

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Drainase secara umum didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu. (H.A. Halim Hasmar, 2012). Drainase berasal dari Bahasa Inggris yaitu *drainage* yang artinya mengalirkan, menguras, membuang atau mengalihkan air. Drainase juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Drainase yaitu suatu cara pembangunan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut (Suhardjono. 1948).

Pengertian drainase jalan yaitu membuang atau mengalirkan air (air hujan, air limbah, atau air tanah) ke tempat pembuangan yang telah ditentukan dengan cara gravitasi atau sistem pemompaan. Secara umum dikenal adanya 2 (dua) sistem drainase yaitu sistem drainase permukaan dan sistem drainase bawah permukaan. Sistem drainase dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Pada sistem drainase sering ditemui beberapa bangunan lainnya, seperti gorong-gorong, siphon, jembatan air (*aqua duct*), pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tandon dan stasiun pompa (Supirin, 2004).

2.2. Drainase Permukaan

Drainase permukaan bertujuan untuk menampung, mengalirkan dan membuang kelebihan air (hujan) dari permukaan jalan agar tidak merusak perkerasan jalan. Secara umum ada 2 (dua) jenis bangunan drainase permukaan yaitu selokan samping dan gorong-gorong. Fungsi keduanya sebagai “jalan air” supaya air hujan segera keluar dari permukaan jalan. Proses terbuangnya air (hujan) dari lapis permukaan ke bagian luar jalan atau ke selokan samping kemudian melalui gorong-gorong dibuang keluar dari badan jalan atau tempat buangan air (*outlet*) yang telah ditentukan, dengan berdasarkan hukum gravitasi. Karena air bergerak ke tempat

yang lebih rendah, maka prinsip ini yang digunakan dalam mendesain drainase jalan.

2.3.Dasar-Dasar dan Kriteria Perencanaan Drainase

2.3.1. Analisa Hidrologi

Besarnya debit aliran yang ditampung dan dibuang oleh sistem drainase dihitung berdasarkan analisis hidrologi. Karena bangunan drainase dibuat untuk menampung dan membuang air hujan, maka masukan data pokok yang diolah pertama-tama adalah data curah hujan yang masih berupa data mentah. Data mentah ini akan diolah dengan analisis hidrologi untuk menetapkan besarnya intensitas hujan, dengan diketahuinya intensitas hujan maka besar debit aliran dengan menggunakan pendekatan lainnya bergantung dari luas Daerah Aliran Sungai (DAS) atau “*catchment area*”. Setelah debit aliran sudah diperoleh dari analisis hidrologi maka dapat dipakai sebagai bahan masukan untuk menghitung dimensi bangunan drainase dengan menggunakan perhitungan hidraulika.

2.3.1.1.Perhitungan Hujan Rerata Lingkungan Kampus ITERA

Ada 3 (tiga) cara untuk melakukan perhitungan hujan rerata DAS yaitu (a) Rata-Rata Aritmatik (Aljabar), (b) Rata-Rata Thiessen dan (c) Isohyet. Dari ketiga cara tersebut hanya dua cara pertama yang paling sering digunakan di Indonesia karena kesederhanaannya. Untuk rata-rata Arimatika, jumlah pos penakar hujan cukup dan luas daerah aliran sungai kurang dari 500 km². Dan rata-rata Thiessen, jumlah pos penakar hujan terbatas dan luas daerah aliran sungai sedang yaitu dari 500 sampai 5000 km². Cara ketiga membutuhkan kerapatan stasiun yang sesuai dengan kontur, padahal untuk mendapatkan hal tersebut masih sulit digunakan.

a) Rata-Rata Aritmatik (Aljabar)

Metode rata-rata aritmatik ini, digunakan dengan cara menghitung rata-rata curah hujan dari stasiun yang terdekat. Rumus yang digunakan untuk cara ini sebagai berikut:

$$R_x = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n R_i \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

R_x = Curah hujan rata-rata DAS (mm)

n = Jumlah stasiun hujan

R_i = Curah hujan di stasiun hujan ke – i (mm)

2.3.1.2. Perhitungan Hujan Rencana Dengan Distribusi Frekuensi

Curah hujan rencana untuk periode ulang tertentu secara statistik dapat diperkirakan berdasarkan seri data curah hujan harian maksimum tahunan (*maximum annual series*) jangka panjang dengan analisis distribusi frekuensi. Curah hujan rancangan / desain ini biasanya dihitung untuk periode ulang 2, 5, 10, 20, atau 25 tahun. Untuk mencari distribusi yang cocok dengan data yang tersedia dari pos-pos penakar hujan yang ada di sekitar lokasi pekerjaan perlu dilakukan dengan seri data hujan maupun data debit. Jenis distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam hidrologi adalah distribusi Gumbel, Log Pearson *type* III, Log Normal dan Normal.

a) Metode Distribusi E.J. Gumbel *Type* I

Menurut Gumbel (1941) persoalan yang berhubungan dengan harga-harga ekstrem adalah datang dari persoalan banjir. Gumbel menggunakan teori-teori ekstrem $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, dimana sampel-sampelnya sama besar dan X merupakan variabel berdistribusi eksponensial maka probabilitas kumulatifnya adalah:

$$P(X) = e^{-e^{-a(X-b)}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

$P(X)$ = Probabilitas

X = Variabel berdistribusi eksponensial

e = Bilangan alam = 2,7182818

A = Konstanta

Waktu balik antara dua buah pengamatan konstan yaitu:

$$Tr(X) = \frac{1}{1-P(X)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

$Tr(X)$ = Waktu balik

$P(X)$ = Peluang

Menurut Soemarto (1986) ahli-ahli teknik sangat berkepentingan dengan persoalan-persoalan pengendalian banjir sehingga lebih mementingkan waktu balik $Tr(X)$ daripada probabilitas $P(X)$, untuk itu maka:

$$X_T = b - \frac{1}{a} \ln \left(- \ln \frac{Tr(X) - 1}{Tr(X)} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

atau

$$Y_T = - \ln \left(- \ln \frac{Tr(X) - 1}{Tr(X)} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

X_T = Variate X

a, b = Konstanta

$Tr(X)$ = Waktu balik

Y_T = Reduced variate

Chow dalam Soemarto (1986) menyarankan agar variate X yang menggambarkan deret hidrologi acak dapat dinyatakan dengan rumus berikut ini:

$$X_T = X + K \times S_X \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

X_T = Variate yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rancangan untuk periode ulang pada T tahun (mm)

X = Harga rerata dari harga (mm)

S_X = Standar deviasi

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

Faktor frekuensi K untuk harga-harga ekstrem Gumbel dituliskan dengan rumus berikut:

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

Y_n = *Reduced mean* sebagai fungsi banyaknya data n (Tabel 2.1)

S_n = *Reduced standard deviation* sebagai fungsi dari banyaknya data n
(Tabel 2.2)

Y_T = *Reduced variate* sebagai fungsi periode ulang T (Tabel 2.3)

Dengan menyubstitusi kedua persamaan di atas diperoleh:

$$X_T = X + \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \times S \dots\dots\dots (2.8)$$

Tabel 2.1. Reduced Mean (Y_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	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	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber: Suripin, 2004

Tabel 2.2. Reduced Standard Deviation (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 2.3. Reduced Variate (YTr)

Periode Ulang Tr (Tahun)	Reduced Variate YTr	Periode Ulang Tr (Tahun)	Reduced Variate YTr
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,251	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

b) Metode Distribusi Log Pearson *Type III*

Distribusi Log Pearson *type III* banyak digunakan dalam analisa hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrem. Bentuk distribusi Log Pearson *type III* merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson *type III* dengan menggantikan *variate* menjadi nilai logaritmik. Persamaan fungsi kerapatan peluangnya adalah:

$$P(X) = \frac{1}{(a)\tau(b)} \left[\frac{X-C}{a} \right]^{b-1} e^{\left[\frac{X-C}{a} \right]} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

P(X) = Fungsi kerapatan peluang Pearson *type III*

X = Variabel acak kontinyu

a,b,c = Parameter

τ = Fungsi gamma

Bentuk kumulatif dari distribusi Log Pearson *type III* dengan nilai *variate*-nya X apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik (*logarithmic probability paper*) akan merupakan model matematik persamaan garis lurus. Persamaan garis lurus tersebut sebagai berikut:

$$\text{Log } X = \overline{\text{Log } Y} - K_t \text{ SdLog } X \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

Log X = Nilai logaritmik dari X

$\overline{\text{Log X}}$ = Nilai rata-rata dari Log X

SdLog X = Simpangan Baku dari Log X

K_t = Karakteristik dari distribusi Log Pearson *type* III, yang didapat dari tabel fungsi Cs dan probabilitas kejadian (Tabel 2.4.) dengan menggunakan interpolasi.

Tabel 2.4. Nilai K_t Untuk Distribusi Log Pearson *Type* III

Koef G	Interval Kejadian (periode ulang)							
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
	Persentase Peluang Terlampaui							
	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
2,6	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,4	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
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	2,892	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
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	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
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
Koef G	Interval Kejadian (periode ulang)							
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
	Persentase Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
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	0,132	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

Koef G	Interval Kejadian (periode ulang)							
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
	Persentase Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
-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
-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	0,667

Sumber: Suripin, 2004

Prosedur untuk menentukan kurva distribusi Log Pearson Type III, adalah:

1. Tentukan logaritma dari semua nilai X
2. Hitung nilai rata-ratanya:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum \log X}{n} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

n = Jumlah data

3. Hitung nilai deviasi standar dari log X:

$$S \log X = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \overline{\log X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.12)$$

4. Hitung nilai koefisien kemencengan

$$C_s = \frac{n \sum (\log X - \overline{\log X})^2}{(n-1)(n-2)(S \log X)^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

Sehingga persamaan diatas dapat ditulis:

$$\log X = \overline{\log X} + k (S \log X) \dots\dots\dots (2.14)$$

5. Tentukan anti log dari log X, untuk mendapatkan nilai X yang diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode tertentu sesuai dengan nilai C_s nya.

Apabila nilai $C_s = 0$, maka distribusi Log Pearson *Type III* identik dengan Distribusi Log Normal, sehingga distribusi kumulatifnya akan bergambar sebagai garis lurus pada kertas grafik Log Normal.

(Sumber: Soewarno, 1995: 141-143)

c) Metode Distribusi Log Normal

Perhitungan distribusi Log Normal dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_t = \bar{X}_t + (K_t \times S_d) \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

X_t = Total curah hujan

$\bar{X}_t$ = Nilai rata-rata dari curah hujan

S_d = Simpangan Baku dari curah hujan

K_t = Karakteristik dari distribusi Log Normal, yang didapat dari kala ulang dan periode ulang (Tabel 2.5.).

Tabel 2.5. Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang	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
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

No	Periode Ulang	Peluang	K _T
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: Bonnier, 1980 dalam Suripin, 2004

Distribusi Log Normal memiliki sifat yang khas yaitu asimetrisnya (*skewness*) hampir sama dengan 3 dan bertanda positif. Atau nilai C_S kira-kira sama dengan 3 (tiga) kali nilai koefisien variasi (C_V).

Persamaan distribusi Log Normal sama dengan persamaan Distribusi Log Pearson *type* III yang telah diuraikan diatas dengan nilai koefisien asimetris $g \log X = 0$.

Tabel 2.6. Karakteristik Distribusi Frekuensi

Jenis Distribusi Frekuensi	Syarat Distribusi
Distribusi Normal	$C_S \approx 0$ dan $C_K \approx 3$
Distribusi Log Normal	$C_S = C_V^3 + 3C_V = 0,684$ $C_K = C_V^8 + 6C_V^6 + 15C_V^4 + 16C_V^2 + 3 = 3$
Distribusi Gumbel	$C_S \leq 1,1396$ dan $C_K \leq 5,4002$
Distribusi Log Pearson <i>Type</i> III	$C_S \neq 0$

Sumber: Subarkah, 1980

2.3.1.3. Uji Kecocokan

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of the test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Pengujian parameter yang akan disajikan dalam masalah ini menggunakan:

a) Uji Chi-Kuadrat (*Chi-Square*)

Uji Chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan persamaan distribusi peluang yang diperkirakan dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data analisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X_h^2 , oleh karena itu disebut Chi-Kuadrat. Parameter X_h^2 dapat dihitung dengan rumus:

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

- X_h^2 = Parameter uji Chi-Kuadrat
 K = Jumlah sub kelompok (minimal 4 data pengamatan)
 O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-1
 E_i = Jumlah nilai teoretis pada sub kelompok ke-1

Parameter X_h^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya ($X_h^2 Cr$), terlihat pada Tabel 2.7.

Prosedur uji Chi-Kuadrat adalah:

1. Pengurutan data pengamatan hujan dari terbesar ke terkecil atau sebaliknya;
2. Kelompokkan data menjadi K sub grup, tiap-tiap sub grup minimal 4 data pengamatan;
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup;
4. Tiap-tiap sub grup hitung nilai:

$$(O_i - E_i)^2 \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.17)$$

5. Jumlah seluruh K sub grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat;
6. Tentukan derajat kebebasan $dk = K - (P + 1)$ (nilai $P = 1$).

Interpretasi hasilnya adalah:

1. Apabila peluang lebih besar dari 5% maka persamaan distribusi teoretis yang digunakan dapat diterima;
2. Apabila peluang lebih kecil dari 5% maka persamaan distribusi teoretis yang digunakan tidak dapat diterima; atau

3. Apabila peluang lebih kecil dari (1 - 5%) maka tidak dapat diambil kesimpulan dengan kata lain perlu tambahan data.

(Sumber: Soewarno, 1995: 194-195)

Tabel 2.7. Nilai Kritis Derajat Kepercayaan (α) Untuk Uji Chi-Square

DK	α Derajat Kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,04393	0,03157	0,03982	0,02393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,01	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,21	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	12,832	15,086	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,69	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,18	2,733	15,507	17,535	20,09	21,955
9	1,735	2,088	2,7	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,94	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,92	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,3
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,66	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,39	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,26	9,591	10,851	31,41	34,17	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,26	10,196	11,689	13,091	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,98	45,558
25	10,52	11,524	13,12	14,611	37,652	40,656	44,314	46,928
26	11,16	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,29
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Sumber: Soewarno, 1995

b) Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov atau uji kecocokan Non Parametrik (*non parametric test*), dikarenakan pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Urutkan masing-masing data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) tersebut;

$$X_1 = M(X_1)$$

$$X_2 = M(X_2)$$

2. Menentukan besarnya peluang dari masing-masing data;

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

Dimana,

$$P(x) = \frac{M}{(n+1)} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

M = Urutan data (*ranking*)

n = Banyaknya data

3. Tentukan nilai masing-masing peluang teoretis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya);

$$P(X1<) = 1 - P(x) \dots\dots\dots (2.19)$$

4. Menentukan nilai reduksi atau peluang curah hujan itu sendiri dengan persamaan (2.6), (2.10) atau (2.15) sesuai dengan metode distribusi.

5. Dari nilai reduksi atau peluang tersebut, tentukan nilai wilayah luas di bawah kurva normal (terdapat pada Tabel 2.8.) dengan acuan interpolasi nilai reduksi atau peluang curah hujan. Didapat nilai $P'(X<)$.

6. Dari nilai tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoretis.

$$P'(X) = 1 - P'(X<) \dots\dots\dots (2.20)$$

7. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoretis;

$$D \text{ maximum } [P(X<) - P'(X<)]. \dots\dots\dots(2.21)$$

8. Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov-Kolmogorov test) tentukan harga D_0 , terlihat pada Tabel 2.9.

Apabila D lebih kecil dari D_0 maka distribusi teoretis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila D lebih besar dari D_0 maka distribusi teoretis yang di gunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 2.8. Nilai Wilayah Luas Di Bawah Kurva Normal

i	α Derajat Kepercayaan							
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8079
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790
1,2	0,8849	0,8869	0,8880	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756
2,0	0,9773	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9809
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972

<i>i</i>	α Derajat Kepercayaan							
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979
2,9	0,9981	0,9982	0,9983	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985

Sumber: Soewarno, 1995

Tabel 2.9. Nilai Kritis Do Untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

N	Derajat Kepercayaan (α)			
	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

Sumber: Soewarno, 1995

2.3.1.4. Analisis Debit Rencana

a) Intensitas Curah Hujan

Hal terpenting dalam pembuatan rancangan dan rencana sistem drainase adalah distribusi curah hujan. Dan hasil terakhir dari analisis hidrologi adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara *rainfall intensity* (mm/24 jam), *duration* (jam) dan *frequency* atau *return period* (tahun). Untuk membuat kurva tersebut dibutuhkan data pokok, sebagai berikut:

1. Data curah hujan harian pada suatu tahun pengamatan;
2. Catatan lapangan yang menunjukkan hubungan antara lamanya hujan (*duration*) dengan *total daily rainfall* pada kondisi harian.

Terkadang data pokok yang dibutuhkan sulit didapat sehingga untuk mengatasi hal tersebut diambil beberapa pendekatan sebagai berikut:

a. Rumus Empiris Mononobe

$$I_r = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

I_r = Intensitas curah hujan (mm/24 jam)

R_{24} = 24 hours rainfall

t = Duration time (jam)

Berdasarkan rumus di atas diperoleh tabel sebagai berikut:

Tabel 2.10. Korelasi *Duration* – Persentase Terhadap 24 jam Curah Hujan, Menurut Rumus Empiris Mononobe

Duration (dalam jam)	Persentase terhadap 24 jam curah hujan
1	34,7
2	43,6
3	50,6
4	55,04
5	59,3
6	72,2
9	79,4
12	85,5
15	94
21	95,6
24	100

Sumber: Tabel 6; Modul RDE 07: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan, 2005

Hasil pengolahan data curah hujan pada akhirnya digambarkan di atas grafik semi logaritmik yang menunjukkan hubungan antara *duration* (jam), *rainfall intensity* (mm/24 jam), dan *return period* (tahun). Angka-angka yang dimasukkan sebagai grafik diperoleh dari garis regresi (menggunakan *Gumbel's Extreme Probability Paper*) dan tabel *Duration* – Persentase terhadap 24 jam curah hujan.

b) Waktu Konsentrasi

Asumsi bahwa banjir maksimum akan terjadi jika hujan berlangsung selama waktu konsentrasi atau melebihi waktu konsentrasi menjadi penting dikaji. Waktu konsentrasi didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan air hujan yang jatuh di titik terjatuh dari suatu daerah aliran untuk mencapai titik tinjau (*outlet*).

Lama waktu konsentrasi sangat tergantung pada ciri-ciri daerah aliran, terutama jarak yang harus ditempuh oleh air hujan yang jatuh ditempat terjauh

dari titik tinjau. Lama waktu konsentrasi bisa didapatkan melalui hasil pengamatan ataupun dengan suatu pendekatan rumus. Pendekatan rumus yang ada pada umumnya mengacu pada jarak dari tempat terjauh jatuhnya hujan sampai titik tinjau (L) dan kemiringan lahan yang ada.

Inilah salah satu sebab rumus rasional hanya dapat digunakan untuk daerah-daerah aliran kecil.

$$T_c = t_1 + t_2 \dots\dots\dots(2.23)$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}}\right) \text{ menit} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$t_2 = \frac{L_s}{60V} \text{ menit} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan pengertian,

- T_c = Waktu konsentrasi (menit)
- t_1 = Waktu untuk mencapai awal saluran terdekat dari titik terjauh (menit)
- t_2 = Waktu aliran dalam saluran sepanjang saluran dari awal saluran (menit)
- L = Jarak dari titik terjauh ke saluran drainase terdekat (m)
- L_s = Panjang saluran rencana (m)
- n = Koefisien hambatan Manning rencana
- S = Kemiringan saluran *existing*
- V = Kecepatan aliran izin rencana saluran (m/s)

c) Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran merupakan perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan, dengan jumlah hujan yang turun di daerah tersebut (Subarkah, 1980). Koefisien pengaliran ini merupakan cerminan dari karakteristik daerah pengaliran dan dinyatakan dengan angka antara 0 – 1 yaitu bergantung pada banyak faktor. Di samping faktor-faktor meteorologis, faktor daerah aliran, faktor pengaliran ini adalah campur tangan manusia dalam merencanakan tata guna lahan. Tata guna lahan adalah usaha manusia untuk melakukan pemanfaatan lahan secara

optimal dan bijaksana. Secara optimal berarti dapat menyediakan kebutuhan manusia baik secara ekonomi dan sosial, seperti penyediaan lahan perumahan, lahan perkantoran, lahan untuk pendidikan dan lain-lain

Secara bijaksana berarti pengaturan lahan yang masih mempertimbangkan keseimbangan lingkungan seperti penyediaan daerah terbuka atau daerah hijau. Koefisien pengaliran pada suatu daerah dipengaruhi oleh kondisi karakteristik (Sosrodarsono dan Takeda, 1976), sebagai berikut:

1. Kondisi hujan;
2. Luas dan bentuk daerah pengaliran (DAS);
3. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai;
4. Daya infiltrasi dan perkolasi tanah;
5. Kebebasan tanah;
6. Suhu udara, angin dan evaporasi; dan
7. Tata guna lahan.

Koefisien pengaliran, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C = \frac{\text{Volume air yang berhasil mencapai muara DAS}}{\text{Volume air hujan yang jatuh diatas DAS}}$$

Pada praktiknya, terdapat berbagai tipe tata guna lahan bercampur baur dalam sebuah daerah aliran. Oleh karena itu, untuk mendapatkan Koefisien Pengaliran Gabungan (C_w) dapat dipergunakan rumus komposit berikut:

$$C_w = \frac{A_1 C_1 + A_2 C_2 + \dots + A_n C_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2.26)$$

Dimana:

- C_w = Koefisien pengaliran gabungan.
- $A_1; A_2; A_n$ = Bagian luasan daerah aliran sebanyak n, dengan tata guna lahan yang berbeda.
- $C_1; C_2; C_n$ = Koefisien pengaliran daerah aliran sebanyak n, dengan tata guna lahan yang berbeda.

Berikut beberapa acuan untuk koefisien pengaliran:

Tabel 2.11. Koefisien Pengaliran C

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 - 0,95
2	Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40 - 0,70
3	Bahu jalan:	
	- Tanah berbutir halus	0,40 - 0,65
	- Tanah berbutir kasar	0,10 - 0,20
	- Batuan masif keras	0,70 - 0,85
	- Batuan masif lunak	0,60 - 0,75
4	Daerah perkotaan	0,70 - 0,95
5	Daerah pinggir kota	0,60 - 0,70
6	Daerah industri	0,60 - 0,90
7	Pemukiman padat	0,60 - 0,80
8	Pemukiman tidak padat	0,40 - 0,60
9	Taman dan kebun	0,20 - 0,40
10	Persawahan	0,45 - 0,60
11	Perbukitan	0,70 - 0,80
12	Pegunungan	0,75 - 0,90

Sumber: Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan No. 008/T/BNKT/1990, Binkot, Bina Marga, Dep PU, 1990.

Tabel 2.12. Koefisien Pengaliran C

Kawasan	Tata Guna Lahan	C
Perkotaan	Kawasan pemukiman:	
	- Kepadatan rendah	0,25 - 0,40
	- Kepadatan sedang	0,40 - 0,70
	- Kepadatan tinggi	0,70 - 0,80
	- Dengan sumur resapan	0,20 - 0,30
	Kawasan perdagangan	0,90 - 0,95
	Kawasan industri	0,80 - 0,90
	Taman, jalur hijau, kebun, dll	0,20 - 0,30
Pedesaan	Perbukitan, kemiringan < 20%	0,40 - 0,60
	Kawasan jurang, kemiringan > 20%	0,50 - 0,60
	Lahan dengan terasering	0,25 - 0,35

Sumber: Drainase Perkotaan, Ir. S. Hidarko

Tabel 2.13. Koefisien Pengaliran C

Type Daerah Aliran		C
Perumputan	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

Type Daerah Aliran		C
Business Perumahan	Tanah gemuk, rata-rata, 2-7%	0,18 - 0,22
	Tanah gemuk, curam, 7%	0,25 - 0,35
	Daerah kota lama	0,75 - 0,95
	Daerah pinggiran	0,50 - 0,70
	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-rumah apartemen	0,50 - 0,70
	Pertamanan, kuburan	0,10 - 0,25
Tempat bermain		0,20 - 0,35
Halaman kereta api		0,20 - 0,40
Daerah yang tidak dikerjakan		0,10 - 0,30
Jalan	Beraspal	0,70 - 0,95
	Beton	0,80 - 0,95

Sumber: Hidrologi, Imam Subarkah.

d) Perhitungan Debit Aliran

Debit banjir rencana adalah debit banjir yang digunakan sebagai dasar untuk merencanakan tingkat pengamanan bahaya banjir pada suatu kawasan dengan penerapan angka-angka kemungkinan terjadinya banjir terbesar. Banjir rencana ini secara teoretis hanya berlaku pada satu penampang / lokasi (penampang kontrol) di suatu ruas sungai, sehingga pada sepanjang ruas sungai akan terdapat besaran banjir rencana yang berbeda. Salah satu metode untuk menghitung debit banjir rancangan adalah dengan metode rasional (Imam Subarkah, 1980). Cara ini digunakan pertama kali oleh Mulvaney tahun 1847 di Irlandia. Persamaan Rasional yang dikembangkan sangat sederhana dan memasukkan parameter DAS sebagai unsur pokoknya, selain sifat-sifat hujan sebagai masukan. Jenis dan sifat parameter DAS tidak diperinci satu persatu, akan tetapi pengaruh secara keseluruhan ditampilkan sebagai koefisien limpasan (Sri Harto, 1993).

Dalam daerah perkotaan, kehilangan-kehilangan air boleh dikatakan sedikit dan disebabkan waktu konsentrasi yang pendek maka debit keseimbangan seringkali dicapai. Dari alasan inilah rumus rasional masih digunakan untuk menaksir banjir dalam daerah perkotaan. Untuk menaksir besarnya debit

banjir dalam daerah aliran sungai yang besar rumus ini sudah kurang baik untuk digunakan (Soemarto, 1987). Sampai saat ini cara Rasional masih dapat dipergunakan untuk perencanaan banjir perkotaan dengan Batasan-batasan tertentu (Lanny dan Joyce, 1996). Meskipun demikian penggunaan persamaan Rasional ini memiliki keterbatasan dalam hal luas daerah tangkapan saluran sehingga metode ini umumnya hanya digunakan untuk perhitungan pada saluran drainase perkotaan saja.

Perhitungan debit puncak banjir dengan metode ini berdasarkan asumsi:

1. Terjadi hujan dengan intensitas yang sama seluruh wilayah untuk desain banjirnya;
2. Debit puncak akibat intensitas terjadi di titik tinjau paling hilir DAS ada waktu daerah hulu menyumbang aliran / waktu konsentrasi;
3. Asumsi diatas dijelaskan oleh Subarkah (1980) yang mengatakan bahwa pemikiran secara rasional ini didasari oleh anggapan bahwa laju pengaliran maksimum di saluran akan terjadi kalau lama waktu hujan sama dengan waktu konsentrasi.

Limpasan yang dihitung dengan rumus Rasional tersebut mempunyai variabel I (intensitas hujan) yang merupakan besaran air limpasan dan koefisien C (koefisien limpasan permukaan) yang juga faktor penentu dari besar limpasan, bisa dikendalikan sesuai fungsi penggunaan lahan yaitu berupa refleksi kegiatan manusia (Sabirin, 1997). Persamaan Rasional ini dapat digambarkan dalam persamaan aljabar sebagai berikut:

$$Q = K_C \times C \times I \times A \dots\dots\dots(2.27)$$

Bila:

- Q = Debit aliran (m^3/dt)
- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- A = Luas DAS (Km^2)
- C = Koefisien pengaliran
- K_C = Faktor konversi satuan unit

sehingga,

$$m^3/dt = K_C \times \left(\frac{10^{-3}}{3600} m/dt \right) \times 10^6 \times m^2$$

$$K_C = \left[\frac{(m^3/dt)}{\left(\frac{10^{-3}}{3600} m/dt \right) (10^6 m^2)} \right] = 0,27778 \approx 0,278 \dots \dots \dots (2.28)$$

Rumus metode Rasional dalam satuan metrik adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots \dots \dots (2.29)$$

Keterangan:

- Q = Debit banjir maksimum (m^3/dt)
- I = Intensitas hujan rerata selama waktu tiba banjir (mm/jam)
- A = Luas DAS (Km^2)
- C = Koefisien pengaliran

2.3.2. Analisis Hidraulika

Analisa hidraulika dilakukan untuk menganalisa *type*, dimensi dan posisi bangunan drainase sehubungan dengan pengaliran sejumlah volume air tersebut dalam waktu tertentu.

A. Sistem Pengaliran Air

2.3.2.1.1.1.1. Jenis Pengaliran

2.3.2.1.1.1.1.1. Saluran Terbuka

Aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*). Permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer. Saluran ini berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan atau air hujan yang terletak di daerah yang mempunyai luasan cukup, ataupun drainase air non-hujan yang tidak membahayakan kesehatan / mengganggu lingkungan. Perencanaan ini digunakan untuk perencanaan saluran samping jalan maupun gorong-

gorong. Kecepatan rencana aliran air yang mengalir di saluran samping jalan ditentukan oleh jenis bahan bangunan, seperti tabel dibawah.

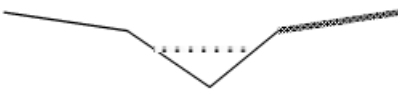
Tabel 2.14.Kecepatan Aliran Air Yang Diizinkan Berdasarkan Jenis Material

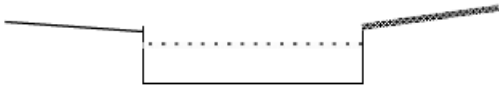
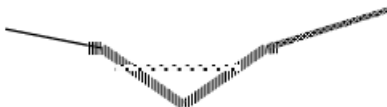
No.	Jenis Bahan	Kecepatan Aliran Air Yang Diizinkan (m/s)
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lanau aluvial	0,60
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75
6	Lempung padat	1,10
7	Kerikil kasar	1,20
8	Batu-batu besar	1,50
9	Pasangan batu	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton bertulang	1,50

Sumber: Pedoman Perencanaan Drainase Jalan 2006, Pd. T-02-2006-B

Penggunaan bentuk selokan samping atau saluran samping jalan berdasarkan kondisi tanah dasarnya serta lahan yang disediakan (Tabel 2.15.)

Tabel 2.15.Bentuk Selokan Samping Yang Biasa Digunakan

No	Penampang Melintang	Keterangan
1		- Kondisi daerah: kering - Air cepat mengalir - Air tanah dalam
2		- Tanah banyak mengandung <i>clay</i> - Pengaliran air kurang cepat
3		- Tanah cukup stabil - Medan sempit - Air tanah dalam

No	Penampang Melintang	Keterangan
4		- Tanah kurang stabil - Medan cukup luas - Air tanah dekat permukaan
5		- Parit atau sungai kecil sejajar jalan
6		- Selokan samping dari pasangan batu
7		- Selokan samping tertutup (untuk daerah perkotaan)

Sumber: Modul RDE 07: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan, 2005

Komponen penampang saluran yang diperhitungkan ditunjukkan pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16. Komponen Penampang Saluran Trapesium dan Segi Empat

Komponen	Jenis Penampang	
	Trapesium	Segi Empat
Dimensi		
Lebar atas (b)	$b + (2 \times z) \dots\dots\dots(2.30)$	b
Tinggi muka air (h)	h	h
Faktor kemiringan (z)	$1:1 \rightarrow z = h$ $1:1,5 \rightarrow z = 1,5h$ $1:2 \rightarrow z = 2h$	-
Penampang Basah		
Luas (A)	$(b + z) \times h \dots\dots\dots(2.31)$	$b \times h \dots\dots\dots(2.32)$
Keliling (P)	$b + 2 \times h \sqrt{(1+z^2)} \dots\dots\dots(2.33)$	$b + (2 \times h) \dots\dots\dots(2.34)$
Jari-jari hidraulis (R)	$\frac{(b+z) \times h}{b + 2h\sqrt{(1+z^2)}} \dots\dots\dots(2.35)$	$\frac{b \times h}{b + 2h} \dots\dots\dots(2.36)$
Kecepatan (V)	$\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.37)$	Pers. (2.37)
Debit (Qs)	$A \times V \dots\dots\dots(2.38)$	Pers. (2.38)

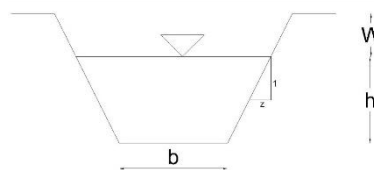
Komponen	Jenis Penampang	
	Trapesium	Segi Empat
Tinggi jagaan (W)	5-30% dari h $30\% \times h \dots\dots\dots(2.39)$	Pers. (2.39)

Sumber: Pedoman Perencanaan Drainase Jalan 2006, Pd. T-02-2006-B

Dengan pengertian:

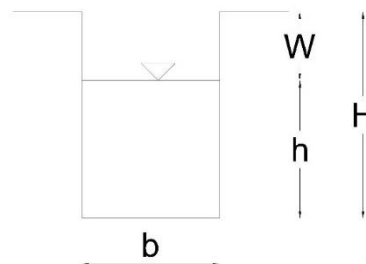
- b = Lebar saluran (m)
- h = Kedalaman saluran yang tergenang air (m)
- R = Jari-jari hidraulis
- A = Luas penampang basah (m²)
- n = Angka kekasaran *Manning* (n)
- W = Tinggi jagaan (m)

Berikut, saluran bentuk trapesium:



Gambar 2.1. Saluran Bentuk Trapesium

Berikut, saluran bentuk segi empat:



Gambar 2.2. Saluran Bentuk Segi Empat

Dimana Angka Kekasaran Manning (n), terlihat pada tabel dibawah.

Tabel 2.17. Angka Kekasaran Manning (n)

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
Saluran Buatan					
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017		0,020	0,023
2	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023		0,028	0,03

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
3	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0,020		0,030	0,033
4	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035		0,040	0,045
5	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0,025		0,030	0,035
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028		0,030	0,033
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020		0,025	0,028
	Saluran Alam				
8	Bersih, lurus, tidak berpasir dan tidak berlubang	0,025		0,028	0,030
9	Seperti no.8 tapi ada timbunan atau kerikil	0,030		0,033	0,035
10	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir	0,030		0,035	0,040
11	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,040		0,045	0,050
12	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035		0,040	0,045
13	Seperti no.11, sebagian berbatu	0,045		0,050	0,055
14	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,050		0,060	0,070
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075		0,100	0,125
	Saluran Buatan, Beton, atau Batu Kali				
16	Saluran pasangan baru, tanpa penyelesaian	0,025		0,030	0,033
17	Seperti no.16, tapi dengan penyelesaian	0,017		0,020	0,025
18	Saluran beton	0,014		0,016	0,019
19	Saluran beton halus dan rata	0,010		0,011	0,012
20	Saluran beton pra cetak dengan acuan baja	0,013		0,014	0,014
21	Saluran beton pra cetak dengan acuan kayu	0,015		0,016	0,016

Sumber: Pedoman Perencanaan Drainase Jalan 2006, Pd. T-02-2006-B

2.3.2.1.1.1.2. Saluran tertutup

Aliran saluran tertutup memungkinkan adanya permukaan bebas dan aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*). Saluran tertutup kemungkinan dapat menjadi aliran bebas maupun tertekan pada saat yang berbeda. Saluran ini bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media dibawah permukaan tanah (pipa-pipa). Hal ini dikarenakan tuntutan artistik atau tuntutan fungsi permukaan tanah yang

tidak membolehkan adanya saluran di permukaan. Saluran ini umumnya sering dipakai untuk aliran air kotor (air yang mengganggu kesehatan/lingkungan) atau untuk saluran yang terletak di tengah kota. Macam-macam saluran tertutup yaitu: pipa; *aqua duct*; gorong-gorong dan siphon. Persamaan Bernoulli untuk aliran tertutup dalam saluran yaitu:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dimana:

- h = Ketinggian (m)
- V = Kecepatan aliran (m/s)
- g = Gaya gravitasi (m/s²)

Dalam aliran fluida pipa akan terjadi gesekan antara air dengan pipa, dan besar gesekan tersebut tergantung pada gaya kekentalan (viskositas) dari kecepatan aliran itu sendiri. Untuk mengatasi gesekan di dalam mekanika fluida, maka diberlakukan kehilangan energi (h_f). hubungan kehilangan energi (h_f) dengan kecepatan aliran dan viskositas diberikan rumus Darcy-Weisbach, sebagai berikut:

$$h_f = \frac{f l v^2}{2 g d} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana:

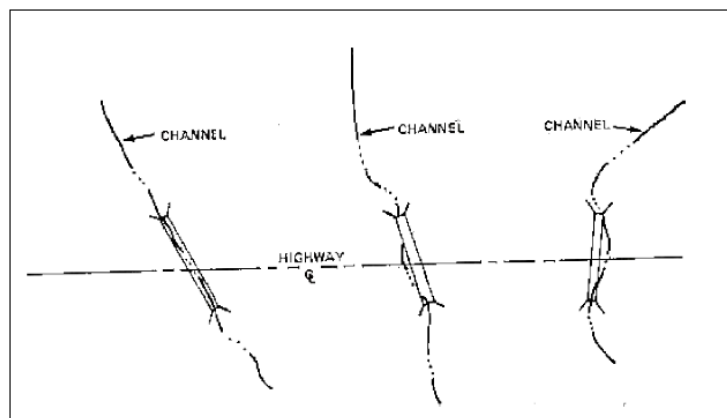
- f = Koefisien gesekan
- l = Panjang pipa (m)
- v = Kecepatan aliran (m/s)
- d = Diameter pipa (m)
- g = Gaya gravitasi (m/s²)

Koefisien gesekan sangat bergantung pada viskositas fluida. Hal ini ditunjukkan f sebagai fungsi bilangan Reynold (N_{Re}). Rumus Darcy-Weisbach berlaku untuk aliran laminar maupun turbulen. Saluran untuk drainase tidak terlampau jauh berbeda dengan saluran air pada umumnya. Dalam perancangan dimensi saluran harus diusahakan dapat memperoleh dimensi yang ekonomis dan kecepatan aliran. Selain bentuk selokan

samping, ada juga gorong-gorong. Gorong-gorong adalah bangunan drainase yang berfungsi untuk:

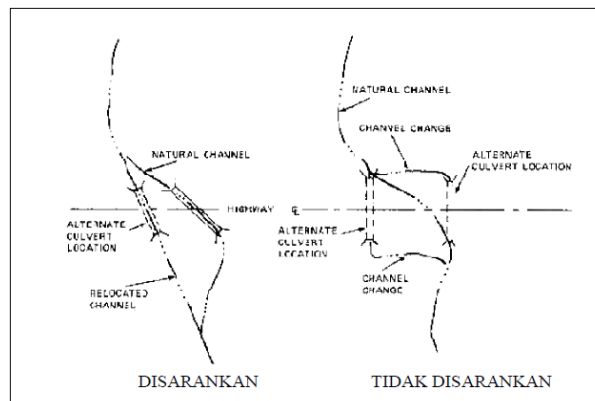
1. Memberi jalan kepada air yang mengalir dari drainase yang mengalir melintasi jalan;
2. Mengalirkan air yang telah berkumpul di dalam bak-bak penampungan selokan samping untuk dibuang keluar ke *outlet*.

Berikut contoh penempatan gorong-gorong yang berfungsi mengalirkan air dari saluran air yang memotong jalan:



Gambar 2.3. Penempatan *Culvert* Mengikuti Sumbu Saluran Air

Sumber: Pedoman Perencanaan Drainase Jalan 2006, Pd. T-02-2006-B



Gambar 2.4. Penempatan *Culvert* Tidak Mengikuti Sumbu Saluran Air
Karena Pertimbangan Memperpendek Panjang *Culvert*

Sumber: Pedoman Perencanaan Drainase Jalan 2006, Pd. T-02-2006-B

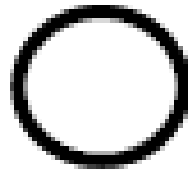
Material untuk gorong-gorong ada 2 (dua) macam, yaitu:

1. Beton bertulang;
2. Baja.

Penampang melintang gorong-gorong yang banyak digunakan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Lingkaran (*circular*)

Bentuk ini paling sering digunakan. Ditinjau dari segi struktur, relatif efisien untuk kebanyakan kondisi muatan. Bisa dibuat dari beton bertulang (antara lain diameter ($\varnothing$) 60 cm, 80 cm, 100 cm, 120 cm, 140 cm) atau dari baja (*corrugated metal pipe* $\varnothing < 2,00$ m)



Gambar 2.5. Penampang Melintang Gorong-Gorong Berbentuk Lingkaran

Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan, 2005

2. Elips (*elliptical*)

Biasanya dipakai sebagai pengganti bentuk *circular* jika terdapat keterbatasan tinggi timbunan. Dibandingkan dengan bentuk *circular*, bentuk pipa melengkung maupun elips lebih mahal (pada kondisi debit yang harus ditampung sama).



Gambar 2.6. Penampang Melintang Gorong-Gorong Berbentuk Elips

Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan, 2005

3. Box (*rectangular*)

Direncanakan untuk menampung debit yang relatif besar. Bentuk ini biasanya paling cocok digunakan jika posisi tinggi muka air yang diizinkan (*allowable headwater depth*) rendah.



Gambar 2.7. Penampang Melintang Gorong-Gorong Berbentuk *Box*

Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan, 2005

4. Lengkung (*arch*)

Bentuk ini dipakai jika kondisi tanah cukup baik. Perlu mempertimbangkan desain yang lebih teliti untuk menghindari gerusan.



Gambar 2.8. Penampang Melintang Gorong-Gorong Berbentuk Lengkung

Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan, 2005

5. *Multiple barrels*

Biasanya dipakai pada kondisi kanal yang melintasi jalan cukup lebar. Untuk *multiple barrels* terdiri dari 2 (dua) atau lebih *barrel*. Bentuknya bisa berupa *circular* atau *box*.



Gambar 2.9. Penampang Melintang Gorong-Gorong *Multiple Barrels* Berbentuk *Circular*

Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan, 2005



Gambar 2.10. Penampang Melintang Gorong-Gorong *Multiple Barrels* Berbentuk *Box*

Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan, 2005

2.3.2.1.1.1.3. Gorong-gorong

Menurut Marwardi (2007), gorong-gorong adalah salah satu bangunan air pada persilangan untuk menyalurkan air yang lewat dari satu sisi jalan yang lain atau untuk mengalirkan air pada persilangan dua buah saluran dengan muka air yang berbeda pada kedua saluran. Pengaliran gorong-

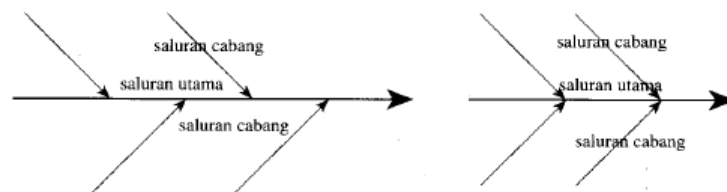
gorong dapat bersifat aliran terbuka atau dalam pipa. Gorong-gorong berbentuk “pipa” persegi atau persegi panjang yang terbuat dari beton bertulang guna untuk memperkuat konstruksi yang dipikul di atasnya disebut *box culvert*. Pengerjaan *box culvert* berupa beton pra cetak (*precast*) dan cor ditempat (*in-situ*). Tipikal konstruksi *box culvert* disesuaikan dengan kondisi lapangan, kegunaan, kekuatan dan ekonomis. Pabrik beton produksi *box culvert* dengan ukuran umum 40 x 40 cm sampai 200 x 200 cm dengan panjang 100 cm.

B. Pola Jaringan Saluran Drainase

Beberapa contoh model pola jaringan saluran drainase yang dapat diterapkan dalam perencanaan drainase sebagai berikut:

1. Pola Alamiah

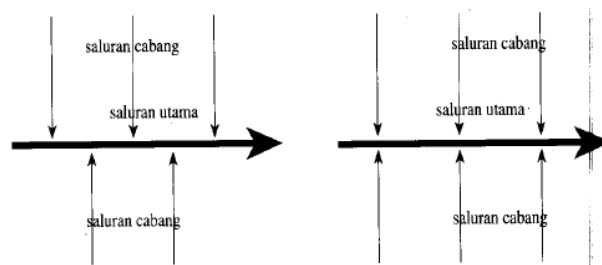
Dengan topografi yang sedikit lebih tinggi dari saluran pembawa dan terletak di tengah kota tetapi beban penampung lebih besar.



Gambar 2.11. Pola Aliran Alamiah
Sumber: Drainase Perkotaan, Gunadarma, 1997

2. Pola Siku

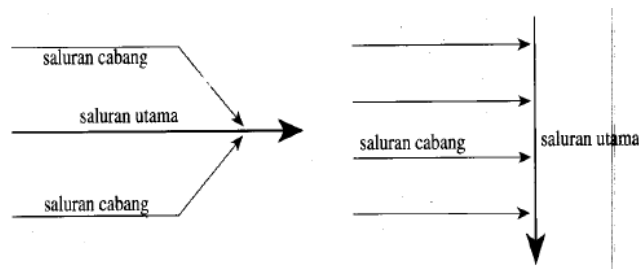
Pada daerah yang memiliki topografi sedikit lebih tinggi dari saluran pembawa dan letaknya berada di tengah kota.



Gambar 2.12. Pola Aliran Siku
Sumber: Drainase Perkotaan, Gunadarma, 1997

3. Pola Pararel

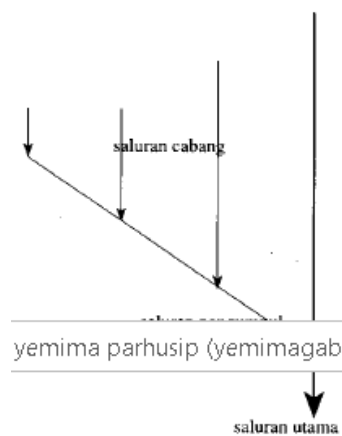
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran ini akan dapat menyesuaikan pada lingkungan.



Gambar 2.13. Pola Aliran Pararel
Sumber: Drainase Perkotaan, Gunadarma, 1997

4. Pola *Grid Iron*

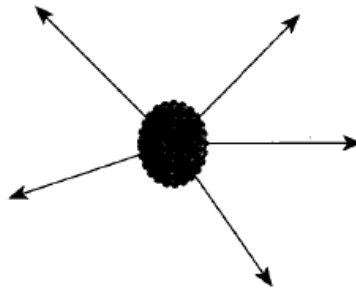
Untuk daerah yang aliran pembawa atau sungai terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabangnya dikumpulkan pada saluran pengumpul.



Gambar 2.14. Pola Aliran *Grid Iron*
Sumber: Drainase Perkotaan, Gunadarma, 1997

5. Pola *Radial*

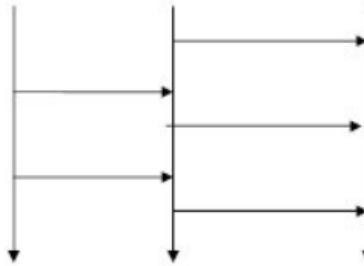
Pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memancar ke segala arah.



Gambar 2.15. Pola Aliran *Radial*
Sumber: Drainase Perkotaan, Gunadarma, 1997

6. Pola Jaring-Jaring

Mempunyai saluran-saluran pembuangan yang mengikuti arah jaran raya, dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.



Gambar 2.16. Pola Aliran Jaring-Jaring
Sumber: Drainase Perkotaan, Gunadarma, 1997

2.4.Program HEC-RAS

HEC-RAS adalah suatu aplikasi bantu gabungan yang dirancang untuk penggunaan yang interaktif di lingkungan. Sistem ini terdiri atas *Graphical User Interface* (GUI), komponen-komponen analisis hidraulik, kemampuan penyimpanan data dan manajemen, grafik dan fasilitas-fasilitas pelaporan (Brunner, 2010a, 2010b).

Sistem HEC-RAS pada akhirnya akan memuat tiga komponen analisa hidraulika satu dimensi untuk:

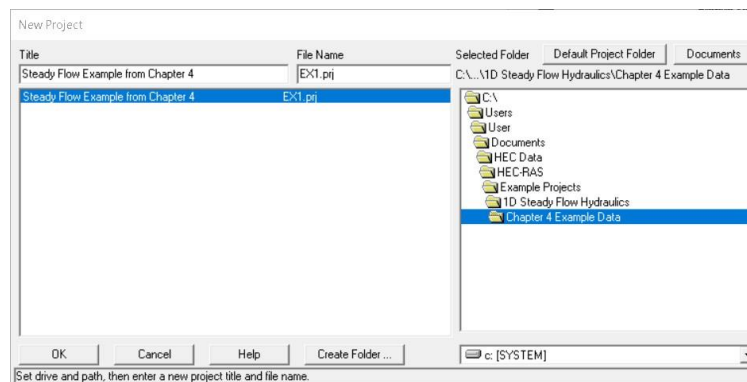
1. Perhitungan profil muka air aliran seragam (*steady flow*);
2. Simulasi aliran tidak seragam (*unsteady flow*); dan
3. Perhitungan transport sedimen dengan batas yang bisa dipindahkan.

Ketiga komponen tersebut akan menggunakan representasi data geometri serta perhitungan hidraulika dan geometri seperti pada umumnya. Versi yang digunakan yaitu HEC-RAS 4.1.0.

Terdapat lima Langkah penting dalam membuat model hidraulika dengan menggunakan HEC-RAS:

1. Memulai proyek baru;

Langkah pertama dalam pengembangan model hidraulika dengan HEC-RAS ialah menetapkan *file* yang diinginkan untuk memasukkan judul dan menyimpan *project* baru. Untuk memulai *project* baru, buka *file menu* pada jendela utama HEC-RAS dan pilih *New Project*. Maka akan muncul tampilan seperti gambar berikut:



Gambar 2.17. Jendela *Open Project*

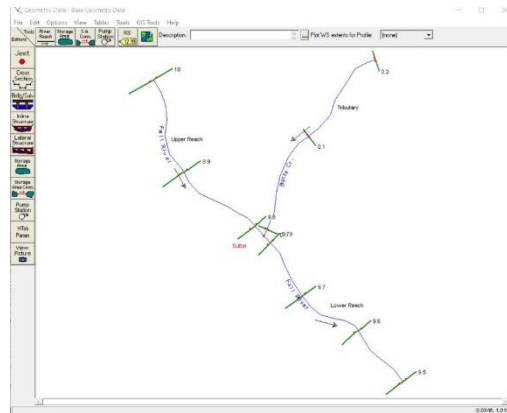
Sumber: *User's Manual HEC-RAS*

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.17. langkah pertama dipilih *drive* dan *path* tempat penyimpanan pekerjaan, kemudian memasukkan judul *project* dan nama *file*. Nama file yang digunakan harus ekstensi.”.prj”. kemudian tekan “OK”.

2. Memasukkan data geometri;

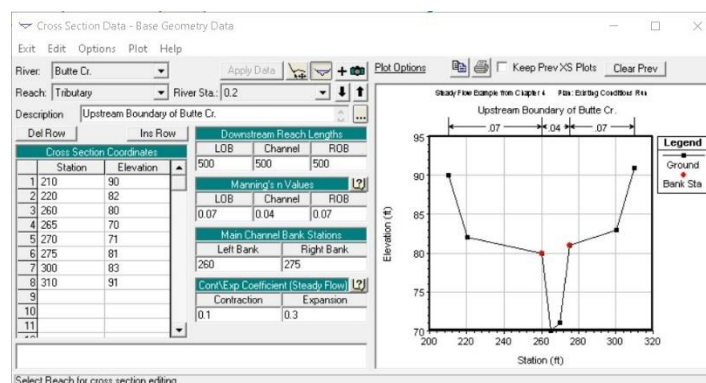
Sebelum data geometri dan data aliran dimasukkan, terlebih dahulu memastikan harus menentukan sistem satuan yang gunakan. HEC-RAS memiliki 2 sistem satuan yaitu ***US Customary*** dan ***System International (Metric System)*** Langkah selanjutnya yaitu memasukkan data geometri diperlukan yaitu terdiri dari pembuatan skema sistem aliran, data *cross section* dan data bangunan hidraulika (jembatan, gorong-gorong, dsb.). *Entry*

data geometri melalui *Geometric Data* pada *menu Edit* di jendela utama. Berikut gambar dari memasukkan data geometri.



Gambar 2.18. Jendela *Geometric Data*
Sumber: User's Manual HEC-RAS

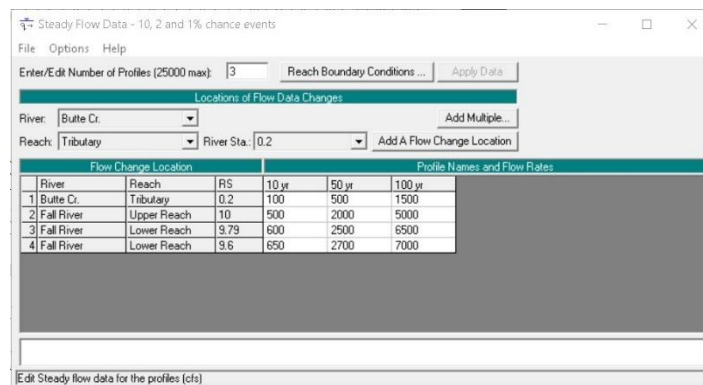
Selanjutnya, memasukkan *cross section* tiap penggal alirannya dari hilir ke hulu. Dimulai dengan nomor urut (*River Sta.*) adalah 0,2, lalu nama sungai *Butte Cr.* serta nama penggal sungai *Tributary*. Dengan titik koordinat (210; 90); (220; 82); (260; 82); (265; 80); (265; 70); (270; 71); (275; 81); (300; 83); dan (310; 91). Jarak tampang *River Sta.* 0.2 baik itu *LOB*, *channel*, maupun *ROB* adalah 500. Nilai koefisien kekasaran dasar, *Manning's n Values* untuk bagian kiri dan kiri (*LOB* dan *ROB*) adalah 0,07, bagian saluran (*channel*) 0,04. Tanggul berada pada jarak 260 ft dan 275 ft serta koefisien *cont./exp* masing-masing 0,1 dan 0,3. Berikut contoh pemasukan data pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Jendela *Cross Section Data*
Sumber: User's Manual HEC-RAS

3. Memasukkan data aliran dan kondisi batas;

Setelah data geometri sudah dimasukkan, pengerjaan selanjutnya memasukkan data aliran *steady flow*. Setiap profil secara otomatis diberikan nama berdasarkan nomor profil (PF1, PF2, dst). Mengubah nama pada menu *Edit Profiles Names*. Penamaan berdasarkan lama periode ulang banjir/aliran seperti 10 tahun, 50 tahun dan 100 tahun dengan masing-masing debit. Dapat dilihat pada Gambar 2.20.

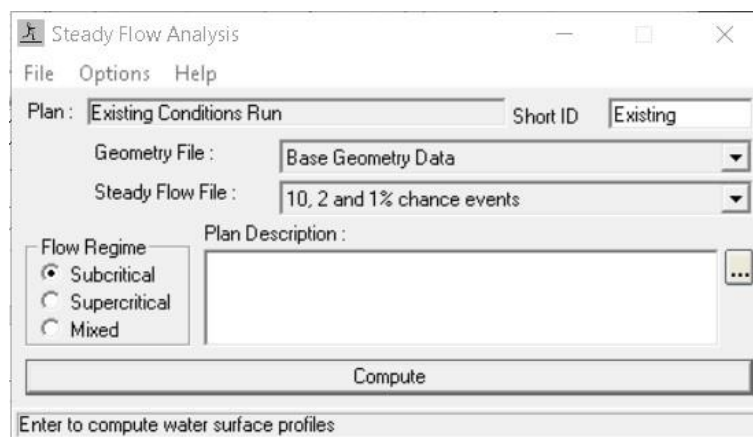


Gambar 2.20. Jendela *Editor Data Aliran Steady Flow*

Sumber: User's Manual HEC-RAS

4. Melakukan perhitungan hidraulika;

Setelah data geometri dan data aliran sudah di *input*, dilakukan simulasi dengan *menu Run* pada tampilan utama HEC-RAS. Berikut tampilan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21. Jendela *Steady Flow Analysis*

Sumber: User's Manual HEC-RAS

5. Menampilkan dan mencetak hasil:

Setelah perhitungan model hidraulika selesai, dapat ditampilkan beberapa hasil. Beberapa fitur dalam menampilkan hasil yaitu:

2.4.1.1.1.1.1. *Cross sections plot*;

2.4.1.1.1.1.2. *Profiles plot*;

2.4.1.1.1.1.3. *General profile plot*;

2.4.1.1.1.1.4. *Rating curve*;

2.4.1.1.1.1.5. *X-Y-Z perspective plot*;

2.4.1.1.1.1.6. *Profile output table* (tabel untuk lokasi tertentu);

2.4.1.1.1.1.7. *Cross section output* (tabel untuk banyak lokasi sebagai rekapitulasi)

Hasil *running* HEC-RAS adalah sebuah hasil analisis hidraulika yaitu berupa sebuah gambar melintang dan memanjang. Tetapi tidak hanya gambar, *output* yang dihasilkan juga dapat berupa tabel-tabel data.

2.5.Rencana Kerja dan Syarat-Syarat

Sebelum pelaksanaan pekerjaan pada suatu bangunan konstruksi sangat diperlukan suatu rencana kerja dan syarat-syarat. Hal ini untuk membantu kelancaran pekerjaan tersebut terutama pada syarat-syarat spesifikasi.

Syarat-syarat ini terdiri dari:

2.5.1.1.1.1.1. Syarat-syarat umum;

Syarat-syarat umum terdiri dari persyaratan umum pekerjaan meliputi hal umum seperti administrasi pelaksanaan pekerjaan, seperti penguraian jenis pekerjaan, peraturan-peraturan yang digunakan, lokasi dan waktu pelaksanaan.

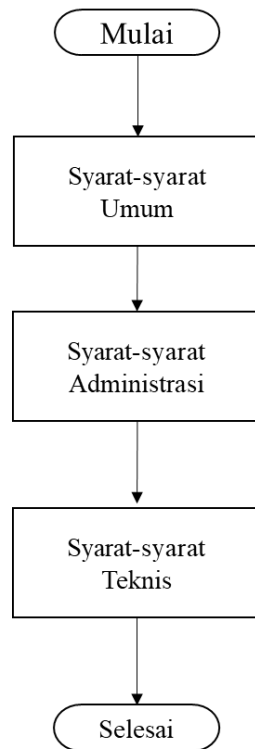
2.5.1.1.1.1.2. Syarat-syarat teknis; dan

Merincikan syarat setiap jenis dan uraian pekerjaan yang dilaksanakan, serta jenis dan mutu bahan yang digunakan.

2.5.1.1.1.1.3. Syarat-syarat administrasi.

Berisikan penjelasan mengenai tata cara proses administrasi yang harus dilakukan selama pelaksanaan pekerjaan.

Adapun proses pembuatan rencana kerja dan syarat-syarat pada laporan tugas akhir ini dapat dilihat Gambar 2.22. sebagai berikut:



Gambar 2.22. Diagram Alir Pembuatan Rencana Kerja dan Syarat-Syarat
Sumber: Perencanaan Drainase Kawasan Puri Anjasmoro, 2008

2.6.Rencana Anggaran Biaya

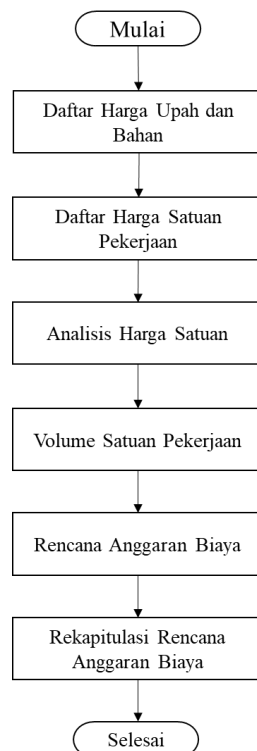
Secara umum RAB merupakan rincian biaya dari setiap komponen pekerjaan yang akan berlaku di lokasi pekerjaan, analisa harga suatu pekerjaan dan volume pekerjaan. Tahapan pengerjaan anggaran biaya, menurut Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pekerjaan Umum, yaitu:

- 2.6.1.1.1.1. Mempelajari gambar rencana detail dan dokumen RKS;
- 2.6.1.1.1.1.2. Menyusun uraian pekerjaan dan/atau barang yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan sebagaimana gambar detail dan RKS;
- 2.6.1.1.1.1.3. Hitung volume pekerjaan atau barang yang telah diuraikan dalam butir 2);

2.6.1.1.1.1.4. Menyusun analisis harga satuan pekerjaan untuk setiap jenis pekerjaan yang telah diuraikan pada butir 3) hingga mendapat harga satu satuan pekerjaan untuk setiap jenis pekerjaan; dan

2.6.1.1.1.1.5. Menjumlahkan harga, ditambahkan PPn pada jumlah total maka didapat rencana anggaran dan biaya untuk pekerjaan.

Dengan menggunakan daftar harga upah, bahan dan peralatan Kabupaten Lampung Selatan tahun 2020, dapat dijelaskan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:



Gambar 2.23. Diagram Alir Pembuatan Rencana Anggaran Biaya

Sumber: Perencanaan Drainase Kawasan Puri Anjasmoro, 2008

