjang Alur (*Water Surface Profiles*) merupakan untuk menampilkan grafik profil muka air di sepanjang alur (tampang panjang) seperti tampak pada gambar berikut:

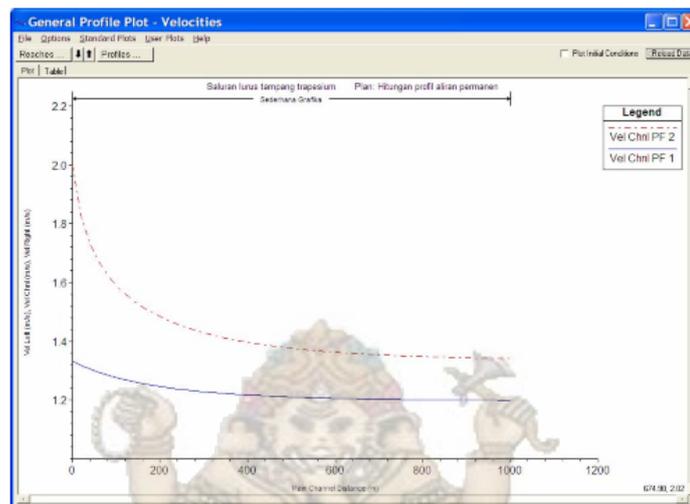


Gambar 2.9. Profil Muka Air di Sepanjang Alur (*Water Surface Profiles*)

5. Hasil Hitungan Profil Variabel Aliran di Sepanjang Alur (*General Profile Plot*)

Profil Variabel Aliran di Sepanjang Alur (*General Profile Plot*)

merupakan grafik profil kecepatan aliran di sepanjang alur pada gambar berikut:



Gambar 2.10. Profil Variabel Aliran di Sepanjang Alur (*General Profile Plot*)

6. Hasil Hitungan dalam Bentuk Tabel (*Detailed Output Tables*)

Detailed Output Tables merupakan layar tabel hasil hitungan pada sebuah penampang lintang akan muncul seperti gambar berikut:

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	V _c (ft/s)
Grafika	1000	PF 1	4.00	1.00	2.08		2.16	0.001004	
Grafika	1000	PF 2	6.00	1.00	2.34		2.43	0.001014	
Grafika	980.*	PF 1	4.00	0.98	2.06		2.14	0.001003	
Grafika	980.*	PF 2	6.00	0.98	2.32		2.41	0.001015	
Grafika	960.*	PF 1	4.00	0.96	2.04		2.12	0.001004	

Total flow in cross section.

Gambar 2.11. Bentuk Tabel (*Detailed Output Tables*)