

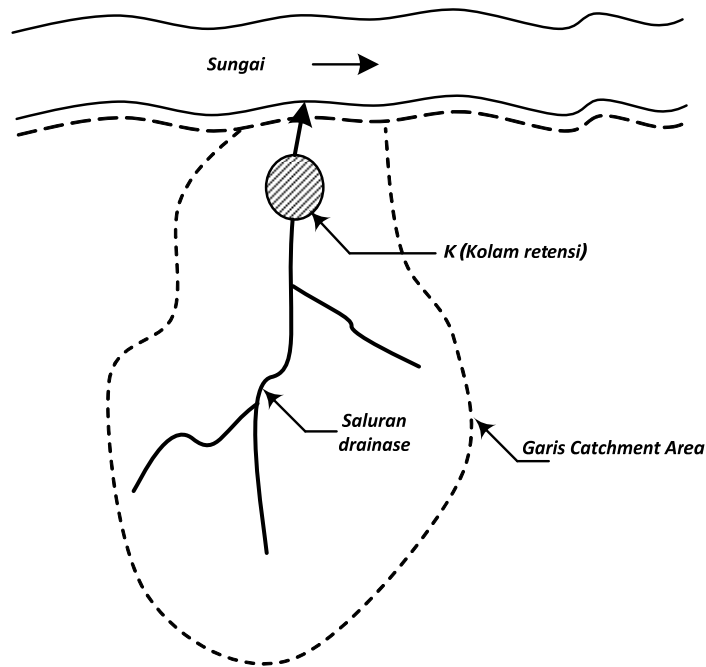
**LAMPIRAN A**  
**CONTOH PERHITUNGAN HIDROLOGI DAN HIDROLIKA**  
**KAPASITAS KOLAM RETENSI DAN POMPA**

**A.1 KONDISI PERENCANAAN**

Wilayah perencanaan berada di daerah perumahan di Jakarta. Wilayah ini mengalami banjir dan genangan setiap tahunnya. Penyebabnya adalah elevasi muka air banjir di sungai lebih tinggi dari elevasi tanah di daerah perumahan. Permasalahan ini diselesaikan dengan merencanakan sistem polder.

Data perencanaan yang digunakan sebagai berikut :

- Luas catchment area (A) = 500 Ha
- Panjang saluran (L) = 5400 m
- Data curah hujan harian maksimum selama 20 tahun (1986 s/d 2005)



**Gambar 1 Skema sistem polder**

Untuk memenuhi perhitungan hidrologi dan hidrolika perlu adanya asumsi batasan-batasan, bilamana asumsi ini terpenuhi maka analisa bisa dilaksanakan,

sehingga dapat dicapai sasaran penanggulangan banjir dan genangan. Asumsi perhitungan yang digunakan sebagai berikut :

- Total Inflow – Total out flow = Storage penampungan pada waktu (t)
- Bentuk hidrograf aliran masuk (inflow) yang digunakan sesuai bagi penggunaan rumus modifikasi Rational.
- Rate dari flow dianggap konstan

Dalam lampiran ini akan diuraikan metode perhitungan hidrologi dan hidrolika untuk kolam retensi dan polder beserta contoh perhitungannya yang disesuaikan dengan kondisi perencanaan.

## A.2 MELENGKAPI DATA CURAH HUJAN

Maksudnya adalah data curah hujan harian maksimum dalam setahun yang dinyatakan dalam mm/ hari, untuk stasion curah hujan yang terdekat dengan lokasi sistem drainase, jumlah data curah hujan paling sedikit dalam jangka waktu 10 tahun berturut-berturut.

Stasion hujan kadang tidak mempunyai data yang lengkap, jika ditemui data yang kurang, perlu dilengkapi dengan melakukan pengisian data terhadap stasion yang tidak lengkap atau kosong, dengan beberapa metode antara lain :

- Bila perbedaan hujan tahunan normal di stasion yang mau dilengkapi tidak lebih dari 10 %, untuk mengisi kekurangan data dapat mengisinya dengan harga rata-rata hujan dari stasion=stasion disekitarnya.
- Bila perbedaan hujan tahunan lebih dari 10 %, melengkapi data dengan metode Rasio Normal, yakni dengan membandingkan data hujan tahunan stasion yang kurang datanya terhadap stasion disekitarnya dengan cara sebagai berikut :

$$r = \frac{1}{n} \left( \frac{R \times r_A}{R_A} + \frac{R \times r_B}{R_B} + \frac{R \times r_C}{R_C} \right)$$

- Dimana :
- n = jumlah stasion hujan
  - r = curah hujan yang dicari (mm)
  - R = curah hujan rata-rata setahun di tempat pengamatan R yang datanya akan dilengkapi
  - r<sub>A</sub>, r<sub>B</sub>, r<sub>C</sub> = curah hujan di tempat-tempat pengamatan A, B, dan C
  - R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub>, R<sub>C</sub> = curah hujan rata-rata setahun di stasion A, B, dan C

Berikut adalah tabel data curah hujan harian maksimum selama 20 tahun (1986 s/d 2005) yang diperoleh di Stasiun A (St. A). Diasumsikan Stasiun A sebagai stasiun curah hujan yang terdekat dengan lokasi perencanaan sistem drainase.

**Tabel 1 Data curah hujan harian maksimum (CHH<sub>max</sub>) St. A**

Tahun	CHH <sub>max</sub> (mm/hari)
1986	152
1987	80
1988	92
1989	130
1990	70
1991	26
1992	92
1993	79
1994	79
1995	23
1996	71
1997	112
1998	150
1999	129
2000	67
2001	92
2002	58
2003	90
2004	74
2005	87

### A.3 MENENTUKAN KALA ULANG

Karakteristik hujan menunjukkan bahwa hujan yang besar tertentu mempunyai kala ulang tertentu, kala ulang rencana untuk saluran mengikuti standar yang berlaku seperti tabel berikut :

**Tabel 2 Kala ulang berdasarkan tipologi kota & luas daerah pengaliran**

Tipologi Kota	Catcment Area ( Ha )			
	< 10	10 - 100	100 - 500	> 500
Kota Metropolitan	2 thn	2 - 5 thn	5 - 10 thn	10 - 25 thn
Kota Besar	2 thn	2 - 5 thn	2 - 5 thn	5 - 20 thn
Kota Sedang / Kecil	2 thn	2 - 5 thn	2 - 5 thn	5 - 10 thn

### Contoh Perhitungan 1 :

Tentukan kala ulang rencana untuk saluran di daerah Jakarta dengan luas catchment area seluas 500 Ha.

### Penyelesaian :

Dari tabel 2 di atas untuk daerah Jakarta dengan luas catchment area seluas 500 Ha didapatkan kala ulang rencana 10 tahunan.

## A.4 MENGANALISA HUJAN RENCANA

### A.4.1 Metode Gumbel

Parameter - parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi harga ekstrim gumbel adalah :

1. Menentukan harga tengahnya (R) :

$$R = \frac{\sum R_i}{n}$$

2. Menentukan harga penyimpangan standard ( $S_x$ ) :

$$S_x = \frac{\sum (R_i - R)^2}{n - 1}$$

3. Menentukan faktor frekuensi (K) :

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$$

- dimana :
- K = faktor frekuensi
  - $Y_t$  = Reduced Variable (lihat tabel 3 hubungan antara waktu ulang T dengan  $Y_t$ )
  - $Y_n$  = Reduced Mean (lihat tabel 4 hubungan antara lamanya pengamatan n dengan  $Y_n$ )
  - $S_n$  = Reduced Standard Deviation (lihat tabel 4 hubungan antara n dengan  $S_n$ )
  - $R_i$  = Curah hujan
  - n = Jumlah data

4. Menentukan curah hujan rencana dengan waktu ulang yang dipilih, dengan rumus :

$$R_t = R + K.S_x$$

5. Menentukan data variasi fungsi kala ulang ( $Y_t$ )

**Tabel 3 Data Variasi Fungsi Kala ulang ( $Y_t$ )**

<b>T (tahun)</b>	<b><math>Y_t</math></b>
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001

6. Menentukan data nilai  $Y_n$  dan  $S_n$  yang tergantung pada n

**Tabel 4 Data Nilai  $Y_n$  dan  $S_n$  Yang Tergantung Pada n**

<b>n</b>	<b><math>Y_n</math></b>	<b><math>S_n</math></b>
10	0.4592	0.9496
11	0.4996	0.9676
12	0.5053	0.9933
13	0.5070	0.9971
14	0.5100	1.0095
15	0.5128	1.0206
16	0.5157	1.0316
17	0.5181	1.0411
18	0.5202	1.0493
19	0.5220	1.0565
20	0.5236	1.0628
21	0.5252	1.0696
22	0.5268	1.0754
23	0.5283	1.0811
24	0.5296	1.0864
25	0.5309	1.0915
26	0.5320	1.1961
27	0.5332	1.1004
28	0.5343	1.1047
29	0.5353	1.1086
30	0.5362	1.1124
31	0.5371	1.1159
32	0.5380	1.1193
33	0.5388	1.1226
34	0.5396	1.1255
35	0.5402	1.1285
36	0.5410	1.1313
37	0.5418	1.1339
38	0.5424	1.1363
39	0.5430	1.1388

n	$Y_n$	$S_n$
40	0.5436	1.1413
41	0.5442	1.1436
42	0.5448	1.1458
43	0.5453	1.1480
44	0.5458	1.1499
45	0.5463	1.1519
46	0.5468	1.1538
47	0.5473	1.1557
48	0.5477	1.1574
49	0.5481	1.1590
50	0.5485	1.1607
51	0.5489	1.1623
52	0.5493	1.1638
53	0.5497	1.1658
54	0.5501	1.1667
55	0.5504	1.1681

**Contoh Perhitungan 2 :**

Dengan menggunakan data curah hujan maksimum selama 20 tahun yang terdapat pada **tabel 1**, analisa frekuensi hujan dengan menggunakan metode Gumbel.

**Penyelesaian :**

- 1) Merangking data curah hujan harian maksimum yang didapat dari **tabel 1**

**Tabel 5 Merangking data curah hujan harian maksimum**

No Urut	$CHH_{Max} (R_i)$
1	152
2	150
3	130
4	129
5	112
6	92
7	92
8	92
9	90
10	87
11	80
12	79
13	74
14	73
15	71
16	70

No Urut	CHH <sub>Max</sub> (R <sub>i</sub> )
17	67
18	58
19	26
20	23

2) Menghitung nilai prosentase (%) :  $P = \frac{X_1 \times 100}{X_{total} + 1} = \frac{1 \times 100}{20 + 1} = 4,8\%$

3) Menentukan nilai hujan rata-rata :  $R_r = \frac{R_{total}}{X_{total}} = \frac{1747}{20} = 87,4$

4) Menentukan selisih curah hujan maksimum terhadap hujan rata-rata:

$$(R_i - R_r)^2 = (152 - 87,4)^2 = 4179,6$$

5) Sehingga secara tabelaris dengan mengikuti langkah nomor 2), 3) dan 4) untuk urutan berikutnya didapatkan hasilnya sebagai berikut:

**Tabel 6 Perhitungan metode Gumbel**

No Urut	CHH <sub>Max</sub> (R <sub>i</sub> )	P (%)	R <sub>i</sub> - R <sub>rata</sub>	(R <sub>i</sub> - R <sub>rata</sub> ) <sup>2</sup>
1	152	4.8	64.7	4,179.6
2	150	9.5	62.7	3,925.0
3	130	14.3	42.7	1,819.0
4	129	19.0	41.7	1,734.7
5	112	23.8	24.7	607.6
6	92	28.6	4.7	21.6
7	92	33.3	4.7	21.6
8	92	38.1	4.7	21.6
9	90	42.9	2.7	7.0
10	87	47.6	-0.3	0.1
11	80	52.4	-7.3	54.0
12	79	57.1	-8.3	69.7
13	74	61.9	-13.4	178.2
14	73	66.7	-14.4	205.9
15	71	71.4	-16.4	267.3
16	70	76.2	-17.4	301.0
17	67	81.0	-20.4	414.1
18	58	85.7	-29.4	861.4
19	26	90.5	-61.4	3,763.8
20	23	95.2	-64.4	4,140.9
<b>Total</b>	<b>1,747</b>	<b>1,000.0</b>	<b>0.000</b>	<b>22,595</b>

6) Menentukan standar deviasi :

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R_r)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{22,595}{20-1}} = 34,48$$

7) Menentukan nilai  $Y_n$  dan  $S_n$  yang tergantung pada  $n$  (lihat tabel 3)

$$N = 20, \quad \rightarrow \quad Y_n = 0,524$$

$$N = 20, \quad \rightarrow \quad S_n = 1,063$$

8) Menentukan variasi fungsi kala ulang  $Y_t$  (lihat tabel 2)

$$\text{Variasi fungsi kala ulang 2 Thn} \rightarrow Y_t = 0,367$$

9) Menentukan hujan rencana kala ulang

$$K_t = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} = \frac{0,367 - 0,524}{1,063} = -0,148$$

$$R_t = R_r + (K_t \times S_x)$$

$$R_{2\text{thn}} = 87,4 + (-0,148 \times 34,48) = 82\text{mm}$$

10) Sehingga secara tabelaris dengan mengikuti langkah nomor 8) dan 9) untuk data berikutnya didapatkan hasilnya sebagai berikut:

**Tabel 7 Menentukan Hujan Rencana Kala Ulang Metode Gumbel**

Kala ulang (Tahun)	$Y_t$	$K_t$	$R_t$ (mm)
2	0.367	0,148	<b>82</b>
5	1.500	0,919	<b>119</b>
10	2.250	1,625	<b>143</b>
25	3.199	2,517	<b>174</b>
50	3.902	3,179	<b>197</b>
100	4.600	3,836	<b>220</b>

#### A.4.2 Metode Log Pearson Type III

Pada garis besarnya, langkah penyelesaian distribusi log Pearson Type III adalah sebagai berikut :

1. Mentransformasikan data curah hujan harian maksimum kedalam harga logaritmanya :

$$R_1, R_2, \dots, R_n \text{ menjadi } \log R_1, \log R_2, \dots, \log R_n$$

2. Menghitung harga tengahnya ( $\overline{\log R}$ ) :

$$\overline{\log R} = \frac{\sum \text{Log}R}{n}$$

3. Menghitung harga penyimpangan standar ( $S_x$ ):

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log}R_i - \overline{\log R})^2}{n-1}}$$



4. Menghitung koefisien asimetri ( $C_s$ ) :

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (LogR_i - \overline{\log R})^3}{(n-1)(n-2)S_x^3}$$

5. Menghitung besarnya logaritma hujan rencana dengan waktu ulang yang dipilih, dengan rumus :

$$LogR_t = LogR + K \cdot S_x$$

Dimana : R = tinggi hujan rata-rata daerah

n = jumlah tahun pengamatan data

$C_s$  = Koefisien penyimpangan

$S_x$  = standar deviasi

K = faktor kekerapan Log Pearson Tipe III

6. Menentukan nilai K untuk metode Log Pearson Tipe III

**Tabel 8 Nilai-nilai K untuk metode Log Pearson Tipe III**

Faktor Kekerapan (K)	Interval Ulang, tahun							
	1.001	1.2500	2	5	10	25	50	100
	Persen Peluang							
	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	3.889
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	2.912	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
0	-2.326	-0.842	0	0.842	1.282	1.751	2.054	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	-3.149	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449

Faktor Kekerapan (K)	Interval Ulang,tahun							
	1.001	1.2500	2	5	10	25	50	100
	Persen Peluang							
	99	80	50	20	10	4	2	1
-1.4	-3.271	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318
-1.6	-3.388	-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	-0.499	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769
-2.8	-3.973	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714
-3.0	-4.051	-0.420	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667

### Contoh Perhitungan 3 :

Dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum selama 20 tahun yang diperoleh di **tabel 1**, analisa frekuensi hujan dengan menggunakan metode Log Pearson Type III.

### Penyelesaian :

- 1) Merangking data curah hujan harian maksimum yang didapat dari **tabel 1**.

**Tabel 9 Merangking data curah hujan harian maksimum**

No Urut	CHH <sub>Max</sub> (R <sub>i</sub> )
1	152
2	150
3	130
4	129
5	112
6	92
7	92
8	92
9	90
10	87
11	80
12	79
13	74
14	73
15	71
16	70
17	67
18	58
19	26
20	23
<b>Total</b>	<b>1,747</b>

2) Menghitung logaritma curah hujan maksimum ( $\log R_i$ ) :

$$\log R_1 = \log(152) = 2,182$$

3) Menghitung harga tengahnya ( $\overline{\log R}$ ) :

$$\overline{\log R} = \frac{\sum \text{Log} R}{n} = \frac{38}{20} = 1,90$$

4)  $\text{Log} R_1 - \overline{\log R} = 2.182 - 1,90 = 0,281$

5)  $(\text{Log} R_1 - \overline{\log R})^2 = (0,281)^2 = 0,079$

6)  $(\text{Log} R_1 - \overline{\log R})^3 = (0,281)^3 = 0,022$

7) Sehingga secara tabelaris dengan mengikuti langkah nomor 2) s/d 6) untuk data berikutnya didapatkan hasilnya sebagai berikut:

**Tabel 10 Perhitungan metode Log Pearson III**

No Urut	CHH <sub>Max</sub> (R <sub>i</sub> )	Log R <sub>i</sub>	Log R <sub>i</sub> - $\overline{\log R}$	$(\text{Log} R_i - \overline{\log R})^2$	$(\text{Log} R_i - \overline{\log R})^3$
1	152	2.182	0.281	0.079	0.022
2	150	2.176	0.275	0.076	0.021
3	130	2.114	0.213	0.046	0.010
4	129	2.111	0.210	0.044	0.009
5	112	2.049	0.149	0.022	0.003
6	92	1.964	0.063	0.004	0.000
7	92	1.964	0.063	0.004	0.000
8	92	1.964	0.063	0.004	0.000
9	90	1.954	0.054	0.003	0.000
10	87	1.940	0.039	0.002	0.000
11	80	1.903	0.002	0.000	0.000
12	79	1.898	(0.003)	0.000	0.000
13	74	1.869	(0.031)	0.001	0.000
14	73	1.863	(0.037)	0.001	0.000
15	71	1.851	(0.049)	0.002	0.000
16	70	1.845	(0.056)	0.003	0.000
17	67	1.826	(0.075)	0.006	0.000
18	58	1.763	(0.137)	0.019	-0.003
19	26	1.415	(0.486)	0.236	-0.115
20	23	1.362	(0.539)	0.290	-0.157
<b>Total</b>	<b>1,747</b>	<b>38.0</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.841552</b>	<b>-0.208079</b>

8) Menentukan standar deviasi ( $S_x$ ) :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log} R_i - \overline{\log R})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,84155}{20-1}} = 0,211$$

9) Menghitung koefisien asimetri ( $C_s$ ) :

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (\text{Log} R_i - \overline{\text{log} R})^3}{(n-1)(n-2)S_x^3} = \frac{20 \times (-0,208)}{19 \times 18 \times (0,21)^3} = -1,305$$

10) Menentukan faktor kekerapan  $K_f$  (lihat tabel 6)

Dengan data  $K = -1,305$  dan kala ulang 2 tahun

Secara interpolasi didapatkan harga  $K$ :

$$0,195 + \frac{(-1,305) - (-1,2)}{(-1,4) - (-1,2)} \times (0,225 - 0,195) = 0,211$$

Maka untuk kala ulang 2 tahun didapatkan  $K$  sebesar 0,211

11) Menentukan hujan rencana kala ulang ( $R_t$ ) :

$$\text{Log} R_t = \text{Log} R + K \cdot S_x$$

$$\text{Log} R_2 = 1,90 + (0,211 \times 0,211) = 1,945$$

$$R_2 = 10^{1,945} = 88 \text{ mm}$$

12) Sehingga secara tabelaris dengan mengikuti langkah nomor 3) s/d 11) didapatkan hasilnya sebagai berikut:

**Tabel 11 Menentukan Hujan Rencana Kala Ulang Metode Log Pearson III**

Kala ulang (Tahun)	$\overline{\text{log} R}$	K	Log $R_t$	$R_t$ (mm)
2	1.90	0.211	1,945	<b>88</b>
5	1.90	0.838	2,077	<b>119</b>
10	1.90	1.062	2,124	<b>133</b>
25	1.90	1.238	2,161	<b>145</b>
50	1.90	1.322	2,179	<b>151</b>
100	1.90	1.380	2,191	<b>155</b>

#### A.4.3 Resume Hujan Rata-rata Metode Log Pearson III dan Metode Gumbel

Dengan cara yang sama dihitung pula data dari beberapa stasiun lainnya, diupayakan yang berdekatan dengan daerah studi, setidaknya mempunyai sifat hujan yang sama. Hasil hitungan rata-rata dari beberapa stasiun lainnya seperti tabel berikut. Menghitung hujan rata-rata, dilakukan dengan rata-rata arimatik.

**Tabel 12 Resume Hujan Rata-rata Metode Log Pearson III dan Metode Gumbel**

Stasiun Hujan	Metode Analisa	Hujan Rencana (mm/hari) dengan kala ulang					
		2 Thn	5 Thn	10 Thn	25 Thn	50 Thn	100 Thn
St. A	Log Pearson III	88	119	133	145	151	155
	Gumbel	82	119	143	174	197	220

Stasiun Hujan	Metode Analisa	Hujan Rencana (mm/hari) dengan kala ulang					
		2 Thn	5 Thn	10 Thn	25 Thn	50 Thn	100 Thn
St. B	Log Pearson III	97	150	194	259	316	381
	Gumbel	104	179	228	291	337	383
St. C	Log Pearson III	99	158	205	260	320	395
	Gumbel	110	180	235	300	345	418
<b>Rata-rata (mm/hari)</b>		<b>97</b>	<b>151</b>	<b>190</b>	<b>238</b>	<b>278</b>	<b>325</b>

### A.5 MENGANALISA INTENSITAS HUJAN

Rumus menghitung intensitas curah hujan ( $I$ ) menggunakan hasil analisa distribusi frekuensi yang sudah dirata-rata, menggunakan rumus Mononobe sebagai berikut :

$$I_t = \frac{R_t}{24} \times \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

dimana :  $R_t$  = hujan rencana untuk berbagai kala ulang (mm)

$t$  = waktu konsentrasi (jam), untuk satuan dalam menit,  $t$  dikalikan 60.

$I_t$  = intensitas hujan untuk berbagai kala ulang (mm/jam)

#### Contoh Perhitungan 4 :

Dengan menggunakan hasil rata-rata dari metode Log Pearson III dan metode Gumbel (lihat tabel 12), analisa intensitas hujan dengan berbagai kala ulang.

#### Penyelesaian :

- 1) Dengan interval 2 tahun diperoleh hujan rencana untuk berbagai kala ulang sebesar 97 mm/hari (lihat tabel 12). Maka untuk waktu  $t = 10$  menit didapatkan intensitas hujan sebesar :

$$I_t = \frac{R_t}{24} \times \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I_t = \frac{97}{24} \times \left( \frac{24}{10 \times 60} \right)^{\frac{2}{3}}$$

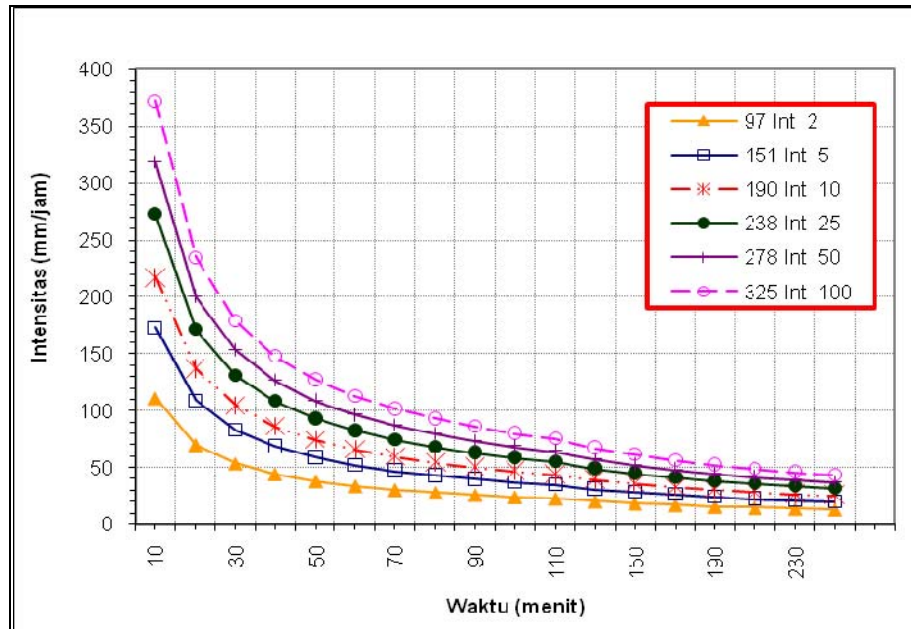
$$= 111 \text{ mm / jam}$$

2) Sehingga secara tabelaris dengan mengikuti langkah nomor 1) untuk waktu berikutnya didapatkan hasilnya sebagai berikut:

**Tabel 13 Analisa Intensitas Hujan (mm/jam)**

t	97	151	190	238	278	325
(Menit)	It 2 Thn	It 5 Thn	It 10 Thn	It 25 Thn	It 50 Thn	It 100 Thn
10	111	173	217	272	318	372
20	70	109	137	172	200	234
30	53	83	105	131	153	179
40	44	69	86	108	126	148
50	38	59	74	93	109	127
60	34	52	66	83	96	113
70	30	47	59	74	87	102
80	28	43	54	68	80	93
90	26	40	50	63	74	86
100	24	37	47	59	69	80
110	22	35	44	55	64	75
130	20	31	39	49	58	67
150	18	28	36	45	52	61
170	17	26	33	41	48	56
190	16	24	31	38	45	52
210	15	23	29	36	42	49
230	14	21	27	34	39	46
250	13	20	25	32	37	44

3) Dari tabel diatas didapatkan grafik intensitas hujan sebagai berikut :



**Gambar 2 Grafik Intensitas Hujan**

## A.6 ANALISA DEBIT BANJIR

### A.6.1 Metode Rasional.

Rumus umum Metode Rasional

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

dimana :  $Q_t$  = Debit banjir ( $m^3/det$ )

$C$  = Koefisien pengaliran

$I$  = Intensitas hujan ( $mm/jam$ )

$A$  = Luas Daerah Aliran ( $km^2$ )

**Tabel 14 Koefisien pengaliran (C)**

Tipe daerah aliran	Keterangan	Koefisien C
Perumputan	Tanah gemuk 2 – 7 %	0,18 – 0,22
Busines	Daerah kota lama	0,75 – 0,95
	Daerah pinggran	0,50 – 0,70
Perumahan	Single family	0,3 – 0,5
	Terpisah penuh	0,4 – 0,6
	Tertutup/rapat	0,6 – 0,7
	Apartemen	0,5 – 0,7
Industri	Ringan	0,5 – 0,8
	Berat	0,6 – 0,9

Ada beberapa kekurangan dari metode ini adalah :

- Daya tampung daerah penangkapan hujan tidak diperhitungkan
- Hujan diperkirakan merata pada seluruh daerah tangkap hujan
- Hidrograph dari aliran tidak bisa digambarkan

Untuk mengurangi kelemahan tersebut diatas maka metode ini kemudian dimodifikasi, yang disebut Modifikasi Rasional.

### A.6.2 Metode Modifikasi Rasional.

Saluran drainase primer akan dihitung dengan rumus Rasional yang dimodifikasi. Debit saluran yang akan diperiksa kapasitasnya, dihitung sebagai berikut :

$$Q_t = 0,278C_s.C.I.A$$

$$C_s = \frac{2t_c}{2t_c + t_d}$$

$$t_c = t_o + t_d$$

$$t_d = \frac{L}{V}$$

- dimana :
- Q = Debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/det)
  - C = Koefisien Pengaliran yang tergantung dari permukaan tanah daerah perencanaan.
  - C<sub>s</sub> = Koefisien Penyimpangan
  - I = Intensitas hujan (mm/jam)
  - A = Luas daerah aliran (catchment area) (Km<sup>2</sup>)
  - t<sub>c</sub> = Waktu konsentrasi, untuk daerah saluran drainase perkotaan terdiri dari t<sub>o</sub> dan t<sub>d</sub>
  - t<sub>o</sub> = Waktu yang diperlukan air untuk mengalir melalui permukaan tanah ke saluran terdekat (menit).
  - t<sub>d</sub> = Waktu yang diperlukan air untuk mengalir didalam saluran ke tempat yang direncanakan (menit)

**Tabel 15 Koefisien pengaliran**

Kemiringan Permukaan Tanah	Loam berpasir	Lempung siltloam	Lempung padat
Hutan kemiringan	0 – 5 %	0,10	0,30
	5 – 10 %	0,25	0,35
	10 – 30 %	0,30	0,50
Padang rumput/ semak-semak kemiringan	0 – 5 %	0,10	0,30
	5 – 10 %	0,15	0,35
	10 – 30 %	0,20	0,40
Tanah pertanian kemiringan	0 – 5 %	0,30	0,50
	5 – 10 %	0,40	0,60
	10 – 30 %	0,50	0,70

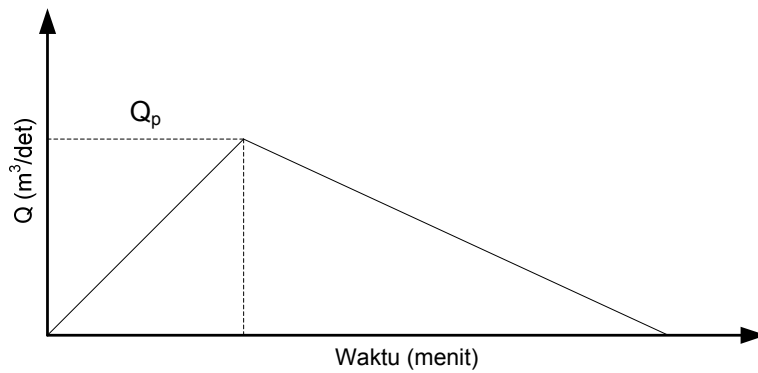
**Tabel 16 Koefisien pengaliran**

Tipe Daerah Aliran	Keterangan	Harga C
Perumahan	Tanah pasir, datar 2%	0,05 – 0,10
	Tanah pasir, rata-rata 2 – 7%	0,10 – 0,15
	Tanah pasir, curam 7%	0,15 – 0,20
	Tanah gemuk, datar 2%	0,13 – 0,17
	Tanah gemuk, rata-rata 2 – 7%	0,18 – 0,22
	Tanah gemuk, curam 7%	0,25 – 0,35
Business	Daerah kota lama	0,75 – 0,95
	Daerah pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	Daerah “single family”	0,30 – 0,50
	“multi units”, terpisah-pisah	0,40 – 0,60
	“multi units”, tertutup	0,60 – 0,75
	“suburban”, daerah perumahan apartemen	0,25 – 0,40
Industri	Daerah ringan	
	Daerah berat	
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



Tipe Daerah Aliran	Keterangan	Harga C
Jalan	Beraspal Beton Batu	0,70 – 0,95 0,80 – 0,95 0,70 – 0,85
Untuk berjalan dan naik kuda		0,75 – 0,85
Atap		0,75 – 0,95

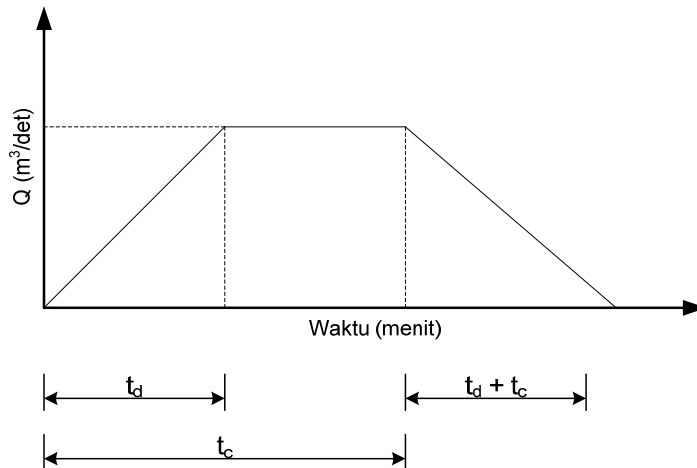
Secara matematis harga Q pada modifikasi ini akan lebih kecil dari pada Q sebelum dimodifikasi. Dari gambar berikut dapat dilihat :



Gambar 3 Skematik Unit Hidrograph

Bahwa  $Q_p = 0,278C..I.A$

Setelah dimodifikasi maka bentuk curve diatas akan menjadi sebagai berikut:



Gambar 4 Skematik Unit Hidrograph yang sudah di modifikasi

### A.6.3 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik yang terjauh ke titik yang akan dihitung debitnya. Metode Kirpich merupakan metode yang biasa digunakan untuk menghitung waktu.

$$t = 0,0195 \left( \frac{L}{S} \right)^{0,77}$$

dimana :

- t = waktu konsentrasi (menit)
- L = panjang sungai/saluran dari hulu sampai titik yang diambil debitnya (m)
- s = kemiringan daerah saluran/sungai = H / L

### Contoh Perhitungan 5 :

Analisa debit banjir saluran drainase hujan periode ulang 10 tahunan pada **Contoh Perhitungan 4** dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Luas catchment area (A) = 500 Ha = 5 km<sup>2</sup>
- Koefisien pengaliran (C) = 0,73
- Waktu awal (t<sub>0</sub>) = 10 menit
- Waktu konsentrasi (t<sub>c</sub>) = 70 menit
- Panjang saluran (L) = 5400 m
- Kecepatan rata-rata/velocity (V) = 1,5 m/det
- Hujan rencana kala ulang 10 tahunan (R<sub>t</sub>) = 190 mm/hari (lihat tabel12)

### Penyelesaian :

1) Waktu pengaliran sepanjang saluran :

$$t_d = \frac{L}{60V} = \frac{5400}{60 \times 1,5} = 60 \text{menit}$$

2) Waktu konsentrasi :

$$t_c = t_o + t_d = 10 + 60 = 70 \text{menit}$$

3) Koefisien penyimpangan :

$$C_s = \frac{2 t_c}{2 t_c + t_d} = \frac{2 \times 70}{(2 \times 70) + 60} = 0,7$$

4) Intensitas hujan:

$$I_t = \frac{R_t}{24} \times \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I_t = \frac{190}{24} \times \left( \frac{24}{70 \times 60} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 59 \text{ mm / jam}$$

5) Debit air yang masuk :

$$Q_{in} = 0,278C \times C_s \times I \times A$$

$$= 0,278 \times 0,73 \times 0,70 \times 59 \times 5$$

$$= 42 \text{ m}^3 / \text{det}$$

### Contoh Perhitungan 6 :

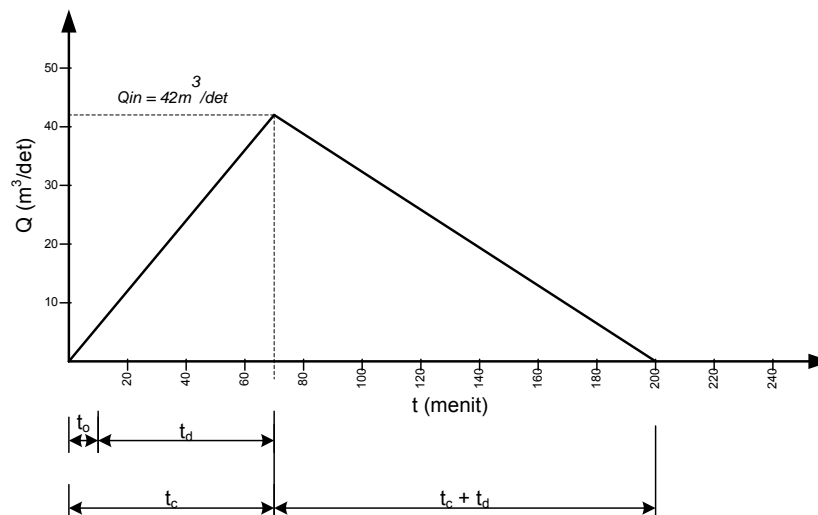
Gunakan data yang diperoleh dari **Contoh Perhitungan 5** untuk menghitung volume kolam retensi dan kapasitas pompa.

### PENYELESAIAN :

1) Data yang digunakan :

- Waktu pengaliran sepanjang saluran ( $t_d$ ) = 60 menit
- Waktu konsentrasi ( $t_c$ ) = 70 menit
- Hujan rencana kala ulang 10 tahunan ( $R_t$ ) = 190 mm/hari
- Intensitas hujan ( $I$ ) = 59 mm/jam
- Debit air yang masuk ( $Q_{in}$ ) = 42 m<sup>3</sup>/det

2) Dari data diatas diperoleh hidrograf aliran masuk seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5 Grafik hidrograf aliran masuk

- 3) Hitung kumulatif volume aliran masuknya dari grafik hidrograph diatas, hasilnya seperti terlihat pada tabel berikut :

**Tabel 17 Kumulatif aliran masuk  $Q_{in}$  dimensi  $t_c$**

Kumulatif Waktu (menit)	Aliran Masuk ( $m^3/det$ )	Rata-rata Aliran Masuk ( $m^3/det$ )	$A_t$	Volume ( $m^3$ )	Kumulatif Volume 1 ( $m^3$ )
0	0.00		1200		
10	6.00	3.00	1200	3600	3600
20	12.00	9.00	1200	10800	14400
30	18.00	15.00	1200	18000	32400
40	24.00	21.00	1200	25200	57600
50	30.00	27.00	1200	32400	90000
60	36.00	33.00	1200	39600	129600
70	42.00	39.00	1200	46800	176400
80	38.77	40.38	1200	48462	224862
90	35.54	37.15	1200	44585	269446
100	32.31	33.92	1200	40708	310154
110	29.08	30.69	1200	36831	346985
120	25.85	27.46	1200	32954	379938
130	22.62	24.23	1200	29077	409015
140	19.38	21.00	1200	25200	434215
150	16.15	17.77	1200	21323	455538
160	12.92	14.54	1200	17446	472985
170	9.69	11.31	1200	13569	486554
180	6.46	8.08	1200	9692	496246
190	3.23	4.85	1200	5815	502062
200	0.00	1.62	1200	1938	504000
210	0.00	0.00	1200	0	504000
220	0.00	0.00	1200	0	504000
230	0.00	0.00	1200	0	504000
240	0.00	0.00	1200	0	504000
250	0.00	0.00	1200	0	504000
260	0.00	0.00	1200	0	504000

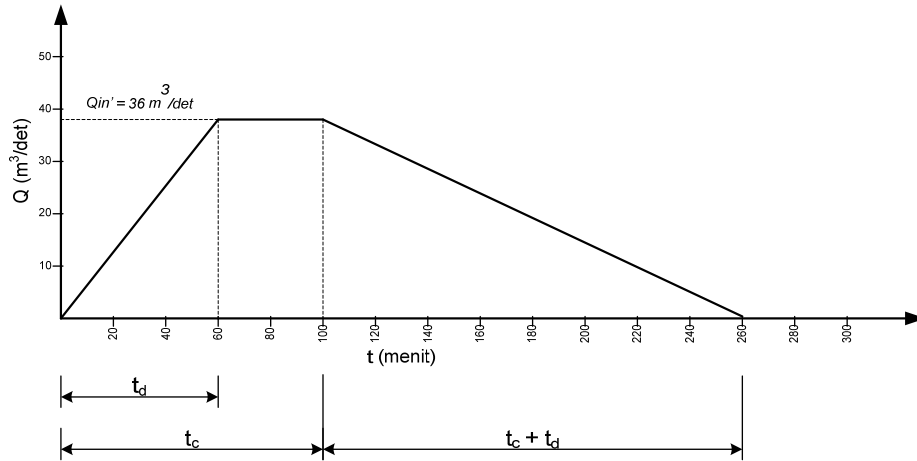
- 4) Perhitungan Kapasitas Inflow, kritis dengan mencoba (*trial & error*) model hidrograf kondisi kolam retensi kritis  $t_c > t$

Dicoba : kala ulang 10 tahunan dengan  $t_c = 100$  menit  $\rightarrow i = 47$  mm/jam (lihat tabel intensitas hujan)

$$C_s = \frac{2t_c}{2t_c + t_d} = \frac{2 \times 100}{(2 \times 100) + 60} = 0.76$$

$$\begin{aligned} Q_{in}' &= 0.278 C_s C_s i A \\ &= 0.278 \times 0.73 \times 0.76 \times 47 \times 5 \\ &= 36 m^3 / det \end{aligned}$$

5) Untuk hidrograf aliran masuknya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 6 Grafik hidrograph bila terjadi waktu kri**

6) Hitung kumulatif volume aliran masuknya dari grafik hidrograph diatas, hasilnya seperti terlihat pada tabel berikut :

**Tabel 18 Kumulatif volume aliran masuk  $Q_{in'}$  durasi  $t_c$**

Kumulatif Waktu (menit)	Aliran Masuk ( $m^3/det$ )	Rata-rata Aliran Masuk ( $m^3/det$ )	$A_t$	Volume ( $m^3$ )	Kumulatif Volume 2 ( $m^3$ )
0	0.00		1200		
10	6.00	3.00	1200	3600	3600
20	12.00	9.00	1200	10800	14400
30	18.00	15.00	1200	18000	32400
40	24.00	21.00	1200	25200	57600
50	30.00	27.00	1200	32400	90000
60	36.00	33.00	1200	39600	129600
70	36.00	36.00	1200	43200	172800
80	36.00	36.00	1200	43200	216000
90	36.00	36.00	1200	43200	259200
100	36.00	36.00	1200	43200	302400
110	33.75	34.88	1200	41850	344250
120	31.50	32.63	1200	39150	383400
130	29.25	30.38	1200	36450	419850
140	27.00	28.13	1200	33750	453600
150	24.75	25.88	1200	31050	484650
160	22.50	23.63	1200	28350	513000
170	20.25	21.38	1200	25650	538650
180	18.00	19.13	1200	22950	561600
190	15.75	16.88	1200	20250	581850
200	13.50	14.63	1200	17550	599400
210	11.25	12.38	1200	14850	614250
220	9.00	10.13	1200	12150	626400

Kumulatif Waktu (menit)	Aliran Masuk (m <sup>3</sup> /det)	Rata-rata Aliran Masuk (m <sup>3</sup> /det)	A <sub>t</sub>	Volume (m <sup>3</sup> )	Kumulatif Volume 2 (m <sup>3</sup> )
230	6.75	7.88	1200	9450	635850
240	4.50	5.63	1200	6750	642600
250	2.25	3.38	1200	4050	646650
260	0.00	1.13	1200	1350	648000

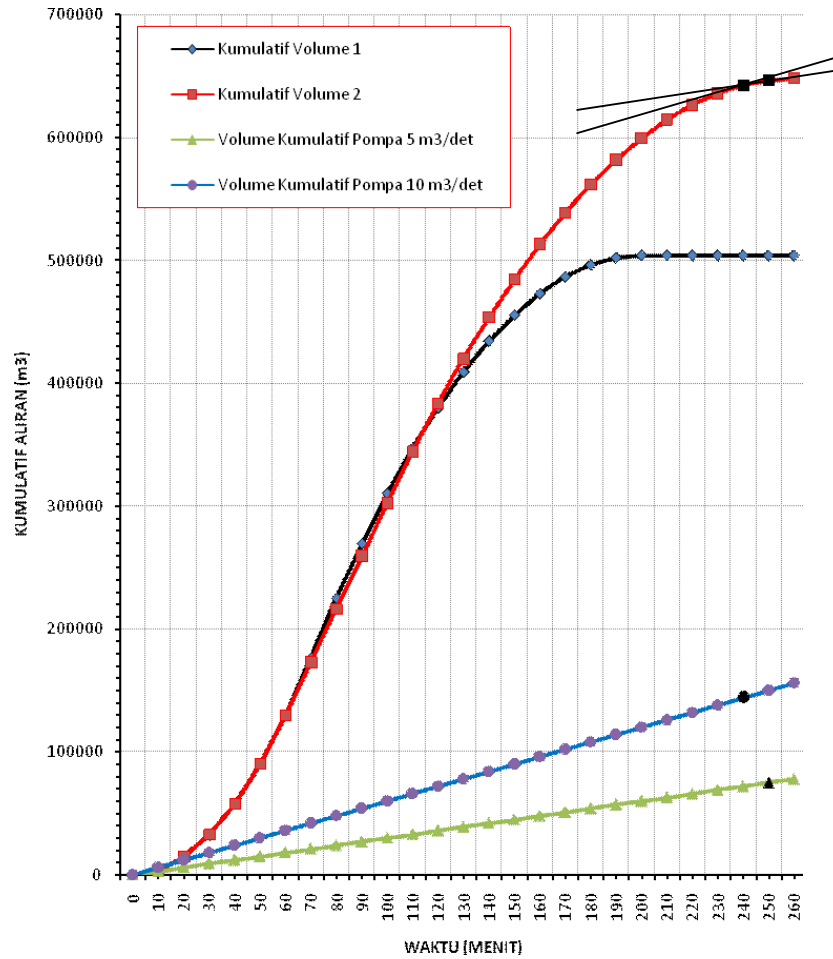
7) Tentukan volume kolam retensi dan kapasitas pompanya :

Dicoba dengan menggunakan kapasitas pompa 5 m<sup>3</sup>/det dan 10 m<sup>3</sup>/det.

**Tabel 19 Analisa volume kolam retensi dan keperluan pompa**

Kumulatif Waktu (menit)	Kumulatif Volume 2 (m <sup>3</sup> )	Volume Kumulatif Pompa		Volume Kolam Retensi	
		5 m <sup>3</sup> /det	10 m <sup>3</sup> /det	5 m <sup>3</sup> /det	10 m <sup>3</sup> /det
0	0	0	0	0	0
10	3600	3000	6000	600	-2400
20	14400	6000	12000	8400	2400
30	32400	9000	18000	23400	14400
40	57600	12000	24000	45600	33600
50	90000	15000	30000	75000	60000
60	129600	18000	36000	111600	93600
70	172800	21000	42000	151800	130800
80	216000	24000	48000	192000	168000
90	259200	27000	54000	232200	205200
100	302400	30000	60000	272400	242400
110	344250	33000	66000	311250	278250
120	383400	36000	72000	347400	311400
130	419850	39000	78000	380850	341850
140	453600	42000	84000	411600	369600
150	484650	45000	90000	439650	394650
160	513000	48000	96000	465000	417000
170	538650	51000	102000	487650	436650
180	561600	54000	108000	507600	453600
190	581850	57000	114000	524850	467850
200	599400	60000	120000	539400	479400
210	614250	63000	126000	551250	488250
220	626400	66000	132000	560400	494400
230	635850	69000	138000	566850	497850
240	642600	72000	144000	570600	<b>498600</b>
250	646650	75000	150000	<b>571650</b>	496650
260	648000	78000	156000	570000	492000

8) Hasil Kumulatif dari tabel 16, 17 dan 18 kemudian di plot. Dari gambar tersebut terlihat tidak terjadi aliran kritis pada daerah studi, aliran tersebut lebih besar dari perencanaan berdasarkan waktu konsentrasi.



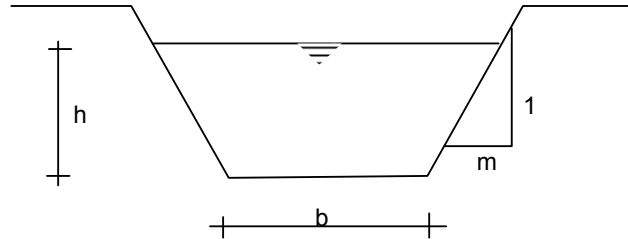
Gambar 7 Grafik kumulatif aliran

- 9) Dari grafik kumulatif aliran di atas dihasilkan volume kolam retensi sebagai berikut :
- Kapasitas pompa 5 m<sup>3</sup>/detik, maka volume kolam retensinya didapat 571650 m<sup>3</sup>
  - Kapasitas pompa 10 m<sup>3</sup>/detik, maka volume kolam retensinya didapat 498600 m<sup>3</sup>

## A.7 ANALISA DIMENSI SALURAN

### A.7.1 Penampang basah yang paling ekonomis untuk menampung debit maksimum ( $A_e$ ).

#### 1. Saluran Bentuk Trapesium



Gambar 8 Saluran bentuk trapesium

Rumus yang digunakan :

$$A_e = (b + m.h)h$$

$$P = b + 2h\sqrt{(1 + m^2)}$$

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

Dimana :

- B = lebar saluran (m)
- h = dalamnya air (m)
- m = perbandingan kemiringan talud
- R = jari – jari hidrolis (m)
- P = Keliling basah saluran (m)
- $A_e$  = Luas Penampang basah ( $m^2$ )

#### 2. Saluran Bentuk Segi Empat

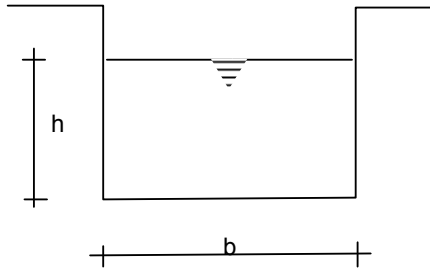
Rumus yang digunakan :

$$A_e = b.h$$

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

$$P = b + 2h$$





**Gambar 9 Saluran bentuk segiempat**

Dimana :

B = lebar saluran (m)

h = dalamnya air ( m )

R = jari – jari hidrolis ( m )

P = Keliling basah saluran (m)

$A_e$  = Luas Penampang basah ( $m^2$ )

### A.7.2 Penampang basah berdasarkan debit air (Q) dan kecepatan (V)

Dimensi saluran diperhitungkan dengan rumus Manning sebagai berikut :

$$Q = V.A$$

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

- Dimana :
- Q : Debit air di saluran ( $m^3/det$ )
  - V : Kecepatan air dalam saluran (m/det)
  - n : Koefisien kekasaran dinding.
  - R : Jari-jari hidraulik (meter)
  - i : Kemiringan dasar saluran
  - A : Luas penampang basah ( $m^2$ )

**Tabel 20 Koefisien kekasaran dinding (n)**

Tipe saluran	n
Lapisan beton	0,017 – 0,029
Pasangan batukali diplester	0,020 – 0,025
Saluran dari alam	0,025 – 0,045

### A.7.3 Kemiringan Talud.

#### 1. Kemiringan Talud Saluran Tanah.

Kemiringan talud disesuaikan dengan karakteristik tanah setempat yang pada umumnya berkisar antara 1 : 1,5 s/d 1 : 4.

Tabel 21 Kemiringan Talud Bahan dari Tanah

Bahan Tanah	Kemiringan Talud (m = H/V)
Batu	0,25
Lempung kenyal, geluh	1 - 2
Lempung pasir, tanah kohesi f	1,5 - 2,5
Pasir lanauan	2 - 5
Gambut kenyal	1 - 2
Gambut lunak	3 - 4
Tanah dipadatkan dengan baik	1 - 1,5

#### 2. Kemiringan Talud Saluran Pasangan.

Tabel 22 Kemiringan Talud Bahan dari Pasangan

Tinggi Air	m
$h < 0,40$ m	0 (dinding tegak vertikal)
$0,75 > h > 0,40$ m	0,25 - 0,5
$H > 0,75$ m	0,50 - 1,0

### A.7.4 Tinggi Jagaan (F).

Tinggi jagaan minimum untuk saluran dengan pasangan direncanakan = 0,50m. Untuk saluran tanpa pasangan dengan debit tinggi jagaan sebagai berikut :

Tabel 23 Tinggi jagaan

Q	F (m)	Polder (m)
$Q < 5$ m <sup>3</sup> /det	0,20 - 0,30	0,75 - 1,00
$10$ m <sup>3</sup> /det $> Q > 5$ m <sup>3</sup> /det	0,30 - 0,50	1,00 - 1,25
$Q > 10$ m <sup>3</sup> /det	0,70 - 1,00	1,25 - 1,50

### A.7.5 Kemiringan Tanah

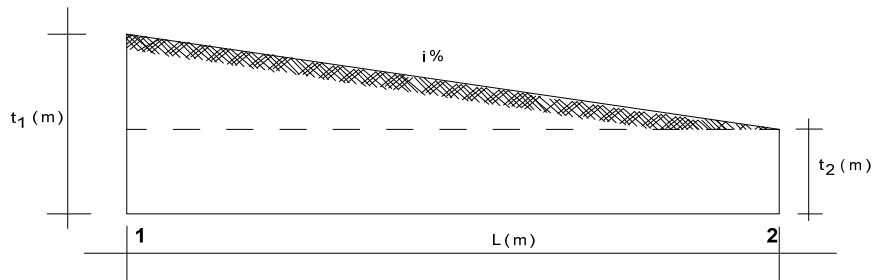
Kemiringan tanah di tempat dibuatnya fasilitas saluran drainase ditentukan dari hasil pengukuran di lapangan, dihitung dengan rumus :

$$i = \frac{t_1 - t_2}{L} \times 100\%$$

Keterangan :

$t_1$  = tinggi tanah di bagian tertinggi ( m )

$t_2$  = tinggi tanah di bagian terendah ( m )



Gambar 10 Kemiringan tanah

Tabel 24 Harga n untuk rumus Manning

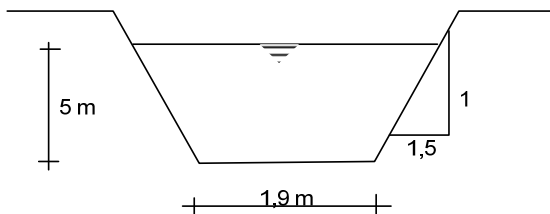
No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
	SALURAN BUATAN				
1	saluran tanah, lurus teratur	0.017	0.02	0.023	0.025
2	saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0.023	0.028	0.03	0.04
3	saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0.02	0.03	0.033	0.035
4	saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0.035	0.04	0.045	0.045
5	saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0.025	0.03	0.035	0.04
6	dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0.028	0.03	0.033	0.035
7	saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0.02	0.025	0.028	0.03
	SALURAN ALAM				
8	Bersih, lurus tidak berpasir, tidak berlubang	0.025	0.028	0.03	0.033
9	seperti no.8, tetapi tidak ada timbunan atau kerikil	0.03	0.033	0.035	0.04
10	Melengkung bersih, berlubang dan berdinding pasir	0.033	0.035	0.04	0.045

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
11	seperti no.10, dangkal tidak teratur	0.04	0.045	0.05	0.055
12	seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0.035	0.04	0.045	0.05
13	seperti no.10, sebagian berbatu	0.045	0.05	0.055	0.06
14	aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0.05	0.06	0.07	0.08
15	banyak tumbuh-tumbuhan	0.075	0.1	0.125	0.15
	SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI				
16	saluran pemasangan batu, tanpa penyelesaian	0.025	0.03	0.033	0.035
17	seperti no 16, tapi dengan penyelesaian	0.017	0.02	0.025	0.03
18	saluran beton	0.014	0.016	0.019	0.021
19	saluran beton halus dan rata	0.01	0.011	0.012	0.013
20	saluran beton pracetak dengan acuan baja	0.013	0.014	0.014	0.015
21	saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0.015	0.016	0.016	0.018

### Contoh Perhitungan 7 :

Analisa dimensi saluran trapesium dengan menggunakan data perencanaan sebagai berikut :

- Debit air yang masuk ( $Q_{in}$ ) = 42 m<sup>3</sup>/det (diambil dari contoh perhitungan 5)
- Lebar saluran (b) = 5 m
- Dalamnya air (h) = 1,9 m
- Perbandingan kemiringan talud (m) = 1,5
- Kemiringan saluran yang diijinkan (i) = 0,0025
- Koefisien kekasaran Manning (n) = 0,020



Gambar 11 Kemiringan tanah

### Penyelesaian :

1) Luas penampang basah saluran :

$$\begin{aligned}
 A_e &= (b + m.h)h \\
 &= (5,0 + (1,5 \times 1,9)) \times 1,9 \\
 &= 14,92 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2) Keliling basah saluran :

$$\begin{aligned} P &= b + 2h\sqrt{1+m^2} \\ &= 5 + 2(1,9)\sqrt{1+(1,5)^2} \\ &= 11,9m \end{aligned}$$

3) Jari-jari hidrolis :

$$\begin{aligned} R &= \frac{A_e}{P} \\ &= \frac{14,92}{11,9} \\ &= 1,26m \end{aligned}$$

4) Kecepatan aliran :

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{n}(R)^{2/3}(i)^{1/2} \\ &= \frac{1}{0,020}(1,26)^{2/3}(0,0025)^{1/2} \\ &= 2,91 \text{ m / det} \end{aligned}$$

5) Debit air yang keluar :

$$\begin{aligned} Q_{out} &= V \cdot A \\ &= 2,91 \times 14,92 \\ &= 43,47m^3 / \text{det} \end{aligned}$$

6) Check :

$$\begin{aligned} R_{em} &= \frac{Q_{in}}{Q_{out}} \\ &= \frac{42}{43,47} \\ &= 0,97 \quad (OK) \end{aligned}$$