

BAB IV

ANALISIS DAN PERHITUNGAN

4.1 Analisis Data Curah Hujan

4.1.1 Analisis Curah Hujan Metode Poligon Thiessen

Untuk perhitungan curah hujan rencana ini digunakan data curah hujan dari 4 stasiun curah hujan namun hanya 3 stasiun yang mempengaruhi catchment area, dengan memakai data curah hujan selama 12 tahun yaitu dari tahun 2006 sampai tahun 2017, seperti terlampir dalam tabel berikut:

Metode poligon Thiessen digunakan rumus yaitu :

$$\bar{R} = \frac{R_A \cdot A_A + R_B \cdot A_B + R_C \cdot A_C + R_D \cdot A_D + \dots + R_n \cdot A_n}{A}$$

Dimana :

$\bar{R}$ = Tinggi curah hujan rata-rata (mm)

$R_A, R_B, R_C, R_D, \dots, R_n$ = Curah hujan maksimum pada stasiun A, B, C, D, ..., n

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas daerah yang terwakili oleh stasiun A, B, C, D, ..., n

A = Luas catchment area (km²)

Berikut perhitungan curah hujan metode poligon Thiessen pada 31 oktober 2006 yaitu :

- Curah hujan pada stasiun pengamatan

$R_{\text{Koto Baru}} = 140 \text{ mm}$

$R_{\text{Surantih}} = 0 \text{ mm}$

$R_{\text{Muaralabuh}} = 4,7 \text{ mm}$

- Luas daerah yang mempengaruhi Catchment area (A)

$$\begin{array}{lcl}
 A_{\text{Kotobaru}} & = 104 \text{ km}^2 & \\
 A_{\text{Surantih}} & = 26 \text{ km}^2 & \\
 A_{\text{Muaralabuh}} & = 87 \text{ km}^2 & \\
 \hline
 & & A_{\text{total}} = 217 \text{ km}^2
 \end{array}$$

Sehingga didapat,

$$R = \frac{(104 \times 140) + (0 \times 26) + (4,7 \times 87)}{(104 + 26 + 87)} = 68,98 \text{ mm}$$

- Koefisien Thiessen

$$\begin{array}{lcl}
 \text{a. Stasiun Koto Baru} & = \frac{104 \text{ km}^2}{217 \text{ km}^2} = 0,48 & \\
 \text{b. Stasiun Surantih} & = \frac{26 \text{ km}^2}{217 \text{ km}^2} = 0,11 & \\
 \text{c. Stasiun Muaralabuh} & = \frac{87 \text{ km}^2}{217 \text{ km}^2} = 0,4 & \\
 \hline
 & & = 1
 \end{array}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.1 Perhitungan curah hujan metode poligon Thiessen

Tgl	Bulan	Tahun	Stasiun Pengamatan			Curah Hujan (mm)	Hujan Maksimum (mm)
			Koto Baru	Suranti	Muaralabu		
			0,479	0,120	0,401		
31	Okt	2006	140,0	0,0	4,7	68,98	68,98
19	Aug		0,0	98,0	0,0	11,74	
16	Nov		53,0	0,0	33,0	38,63	
19	Okt	2007	192,0	0,0	10,0	96,03	96,03
13	Jun		0,0	49,0	4,0	7,47	
25	May		0,0	0,0	75,0	30,07	
26	Sept	2008	240,0	6,8	0,0	115,84	115,84
21	Jul		15,0	475,0	0,0	64,10	
16	Apr		0,0	8,5	80,0	33,09	
2	Nov	2009	47,0	0,0	6,0	24,93	24,93
17	Des		0,0	114,0	14,0	19,27	
14	Jun		0,0	1,0	44,0	17,76	
9	Mar	2010	115,0	52,0	0,0	61,35	61,35
26	Sept		0,0	170,0	9,0	23,98	
6	Mar		38,0	5,0	41,0	35,25	
3	Nov	2011	235,0	210,0	0,0	137,79	137,79
3	Nov		235,0	210,0	0,0	137,79	
6	Aug		0,0	0,0	55,0	22,05	
19	Okt	2012	122,0	46,5	0,0	64,04	64,04
8	Mar		79,8	104,0	0,0	50,71	
28	Jul		0,0	0,0	36,0	14,43	
20	Aug	2013	99,0	162,5	0,0	66,92	66,92
20	Aug		99,0	162,5	0,0	66,92	
7	Feb		0,0	2,6	60,0	24,37	
21	Sept	2014	108,5	174,4	11,0	77,31	77,31
21	Sept		108,5	174,4	11,0	77,31	
2	Apr		0,0	9,4	50,0	21,17	
15	Mar	2015	109,0	62,5	2,0	60,53	66,17

18	Feb		86,2	164,0	13,0	66,17	
8	Nov		0,0	16,0	75,0	31,99	
12	Apr	2016	105,0	81,0	13,5	65,44	65,44
15	May		90,9	107,0	1,5	56,99	
8	Feb		20,1	56,0	50,0	36,39	
1	Mar	2017	105	62,5	9	61,42	63,10
22	Agt		104,9	87	6	63,10	
14	Apr		0	0	36	14,43	

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4.2 Hujan maksimum harian DAS Batang Kambang

No.	Waktu Kejadian			Hujan Maksimum (mm)
	Tanggal	Bulan	Tahun	
1	31	Oktober	2006	68,98
2	19	Oktober	2007	96,03
3	26	September	2008	115,84
4	2	November	2009	24,93
5	9	Maret	2010	61,35
6	3	November	2011	137,79
7	9	Maret	2012	64,04
8	19	Oktober	2013	66,92
9	21	September	2014	77,31
10	18	Februari	2015	66,17
11	12	april	2016	65,44
12	22	Agustus	2017	63,10

(Sumber : Perhitungan)

4.1.2 Analisis Curah Hujan Rencana

Untuk mendapatkan besarnya debit banjir rencana berdasarkan data hujan, perlu dilakukan terlebih dahulu analisis. Analisis yang digunakan adalah analisis statistik distribusi curah hujan harian maksimum, Untuk memperoleh distribusi frekuensi, metode yang umum dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi Normal, Gumbel, Log Normal dan Log Pearson tipe III.

4.1.2.1 Distribusi Probabilitas Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan probabilitas normal, jika data yang digunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot SD$$

Perhitungan ditabelkan.

Tabel 4.3 Perhitungan curah hujan rata-rata

No.	Tahun	Xi (mm)	(Xi - $\bar{X}$) ²
1	2006	68,98	44,58
2	2007	96,03	414,93
3	2008	115,84	1614,43
4	2009	24,93	2573,22
5	2010	61,35	204,84
6	2011	137,79	3860,16
7	2012	64,04	134,94
8	2013	66,92	76,40
9	2014	77,31	2,72
10	2015	66,17	89,94
11	2016	65,44	104,40
12	2017	63,10	157,60
	Σ	907,89	9278,15
	$\bar{X}$	75,66	

(Sumber : Perhitungan)

$$\text{Curah hujan rata-rata } (\bar{X}) = \frac{\sum X}{n} = \frac{907,89}{12} \\ = 75,66 \text{ mm}$$

$$\text{Standar deviasi (SD)} = \sqrt{\frac{(\sum (X_i - \bar{X})^2)}{n-1}} \\ = \sqrt{\frac{9278,15}{12-1}} = 29,04 \text{ mm}$$

Nilai K_T didapat berdasarkan periode ulang tahun (T) yaitu :

$T = 2$ maka $K_T = 0$ (Lampiran tabel variabel reduksi Gauss pada Tabel 2.3)

Perhitungan curah hujan rencana periode ulang 2 tahun yaitu :

$$X_2 = \bar{X} + K_T \cdot SD \\ = 75,66 + (0 \times 29,04) \\ = 75,66 \text{ mm}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.4 Perhitungan curah hujan metode Distribusi Normal

No.	Periode ulang (T)	$\bar{X}$ (mm)	K_T	X_T (mm)
1	2	75,66	0	75,66
2	5	75,66	0,84	100,05
3	10	75,66	1,28	112,83
4	20	75,66	1,64	123,29
5	25	75,66	1,71	125,32
6	50	75,66	2,05	135,19
7	100	75,66	2,33	143,32

(Sumber : Perhitungan)

4.1.2.2 Distribusi Probabilitas Gumbel

Jika data hujan yang digunakan dalam perhitungan adalah berupa sampel (populasi terbatas), maka perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel.

Curah hujan pada periode ulang (X_T) yaitu :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$\text{Standar deviasi (SD)} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Dimana :

$\bar{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

n = Jumlah data

SD = Standar deviasi

Besarnya curah hujan rencana dihitung dengan rumus :

$$X_T = \bar{X} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} \times \text{SD}$$

Dimana :

X_T = Curah hujan harian rencana dengan periode ulang t tahun (mm)

$\bar{X}$ = Curah hujan harian rata-rata (mm)

SD = Standar deviasi

S_n = *Reduced standar deviasi*

Y_t = *Reduced variate*

Y_n = *Reduced mean*

Untuk nilai S_n , Y_t , Y_n digunakan Tabel.

Perhitungan curah hujan disajikan dalam tabel.

$$\begin{aligned} \text{Curah hujan rata-rata } (\bar{X}) &= \frac{\sum X_i}{n} = \frac{907,89}{12} \\ &= 75,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standar deviasi SD} &= \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{9278,15}{12-1}} = 29,04 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Perhitungan curah hujan rencana

No.	Rangking (mm)	$(X) = (\sum Xi)/n$	$(Xi - (X))$	$(Xi - X)^2$
1	137,79	75,66	62,13	3860,14
2	115,84	75,66	40,18	1614,43
3	96,03	75,66	20,37	414,94
4	77,31	75,66	1,65	2,72
5	68,98	75,66	-6,68	44,62
6	66,92	75,66	-8,74	76,39
7	66,17	75,66	-9,49	90,06
8	65,44	75,66	-10,22	104,45
9	64,04	75,66	-11,62	135,02
10	63,1	75,66	-12,56	157,75
11	61,35	75,66	-14,31	204,78
12	24,93	75,66	-50,73	2573,53
	$\Sigma = 907,9$			9278,83

(Sumber : Perhitungan)

Untuk, $n = 12$ tahun ; didapat $Y_n = 0,5022$; $S_n = 0,9782$

untuk, $t = 2$ tahun ; $Y_t = 0,3065$

untuk, $t = 5$ tahun ; $Y_t = 1,4999$

untuk, $t = 10$ tahun ; $Y_t = 2,2504$

untuk, $t = 20$ tahun ; $Y_t = 2,9702$

untuk, $t = 25$ tahun ; $Y_t = 3,1225$

untuk, $t = 50$ tahun ; $Y_t = 3,9019$

untuk, $t = 100$ tahun ; $Y_t = 4,6001$

Sehingga, curah hujan periode ulang dengan metode Gumbel yaitu :

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 75,66 + \frac{(0,3065 - 0,5022)}{0,9782} \times 29,04 \\
 &= 69,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.6 Perhitungan curah hujan metode Distribusi Gumbel

No.	Periode ulang (tahun)	Sn	SD	Yn	Yt	X _T (mm)
1	2	0,9782	29,04	0,5022	0,3065	69,85
2	5	0,9782	29,04	0,5022	1,4999	105,28
3	10	0,9782	29,04	0,5022	2,2504	127,56
4	20	0,9782	29,04	0,5022	2,9702	148,93
5	25	0,9782	29,04	0,5022	3,1225	153,45
6	50	0,9782	29,04	0,5022	3,9019	176,59
7	100	0,9782	29,04	0,5022	4,6001	197,32

(Sumber : Perhitungan)

4.1.2.3 Metode Distribusi Log Normal

Perhitungan hujan rencanaberdasarkan probabilitas Log Normal, Jika data yang digunakan berupa sampel.Untuk perhitungan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + (K_T \times S \text{ Log } X)$$

Dimana :

Log X_T = Nilai Logaritma hujan rencana periode ulang T tahun

$\overline{\text{Log } X}$ = Nilai rata-rata Log X (mm)

S Log X = Standar deviasi dari Log X (mm)

K_T = Nilai K_T didapat berdasarkan periode ulang tahun (T) yaitu :

T = 2 maka K_T = 0 (Lampiran tabel variabel reduksi Gauss)

Perhitungan curah hujan rencana Log Normal yaitu :

$$\text{Log } 68,98 = 1,84 \text{ mm}$$

$$\overline{\text{Log } X_i} = \frac{\sum \text{Log } X_i}{n} = \frac{22,17}{12} = 1,85 \text{ mm}$$

$$S \text{ Log } X = \sqrt{\frac{(\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X_i})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,365}{12-1}} = 0,182 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Log } X_2 &= 1,85 + (0 \times 0,182) = 1,83 \text{ mm} \\ X_2 &= 10^{1,83} \\ &= 67,60 \text{ mm}\end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.7 Parameter statistik metode Distribusi Log Normal

No.	Xi (mm)	Log Xi	Log Xi - (Log X) $\bar{i}$	(Log Xi - (Log X) $\bar{i}$) ²
1	68,98	1,84	-0,01	0,0001
2	96,03	1,98	0,13	0,0175
3	115,84	2,06	0,21	0,0457
4	24,93	1,40	-0,45	0,2055
5	61,35	1,79	-0,06	0,0039
6	137,79	2,14	0,29	0,0836
7	64,04	1,81	-0,04	0,0019
8	66,92	1,83	-0,02	0,0006
9	77,31	1,89	0,04	0,0015
10	66,17	1,82	-0,03	0,0009
11	65,44	1,82	-0,03	0,0012
12	63,1	1,80	-0,05	0,0025
Σ	907,9	22,17		0,3648

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4.8 Perhitungan hujan rencana Distribusi Log Normal

No.	Periode ulang (T)	K_T	$\text{Log } X_T$	X_T (mm)
1	2	0	1,83	67,61
2	5	0,84	1,983	96,16
3	10	1,28	2,062	115,35
4	20	1,64	2,128	134,28
5	25	1,71	2,141	138,36
6	50	2,05	2,203	159,59
7	100	2,33	2,254	179,47

(Sumber : Perhitungan)

4.1.2.4 Metode Distribusi Log Pearson Tipe III

Perhitungan hujan rencanaberdasarkan probabilitas Log Pearson Tipe III, Jika data yang digunakan berupa sampel.Untuk perhitungan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + (K_T \times S \text{ Log } X)$$

Dimana :

$\text{Log } X_T$ = Nilai Logaritma hujan rencana periode ulang T tahun

$\overline{\text{Log } X}$ = Nilai rata-rata Log X (mm)

$S \text{ Log } X$ = Standar deviasi dari Log X (mm)

K_T = Variabel standar didapat berdasarkan koefisien kemecengan
(Cs atau G)

Tabel 4.9 Parameter statistik metode Distribusi Log Pearson Tipe III

No.	Xi (mm)	Log Xi	(Log Xi - (Log X) $\bar{i}$) ²	(Log Xi - (Log X) $\bar{i}$) ³
1	68,98	1,84	0,0001	0,0000
2	96,03	1,98	0,0175	0,0023
3	115,84	2,06	0,0457	0,0098
4	24,93	1,40	0,2055	-0,0931
5	61,35	1,79	0,0039	-0,0002
6	137,79	2,14	0,0836	0,0242
7	64,04	1,81	0,0019	-0,0001
8	66,92	1,83	0,0006	0,0000
9	77,31	1,89	0,0015	0,0001
10	66,17	1,82	0,0009	0,0000
11	65,44	1,82	0,0012	0,0000
12	63,1	1,80	0,0025	-0,0001
Σ	907,9	22,17	0,3648	-0,0573

(Sumber : Perhitungan)

Perhitungan curah hujan rencana metode Log Pearson Tipe III yaitu :

$$\text{Log } 68,98 = 1,84 \text{ mm}$$

$$\overline{\text{Log } X_i} = \frac{\Sigma \text{Log } X_i}{n} = \frac{22,17}{12} = 1,85 \text{ mm}$$

$$S \text{ Log } X = \sqrt{\frac{(\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X_i})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,3648}{12-1}} = 0,182 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{n \Sigma_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1).(n-2).(S \text{ Log } X)^3} \\ &= \frac{12 \times (-0,0573)}{(12-1) \times (12-2) \times (0,182)^3} \\ &= -1,0 \end{aligned}$$

Nilai K_T dihitung berdasarkan nilai T dan nilai C_s atau C dari tabel kemecengan dengan $C_s = -1,0$ di dapat nilai K_T yaitu :

$T = 2$ tahun maka $K_T = 0,164$

$T = 5$ tahun maka $K_T = 0,852$

$T = 10$ tahun maka $K_T = 1,128$

$T = 25$ tahun maka $K_T = 1,366$

$T = 50$ tahun maka $K_T = 1,492$

$T = 100$ tahun maka $K_T = 1,588$

$\text{Log } X_2 = 1,85 + (0,164 \times 0,182) = 1,879 \text{ mm}$

$X_2 = 10^{1,879}$

$= 75,68 \text{ mm}$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.10 Perhitungan hujan rencana Log Pearson Tipe III

No.	Periode ulang (T)	K_T	$\text{Log } X_T$	$X_T \text{ (mm)}$
1	2	0,164	1,88	75,83
2	5	0,852	2,01	101,17
3	10	1,128	2,06	113,58
4	25	1,366	2,10	125,49
5	50	1,492	2,12	132,30
6	100	1,588	2,14	137,73

(Sumber : Perhitungan)

4.2 Uji Distribusi Probabilitas

Uji Distribusi Probabilitas dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaandistribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis.

4.2.1 Uji Chi – Kuadrat (X^2)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode ujichi kuadrat adalah sebagai berikut :

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$$

Dimana:

χ^2 = Parameter chi kuadrat terhitung

Ef = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

Of = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

n = Jumlah sub kelompok

Derajat nyata atau drajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5%.Drajat kebebasan (Dk) dihitung dengan rumus :

$$Dk = k - (p + 1)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n$$

Dimana:

Dk = Derajat kebebasan

P = Banyaknya parameter, untuk Chi kuadrat adalah 2

K = Jumlah kelas distribusi

n = Banyaknya data

Selanjutnyadistribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujanrencanaadalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis.

$$\chi^2 < \chi^2 \text{ kritis}$$

Dimana:

χ^2 = Parameter Chi kuadrat terhitung

χ^2_{cr} = Parameter Chi kuadrat kritis (Tabel)

- a. Menghitung parameter statistik X rata-rata dan standar deviasi.

Tabel 4.11 Data curah hujan yang diurutkan dari besar ke kecil

No.	Xi (mm)	Peringkat (m)	$P = \frac{m}{n+1}$	$T = 1/P$
1	137,79	1	0,08	13,00
2	115,84	2	0,15	6,50
3	96,03	3	0,23	4,33
4	77,31	4	0,31	3,25
5	68,98	5	0,38	2,60
6	66,92	6	0,46	2,17
7	66,17	7	0,54	1,86
8	65,44	8	0,62	1,63
9	64,04	9	0,69	1,44
10	63,1	10	0,77	1,30
11	61,35	11	0,85	1,18
12	24,93	12	0,92	1,08

(Sumber : Perhitungan)

- b. Menghitung jumlah kelas

Jumlah data (n) = 12

Kelas distribusi (K) = $1 + 3,3 \log n$

$$= 1 + 3,3 \log 12 = 5 \text{ kelas}$$

- c. Menghitung derajat kebebasan (DK) dan X^2_{cr}

Parameter (P) = 2

Derajat kebebasan (DK) = $K - (P+1)$

$$= 5 - (2 + 1) = 2$$

Nilai X^2_{cr} dengan jumlah data (n) = 12, $\alpha = 5 \%$ dan Dk = 2 adalah 5,991 (tabel)

- d. Menghitung kelas distribusi

$$\text{Kelas distribusi} = \frac{1}{5} \times 100 \% = 20 \%$$

Interval distribusi yaitu 20 %, 40 %, 60 %, 80 %.

- Persentase 20%
 $P(x) = 20\%$ diperoleh $T = 1/Px = 1/0,20 = 5$ tahun
- Persentase 40%
 $P(x) = 40\%$ diperoleh $T = 1/Px = 1/0,40 = 2,5$ tahun
- Persentase 60 %
 $P(x) = 60\%$ diperoleh $T = 1/Px = 1/0,60 = 1,67$ tahun
- Persentase 80%
 $P(x) = 80\%$ diperoleh $T = 1/Px = 1/0,80 = 1,25$ tahun

e. Menghitung kelas interval

1) Distribusi Probabilitas Normal

Nilai K_T didapat berdasarkan periode ulang tahun (T) yaitu :

$T = 5$ tahun	maka $K_T = 0,84$ (Lampiran tabel variabel reduksi Gauss)
$T = 2,5$ tahun	maka $K_T = 0,25$
$T = 1,67$ tahun	maka $K_T = -0,25$
$T = 1,25$ tahun	maka $K_T = -0,84$

Nilai $\bar{x} = 75,66$ mm

Nilai SD = 29,04 mm

Interval kelas :

$$X_T = \bar{x} + K_T \cdot SD$$

$$X_5 = 75,66 + (0,84 \times 29,04) = 100,05 \text{ mm}$$

$$X_{2,5} = 75,66 + (0,25 \times 29,04) = 82,92 \text{ mm}$$

$$X_{1,67} = 75,66 + (-0,25 \times 29,04) = 68,4 \text{ mm}$$

$$X_{1,25} = 75,66 + (-0,84 \times 29,04) = 51,26 \text{ mm}$$

2) Distribusi Probabilitas Gumbel

Dengan jumlah data (n) = 12, berdasarkan tabel nilai reduced standard deviation (Sn) dan nilai reduced mean (Yn), maka didapat nilai,

$Y_n = 0,5035$ dan $S_n = 0,9833$

$$Y_t = -\ln \left(-\ln \frac{T-1}{T} \right)$$

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} = \frac{Y_t - 0,5035}{0,9833}$$

Sehingga didapat :

T = 5 tahun	Y _t = 1,4999	maka K = 1,013
T = 2,5 tahun	Y _t = 0,6717	maka K = 0,171
T = 1,67 tahun	Y _t = 0,0907	maka K = -0,419
T = 1,25 tahun	Y _t = -0,4759	maka K = -0,996

Maka interval kelas yaitu :

$$X_T = \bar{x} + K \cdot SD$$

$$X_5 = 75,66 + (1,013 \times 29,04) = 105,07 \text{ mm}$$

$$X_{2,5} = 75,66 + (0,171 \times 29,04) = 80,62 \text{ mm}$$

$$X_{1,67} = 75,66 + (-0,419 \times 29,04) = 63,49 \text{ mm}$$

$$X_{1,25} = 75,66 + (-0,996 \times 29,04) = 46,73 \text{ mm}$$

3) Distribusi Probabilitas Log Normal

Nilai K_T didapat berdasarkan periode ulang tahun (T) yaitu :

T = 5 tahun maka K_T = 0,84 (Lampiran tabel variabel reduksi Gauss)

T = 2,5 tahun maka K_T = 0,25

T = 1,67 tahun maka K_T = -0,25

T = 1,25 tahun maka K_T = -0,84

$$\overline{\text{Log } \bar{X}_i} = 1,85 \text{ mm}$$

$$S \text{ Log } X = 0,182 \text{ mm}$$

Maka interval kelas yaitu :

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } \bar{X}} + (K_T \times S \text{ Log } X)$$

$$\text{Log } X_5 = 1,85 + (0,84 \times 0,182) = 2,00 \text{ mm} \quad X_5 = 100,66 \text{ mm}$$

$$\text{Log } X_{2,5} = 1,85 + (0,25 \times 0,182) = 1,89 \text{ mm} \quad X_{2,5} = 78,61 \text{ mm}$$

$$\text{Log } X_{1,67} = 1,85 + (-0,25 \times 0,182) = 1,80 \text{ mm} \quad X_{1,67} = 63,75 \text{ mm}$$

$$\text{Log } X_{1,25} = 1,85 + (-0,84 \times 0,182) = 1,69 \text{ mm} \quad X_{1,25} = 49,78 \text{ mm}$$

4) Distribusi Probabilitas Log Pearson Tipe III

Nilai K_T dihitung berdasarkan nilai T dan nilai C_s atau C dari tabel kemecengan dengan $C_s = -1,0$ didapat nilai K_T yang diinterpolasikan yaitu :

Untuk $T = 2,5$ dilakukan interpolasi antara $T = 2$ ($K_T = -0,099$) dan $T = 5$ ($K_T = 0,800$).

$$\text{Jadi } T = 2,5 \text{ didapat } -0,099 + \frac{(0,800 - (-0,099))}{5-2} \times (2,5 - 2) = 0,05$$

Untuk $T = 1,67$ dilakukan interpolasi antara $T = 0$ ($K_T = 0,0$) dan $T = 2$ ($K_T = -0,099$).

$$\text{Jadi } T = 1,67 \text{ didapat } 0 + \frac{(-0,099) - 0,0}{2-0} \times (1,67 - 0) = -0,10$$

Untuk $T = 1,25$ dilakukan interpolasi antara $T = 0$ ($K_T = 0,0$) dan $T = 2$ ($K_T = -0,307$).

$$\text{Jadi } T = 1,25 \text{ didapat } 0 + \frac{(-0,099) - 0,0}{2-0} \times (1,25 - 0) = -0,06$$

Untuk $T = 5$ maka didapat $K_T = 0,800$

$T = 5$ tahun maka $K_T = 0,80$

$T = 2,5$ tahun maka $K_T = 0,05$

$T = 1,67$ tahun maka $K_T = -0,08$

$T = 1,25$ tahun maka $K_T = -0,10$

$$\overline{\text{Log } \bar{X}_i} = 1,85 \text{ mm}$$

$$S \text{ Log } X = 0,182 \text{ mm}$$

Maka interval kelas yaitu :

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } \bar{X}} + (K_T \times S \text{ Log } X)$$

$$\text{Log } X_5 = 1,85 + (0,80 \times 0,182) = 1,99 \text{ mm}$$

$$X_5 = 98,99 \text{ mm}$$

$$\text{Log } X_{2,5} = 1,85 + (0,05 \times 0,182) = 1,85 \text{ mm}$$

$$X_{2,5} = 72,29 \text{ mm}$$

$$\text{Log } X_{1,67} = 1,85 + (-0,08 \times 0,182) = 1,84 \text{ mm}$$

$$X_{1,67} = 68,46 \text{ mm}$$

$$\text{Log } X_{1,25} = 1,85 + (-0,10 \times 0,182) = 1,83 \text{ mm}$$

$$X_{1,25} = 67,88 \text{ mm}$$

f. Perhitungan nilai Chi – Kuadrat (χ^2)

$$E_f = \frac{\text{Banyak data (n)}}{\text{Jumlah kelas}} = \frac{12}{5} = 2,4$$

O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

Tabel 4.12 Perhitungan nilai X^2 untuk distribusi Normal

Kelas	Interval	Ef	Of	Of - Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	>100,05	2,4	2	-0,4	0,07
2	82,92 – 100,05	2,4	1	-1,4	0,82
3	68,4 – 82,92	2,4	2	-0,4	0,07
4	51,26 – 68,4	2,4	6	3,6	5,40
5	<51,26	2,4	1	-1,4	0,82
		12	12	X^2	7,17

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4.13 Perhitungan nilai X^2 untuk distribusi Gumbel

Kelas	Interval	Ef	Of	Of - Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	>105,07	2,4	2	-0,4	0,07
2	80,62 – 105,07	2,4	2	-0,4	0,07
3	63,49 – 80,62	2,4	6	3,6	5,40
4	46,73 – 63,49	2,4	1	-1,4	0,82
5	<46,73	2,4	1	-1,4	0,82
		12	12	X^2	7,17

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4.14 Perhitungan nilai X^2 untuk distribusi Log Normal

Kelas	Interval	Ef	Of	Of - Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	>100,66	2,4	2	-0,4	0,07
2	78,61 – 100,66	2,4	1	-1,4	0,82
3	63,75 – 78,61	2,4	5	2,6	2,82
4	49,78 – 63,75	2,4	1	-1,4	0,82
5	<63,75	2,4	1	-1,4	0,82
		12	12	X^2	5,33

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4.15 Perhitungan nilai X^2 untuk distribusi Log Pearson Tipe III

Kelas	Interval	Ef	Of	Of - Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	>98,99	2,4	2	-0,4	0,07
2	72,29 - 98,99	2,4	2	-0,4	0,07
3	68,46- 72,29	2,4	1	-1,4	0,82
4	67,88 - 68,46	2,4	1	-1,4	0,82
5	< 67,88	2,4	6	3,6	5,40
		12	12	X^2	8,83

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4.16 Rekapitulasi nilai X^2 dan X^2_{cr}

No.	Distribusi Probabilitas	X^2_{hitung}	X^2_{cr}	Keterangan
1	Normal	7,17	5,991	Ditolak
2	Gumbel	7,17	5,991	Ditolak
3	Log Normal	5,33	5,991	Diterima
4	Log Pearson Tipe III	8,83	5,991	Ditolak

(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan Tabel 4.16 maka distribusi yang dipilih adalah distribusi Log Normal karena nilai X^2 hitung(paling kecil) < X^2_{cr} = 5,33 < 5,991, hujan rencana untuk periode ulang 2,5,10,25, 50 dan 100 tahun sebagai berikut :

Tabel 4.17 Hujan rencana dengan distribusi Log Normal

No.	Hujan rencana (mm)	Periode ulang (tahun)	Peluang (%)
1	67,61	2	50
2	96,16	5	20
3	115,35	10	10
4	138,36	25	4
5	159,59	50	2
6	179,47	100	1

(Sumber : Perhitungan)

4.2.2 Metode SmirnovKolmogorof

Pengujian distribusi probabilitas dengan metode Smirnov-Kolmogorof dilakukan dengan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

a. Distribusi Probabilitas Normal

- 1) Mengurutkan data dari yang terbesar ke yang terkecil
- 2) Menghitung probabilitas $P(X_i)$ dengan rumus :

$$P(X_i) = \frac{m}{n+1}$$

$$P(X_i) = \frac{1}{12+1} = 0,077$$

- 3) Menghitung nilai $f(t)$

$$f(t) = \frac{X - \bar{X}}{S}$$

$$= \frac{137,79 - 75,66}{29,04} = 2,14$$

- 4) Dari hasil $f(t)$ lihat tabel luas wilayah dibawah kurva normal dengan $t = 2$ maka didapat luas = 0,9838
- 5) Menghitung $P'(X_i) = 1 - \text{point 4}$
 $= 1 - 0,9838 = 0,0162$
- 6) Menghitung $(\Delta P) = P'(x) - P_x$
 $\Delta P_1 = 0,0162 - 0,077 = -0,0608$
- 7) Perhitungan selanjutnya ditabelkan pada Tabel 4.18
- 8) Dari tabel perhitungan didapat $\Delta P_{\max} = 0,174$
- 9) Membandingkan $\Delta P_{\max}$ dengan nilai kritis ΔP_{kritis} . Untuk $N = 12$ dan $\alpha = 5\%$ dari tabel ΔP kritis Smirnov-Kolmogorof didapat nilai $\Delta P_{\text{kritis}} = 0,382$
- 10) Jadi $\Delta P_{\max} (0,16) < \Delta P_{\text{kritis}} (0,382)$

Maka distribusi probabilitas Normal dapat diterima untuk menganalisis data curah hujan.

Tabel 4.18 Perhitungan distribusi Normal metode Smirnov-Kolmogorof

No.	Xi (mm)	P (Xi)	F (t)	Luas Kurva Normal	P'(Xi)	ΔP
1	137,79	0,077	2,14	0,9838	0,02	-0,06
2	115,84	0,154	1,38	0,9162	0,08	-0,07
3	96,03	0,231	0,70	0,758	0,24	0,01
4	77,31	0,308	0,06	0,5239	0,48	0,17
5	68,98	0,385	-0,23	0,409	0,59	0,21
6	66,92	0,462	-0,30	0,3821	0,62	0,16
7	66,17	0,538	-0,33	0,3707	0,63	0,09
8	65,44	0,615	-0,35	0,3632	0,64	0,02
9	64,04	0,692	-0,40	0,3446	0,66	-0,04
10	63,1	0,769	-0,43	0,3336	0,67	-0,10
11	61,35	0,846	-0,49	0,3121	0,69	-0,16
12	24,93	0,923	-1,75	0,9599	0,04	-0,88

(Sumber : Perhitungan)

b. Distribusi Probabilitas Gumbel

- 1) Mengurutkan data dari yang terbesar sampai yang terkecil
- 2) Menghitung probabilitas P(Xi) dengan rumus :

$$P(Xi) = \frac{m}{n+1}$$

$$P(Xi) = \frac{1}{12+1} = 0,077$$

- 3) Menghitung nilai f(t)

$$f(t) = \frac{X - \bar{X}}{S}$$

$$= \frac{137,79 - 75,66}{29,04} = 2,14$$

- 4) Dari Tabel dengan nilai N=12 maka didapat Nilai (Sn) = 0,9833 dan Nilai Reduced Mean (Yn) = 0,5035
- 5) Yt diperoleh dari persamaan yaitu :

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

$$2,14 = \frac{Y_t - 0,5035}{0,9833} \text{ maka } Y_t = (2,14 \times 0,9833) + 0,5035 = 2,61$$

T diperoleh dari nilai Y_t hasil perhitungan point 5 dengan $Y_t = 2,61$ terletak antara periode ulang 10 tahun $Y_t = 2,2504$ dan 20 tahun $Y_t = 2,9702$.

Maka, $Y_t = 2,489$ di interpolasikan yaitu $= 10 + \frac{2,61 - 2,2504}{2,9702 - 2,2504} \times (20 - 10) = 15$ tahun

6) Menghitung $P'(X_i) = 1/T$

7) Menghitung $(\Delta P) = P'(X_i) - P(X_i)$

8) Berdasarkan **Tabel 4.19** dapat dilihat bahwa $\Delta P_{\max} = 2,49$

9) Jika jumlah data 12 dan α (derajat kepercayaan) = 5 % maka dari Tabel nilai ΔP kritis Smirnov Kolmogorof didapat $\Delta P = 0,382$

10) Jadi $\Delta P_{\max} (2,49) > \Delta P_{\text{kritis}} (0,382)$

Maka distribusi probabilitas Gumbel **ditolak** untuk menganalisis data curah hujan.

Tabel 4.19 Perhitungan distribusi Gumbel metode Smirnov-Kolmogorof

No.	X_i (mm)	$P(X_i)$	$f(t)$	Y_t	T	$P'(X_i)$	ΔP
1	137,79	0,077	2,14	2,607	15	0,07	-0,01
2	115,84	0,154	1,38	1,864	13,3	0,08	-0,08
3	96,03	0,231	0,70	1,193	11,5	0,09	-0,14
4	77,31	0,308	0,06	0,559	5,5	0,18	-0,13
5	68,98	0,385	-0,23	0,277	3,7	0,27	-0,11
6	66,92	0,462	-0,30	0,208	2,8	0,36	-0,10
7	66,17	0,538	-0,33	0,182	1,6	0,63	0,09
8	65,44	0,615	-0,35	0,157	1,5	0,67	0,05
9	64,04	0,692	-0,40	0,110	1,4	0,71	0,02
10	63,1	0,769	-0,43	0,078	1,1	0,91	0,14
11	61,35	0,846	-0,49	0,019	0,3	3,33	2,49
12	24,93	0,923	-1,75	-1,214	3,7	0,27	-0,65

(Sumber : Perhitungan)

c. Distribusi Probabilitas Log Normal

1) Mengurutkan data dari yang terbesar ke yang terkecil

2) Menghitung probabilitas $P(X_i)$ dengan rumus :

$$P(X_i) = \frac{m}{n+1}$$

$$P(X_i) = \frac{1}{12+1} = 0,077$$

3) Menghitung nilai $f(t)$

$$f(t) = \frac{\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X_i}}{S \text{ Log } X_i}$$

$$= \frac{2,14 - 1,85}{0,182} = 1,59$$

4) Dari hasil $f(t)$ lihat tabel luas wilayah dibawah kurva normal dengan $t = 1,59$ maka didapat luas = 0,9441

5) Menghitung $P'(X_i) = 1 - \text{point 4}$

$$= 1 - 0,9441 = 0,05$$

6) Menghitung $(\Delta P) = P'(X_i) - P(X_i)$

$$\Delta P_1 = 0,05 - 0,077 = -0,03$$

7) Perhitungan selanjutnya ditabelkan pada **Tabel 4.20**

8) Dari tabel perhitungan didapat $\Delta P_{\max} = 0,16$

9) Membandingkan $\Delta P_{\max}$ dengan nilai kritis ΔP kritis. Untuk $N = 12$ dan $\alpha = 5\%$ dari tabel ΔP kritis Smirnov-Kolmogorof didapat nilai ΔP kritis = 0,382

10) Jadi $\Delta P_{\max} (0,16) < \Delta P$ kritis (0,382)

Maka distribusi probabilitas Log Normal dapat diterima untuk menganalisis data curah hujan.

Tabel 4.20 Perhitungan distribusi Log Normal metode Smirnov-Kolmogorof

No.	Xi (mm)	Log (Xi)	P (Xi)	f (t)	Luas Kurva Normal	P'(Xi)	ΔP
1	137,79	2,14	0,077	1,59	0,9441	0,06	-0,02
2	115,84	2,06	0,154	1,15	0,8749	0,13	-0,03
3	96,03	1,98	0,231	0,71	0,758	0,24	0,01
4	77,31	1,89	0,308	0,22	0,5832	0,42	0,11
5	68,98	1,84	0,385	-0,05	0,4801	0,52	0,13
6	66,92	1,83	0,462	-0,11	0,4602	0,54	0,08
7	66,17	1,82	0,538	-0,16	0,4364	0,56	0,03
8	65,44	1,82	0,615	-0,16	0,4364	0,56	-0,05
9	64,04	1,81	0,692	-0,22	0,4168	0,58	-0,11
10	63,1	1,80	0,769	-0,27	0,3936	0,61	-0,16
11	61,35	1,79	0,846	-0,33	0,3707	0,63	-0,22
12	24,93	1,40	0,923	-2,47	0,0068	0,99	0,07

(Sumber : Perhitungan)

d. Distribusi Probabilitas Log Pearson Tipe III

- 1) Mengurutkan data dari yang terbesar ke yang terkecil
- 2) Menghitung probabilitas P(Xi) dengan rumus :

$$P(Xi) = \frac{m}{n+1}$$

$$P(Xi) = \frac{1}{12+1} = 0,077$$

- 3) Menghitung nilai f (t)

$$f(t) = \frac{\text{Log } Xi - \overline{\text{Log } Xi}}{S \text{ Log } Xi}$$

$$= \frac{2,14 - 1,85}{0,182} = 1,59$$

- 4) Nilai P'Xi berdasarkan ft = 1,59 dengan menggunakan tabel kemecengan Log Pearson tipe III Cs = -1,0 dengan interpolasi diperoleh P'(Xi). ft = 1,59 terletak antara periode ulang 100 tahun = 1,588 dan periode ulang 200 tahun = 1,664 dibuat dalam persen.

$$P'(X_i) = 100 + \frac{(1,59 - 1,588)}{(1,664 - 1,588)} \times (200 - 100) = 102,38$$

$$\text{Dalam persen} = 102,38/100 = 1,02$$

$$5) \Delta P = P'(X_i) - P(X_i)$$

$$= 0,17 - 0,077 = 0,093$$

6) Perhitungan selanjutnya ditabelkan pada **Tabel 4.21**

7) Berdasarkan **Tabel 4.21** dapat dilihat bahwa $\Delta P_{\max} = 0,051$

8) Jika jumlah data (n) = 13 dan $\alpha = 5\%$ maka dari tabel nilai ΔP kritis

Smirnov- Kolmogorof didapat $\Delta P = 0,368$

9) Jadi $\Delta P_{\text{maksimum}} (0,051) < \Delta P_{\text{kritis}} (0,368)$

Maka, distribusi probabilitas Log Pearson Tipe III dapat diterima untuk menganalisis data curah hujan.

Tabel 4.21 Distribusi Log Pearson Tipe III metode Smirnov-Kolmogorof

No.	X_i (mm)	Log (X_i)	$P(X_i)$	$f(t)$	$P'(X_i)$	ΔP
1	137,79	2,14	0,077	1,59	1,02	0,943
2	115,84	2,06	0,154	1,15	0,11	-0,044
3	96,03	1,98	0,231	0,71	0,04	-0,191
4	77,31	1,89	0,308	0,22	0,02	-0,288
5	68,98	1,84	0,385	-0,05	-0,6	-0,985
6	66,92	1,83	0,462	-0,11	-1,34	-1,802
7	66,17	1,82	0,538	-0,16	-1,95	-2,488
8	65,44	1,82	0,615	-0,16	-1,95	-2,565
9	64,04	1,81	0,692	-0,22	-2,68	-3,372
10	63,1	1,8	0,769	-0,27	-3,29	-4,059
11	61,35	1,79	0,846	-0,33	-4,02	-4,866
12	24,93	1,4	0,923	-2,47	-30,12	-31,043

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4.22 Rekapitulasi nilai ΔP hitung dan ΔP kritis

No.	Distribusi Probabilitas	ΔP hitung	ΔP kritis	Keterangan
1	Normal	0,16	0,382	Diterima
2	Gumbel	2,49	0,382	Ditolak
3	Log Normal	0,13	0,382	Diterima
4	Log Pearson Tipe III	0,943	0,382	Ditolak

(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan Tabel 3.22 maka distribusi yang dipilih adalah distribusi Log Pearson Tipe III karena nilai $\Delta P_{hitung}(\text{paling kecil}) < \Delta P_{kritis} = 0,13 < 0,382$, hujan rencana untuk periode ulang 2,5,10,25, 50 dan 100 tahun sebagai berikut :

Tabel 4.23 Hujan rencana dengan distribusi Log Normal

No.	Hujan rencana (mm)	Periode ulang (tahun)	Peluang (%)
1	67,61	2	50
2	96,16	5	20
3	115,35	10	10
4	138,36	25	4
5	159,59	50	2
6	179,47	100	1

(Sumber : Perhitungan)

4.3 Analisis Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir rencana dihitung berdasarkan data hujan rencana yang dilakukan dengan melihat hubungan banjir yang akan terjadi dengan distribusi curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Perhitungan debit banjir rencana Batang Kambang ini adalah dengan metode Empiris Melchior, Mononobe dan Haspers.

4.3.1 Metode Melchior

Data-data untuk perhitungan debit banjir dengan metode Melchior yang didapat dari peta Topografi yaitu:

Luas Catchment area (A)	= 217 km ²
Panjang sungai efektif (L')	= 0,9 x 24 = 21,6 km
Elevasi hulu sungai	= + 9,87 mdpl
Elevasi hilir sungai	= + 6,54 mdpl
Beda tinggi elevasi sungai tertinggi dengan	
Beda Elevasi (ΔH)	= 3,33 m
Panjang sungai yang ditinjau (L)	= 2280 m

Langkah–langkah perhitungan metode Melchior yaitu :

- Menentukan nilai pengaliran (α)

Pada umumnya nilai pengaliran (α) = 0,42 – 0,62, maka diambil $\alpha = 0,62$

- Menentukan β dan kemiringan (S)

$$\begin{aligned}\text{Luas Elips Melchior (F)} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot a \cdot b \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 25,0 \times 16,67 = 327,15 \text{ km}^2\end{aligned}$$

$$0,6 \leq \frac{Fn}{F} \leq 0,9$$

$$= \frac{217}{327,15} = 0,66$$

Menghitung kemiringan rata-rata sungai (S) :

$$S = \frac{217,8}{21600} = 0,010$$

Dengan nilai (F) = 327,15 km² , maka β_1 dihitung dengan rumus :

$$F = \frac{1970}{\beta_1 - 0,12} - 3960 + (1720 \times \beta_1)$$

$$327,15 = \frac{1970}{\beta_1 - 0,12} - 3960 + (1720 \times \beta_1)$$

Diperoleh nilai $\beta_1 = 0,637$

c. Coba-coba asumsikan nilai I_1 , berdasarkan table 2.12 Perkiraan intensitas hujan harian Melchior dengan nilai $F = 327,15 \text{ km}^2$, maka dengan cara interpolasi dari tabel Melchior diperoleh nilai,

$$I_1 = 3,60 + \frac{3,30 - 3,60}{360 - 288} \times (327,15 - 288) = 3,44 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}$$

d. Menghitung debit (Q)

$$\begin{aligned} Q &= \beta_1 \times I_1 \times A \\ &= 0,637 \times 3,44 \times 217 = 475,508 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

e. Menghitung kecepatan (V)

$$\begin{aligned} V &= 1,31 \times (Q \times S^2)^{0,2} \\ &= 1,31 \times (475,508 \times 0,010^2)^{0,2} = 0,71 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

f. Menghitung nilai t_c

$$\begin{aligned} t_c &= \frac{10 \times L}{36 \times V} = \frac{10 \times 21,6}{36 \times 0,71} \\ &= 8,45 \text{ jam} = 507 \text{ menit} \end{aligned}$$

g. Menghitung nilai β_2

Berdasarkan nilai $F = 327,15 \text{ km}^2$, dan nilai $t_c = 8,45 \text{ jam}$, maka lihat tabel

2.9 Persentase β_2 menurut Melchior sehingga diperoleh $\beta_2 = 67,80 \%$.

h. Menghitung nilai β

Sebelumnya diketahui $\beta_1 = 0,637$ maka didapat nilai,

$$\begin{aligned} \beta &= \beta_1 \times \beta_2 \\ &= 0,637 \times 0,678 = 0,432 \end{aligned}$$

i. Menghitung I sebenarnya (I_2)

$$\begin{aligned} I &= \frac{10 \times \beta \times R_{24} \text{ maksimum}}{36 \times t_c} \\ &= \frac{10 \times 0,432 \times 200}{36 \times 8,45} = 2,84 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2 \end{aligned}$$

j. Bandingkan I coba-coba = 3,44 dan I hitung = 2,84 $\text{m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$

Jadi, $I_1 \neq I_2$

k. Coba lagi $I_1 = 2,88 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$ kemudian perhitungan dimulai dari (point d) yaitu :

- Menghitung debit (Q)

$$Q = \beta_1 \times I_1 \times A$$

$$= 1,31 \times 2,88 \times 217 = 398,009 \text{ m}^3/\text{dt}$$

- Menghitung kecepatan (V)

$$V = 1,31 \times (Q \times S^2)^{0,2}$$

$$= 1,31 \times (398,009 \times 0,010^2)^{0,2}$$

$$= 0,687 \text{ m/dt}$$

- Menghitung nilai t_c

$$t_c = \frac{10 \times L}{36 \times V} = \frac{10 \times 21,6}{36 \times 0,66}$$

$$= 8,73 \text{ jam} = 523,80 \text{ menit}$$

- Menghitung nilai β_2

Berdasarkan nilai $F = 327,15 \text{ km}^2$, dan nilai $t_c = 8,73 \text{ jam}$, maka lihat tabel 2.9 Persentase β_2 menurut Melchior sehingga diperoleh $\beta_2 = 71,0 \%$.

- Menghitung nilai β

Sebelumnya diketahui $\beta_1 = 0,637$ maka didapat nilai,

$$\beta = 0,60 \times 0,71 = 0,425$$

- Menghitung I sebenarnya (I_2)

$$I = \frac{10 \times \beta \times R_{24} \text{ maksimum}}{36 \times t_c}$$

$$= \frac{10 \times 0,425 \times 200}{36 \times 8,73} = 2,88 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$$

- Bandingkan I coba-coba = 2,88 dan I hitung = 2,88 $\text{m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$

Jadi, setelah dilakukan perhitungan didapat $I = 2,88 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$.

Untuk $t_c = 523,80 \text{ menit}$, besarnya koreksi 8 % (lihat tabel 2.11 Penambahan presentase Melchior), maka :

$$I = 2,88 + (2,88 \times 0,08) = 3,11 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$$

- Menghitung debit banjir rencana (Q)

$$Q = \alpha \times I \times A \times \frac{R_T}{200}$$

$$\text{Debit banjir rencana (Q}_2\text{)} = \alpha \times I \times A \times \frac{R_2}{200}$$

$$= 0,62 \times 3,11 \times 217 \times \frac{67,61}{200}$$

$$= 141,447 \text{ m}^3/\text{dt}.$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.24 Perhitungan debit banjir metode Melchior

No.	T	R _T (mm)	A (km ²)	I (m ³ /dt.km ²)	Q (m ³ /dt)
1	2	67,61	217	3,11	141,447
2	5	96,16	217	3,11	201,176
3	10	115,35	217	3,11	241,323
4	25	138,36	217	3,11	289,463
5	50	159,59	217	3,11	333,878
6	100	179,47	217	3,11	375,469

(Sumber : Perhitungan)

4.3.2 Metode Mononobe

Analisis debit banjir rencana dengan metode sintetis empiris Mononobe dihitung dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q_T = \frac{\alpha \cdot I_T \cdot A}{3,6}$$

Dimana :

Q_T = Debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu (m³/dt)

α = Koefisien pengaliran (tabel Mononobe)

I_T = Intensitas hujan periode ulang tertentu (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (km²)

Data-data untuk perhitungan debit banjir dengan metode Mononobe yang didapat dari peta Topografi yaitu:

Luas Catchment area (A) = 217 km²

Panjang sungai efektif (L') = 0,9 x 24 = 21,6 km

Elevasi hulu sungai = + 9,87 mdpl

Elevasi lokasi Bendung = + 6,54 mdpl

Beda tinggi elevasi sungai tertinggi dengan

Beda Elevasi (ΔH) = 3,33 m

Panjang sungai yang ditinjau (L) = 2280 m

Langkah–langkah perhitungan metode Mononobe yaitu :

- a. Menghitung kemiringanrata-ratasungai (S)

$$S = \frac{217,8}{21600} = 0,010$$

- b. Menghitung kecepatan aliran (V)

$$V = 72. (S)^{0,6}$$

$$= 72 \times (0,010)^{0,6} = 4,5 \text{ km/jam}$$

- c. Menghitung waktu kosentrasi (t)

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

$$= \frac{21,6 \text{ km}}{4,5 \text{ km/jam}} = 4,80 \text{ jam}$$

- d. Menghitung intensitas hujan periode ulang 2 tahun

$$R_2 = 67,61 \text{ mm}$$

$$I_2 = \frac{R_2}{24} \times \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$$

$$= \frac{67,61}{24} \times \left(\frac{24}{4,80} \right)^{2/3} = 8,24 \text{ mm/jam}$$

- e. Menghitung debit banjir rencana (Q₂)

$$Q_2 = \frac{\alpha \cdot I_2 \cdot A}{3,6}$$

$$= \frac{0,70 \times 8,24 \times 217}{3,6} = 347,56 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.25 Perhitungan debit banjir metode Mononobe

No.	T	R _T (mm)	A (km ²)	I (mm/jam)	Q (m ³ /dt)
1	2	67,61	217	8,24	347,56
2	5	96,16	217	11,72	494,31
3	10	115,35	217	14,05	592,96
4	25	138,36	217	16,86	711,23
5	50	159,59	217	19,44	820,39
6	100	179,47	217	21,87	922,58

(Sumber : Perhitungan)

4.3.3 Metode Haspers

Analisis debit banjir rencana dengan metode sintesis empiris Haspers dihitung dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q_T = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot A$$

Dimana :

Q_T = Debit banjir rencana (m^3/dt)

α = Koefisien pengaliran (tabel Mononobe)

q = Intensitas hujan yang diperhitungkan ($m^3/dt/km^2$)

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

β = Koefisien reduksi

Langkah–langkah perhitungan metode Haspers yaitu :

- a. Menghitung kemiringan Catchment area (S)

$$S = \frac{217,8}{21600} = 0,010$$

- b. Menghitung koefisien Run Off

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{1+0,012 \cdot (A)^{0,7}}{1+0,075 \cdot (A)^{0,7}} \\ &= \frac{1+0,012 (217)^{0,7}}{1+0,075 (217)^{0,7}} = 0,36\end{aligned}$$

- c. Menghitung waktu kosentrasi

$$\begin{aligned}t_c &= 0,1 \times L^{0,8} \times (S)^{-0,3} \\ &= 0,1 \times (21,6)^{0,8} \times (0,010)^{-0,3} = 4,65 \text{ jam}\end{aligned}$$

- d. Menghitung curah hujan untuk lama hujan tertentu ($t = t_c$)

Untuk $2 \text{ jam} < t < 19 \text{ jam}$, maka :

$$\begin{aligned}r &= \frac{t \cdot R_{24}}{t+1} \\ &= \frac{4,65 \times R_{24}}{4,65+1} = 0,823 \cdot R_{24}\end{aligned}$$

- e. Koefisien reduksi

$$\begin{aligned}\frac{1}{\beta} &= 1 + \frac{1+3,7 \times 10^{(-0,4 \times t)}}{t^2+15} \times \frac{A^{0,75}}{12} \\ \frac{1}{\beta} &= 1 + \frac{1+3,7 \times 10^{(-0,4 \times 4,65)}}{4,65^2+15} \times \frac{217,0^{0,75}}{12} = 1,09 \\ \beta &= \frac{1}{1,09} = 0,88\end{aligned}$$

- f. Menghitung intensitas hujan periode ulang

$$q_n = \frac{r}{3,6 \cdot t}$$

$$= \frac{r}{3,6 \times 4,65} = \frac{r}{16,74}$$

- g. Menghitung debit banjir rencana (Q_T)

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A$$

$$= 0,36 \times 0,88 \times \frac{r}{16,74} \times 217$$

$$= (4,11) \cdot r$$

$$Q_T = 4,11 \times 0,823 \cdot R_{24}$$

Menghitung debit banjir periode ulang 2 tahun yaitu :

$$Q_2 = 4,11 \times 0,823 \cdot R_{24}$$

$$= 4,11 \times 0,823 \times 67,61$$

$$= 228,69 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.26 Perhitungan debit banjir metode Haspers

No.	T	R_T (mm)	A (km ²)	Q (m ³ /dt)
1	2	67,61	217	228,69
2	5	96,16	217	325,26
3	10	115,35	217	390,17
4	25	138,36	217	468,01
5	50	159,59	217	539,82
6	100	179,47	217	607,06

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4.27 Rekapitulasi debit banjir rencana

No.	T	Metode Empiris (m ³ /dt)		
		Melchior	Mononobe	Haspers
1	2	141,447	347,56	228,69
2	5	201,176	494,31	325,26
3	10	241,323	592,96	390,17
5	25	289,463	711,23	468,01
6	50	333,878	820,39	539,82
7	100	375,469	922,58	607,06

(Sumber : Perhitungan)

Untuk memilih debit banjir rencana digunakan metode pengamatan sebagai control terhadap hasil perhitungan debit banjir rencana yang diperoleh dari data hujan (KP – 01 halaman 151). Langkah-langkah perhitungannya adalah dengan menanyakan kepada penduduk setempat atau dari tanda-tanda yang ada dapat memberikan informasi mengenai tinggi banjir (h) yang sering terjadi yang diasumsikan setara dengan debit periode ulang sepuluh tahun. Konversi keterangan tentang tinggi banjir menjadi data debit banjir dihitung dengan rumus hidrolika sebagai berikut :

- Menghitung debit banjir dilapangan akibat curah hujan yaitu :

Diketahui :

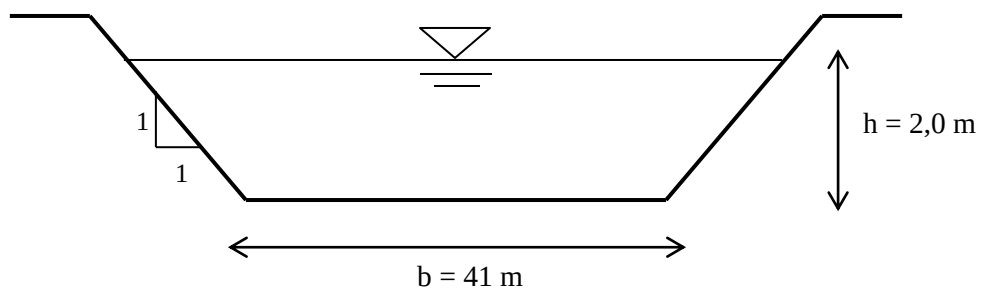
Tinggi air (h) = 2,0 m

Lebar (b) = 45 m

Kemiringan (I) = 0,00146

Koefesien Manning (n) = 0,030

Talud (m) = 1:1



Gambar 4.1 : Potongan melintang penampang sungai

Langkah–langkah perhitungan debit banjir lapangan :

$$\begin{aligned}\text{Luas (A)} &= (b + m.h).h \\ &= (41 + 1 \times 2,0) \times 2,0 \\ &= 86 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Keliling (P)} &= b + 2.h \sqrt{1 + m^2} \\ &= 41 + (2 \times 2,0 \times \sqrt{1 + 1^2}) \\ &= 46,65 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Jari - jari (R)} = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{86}{46,65} = 1,84 \text{ m}$$

Menghitung debit banjir lapangan yaitu :

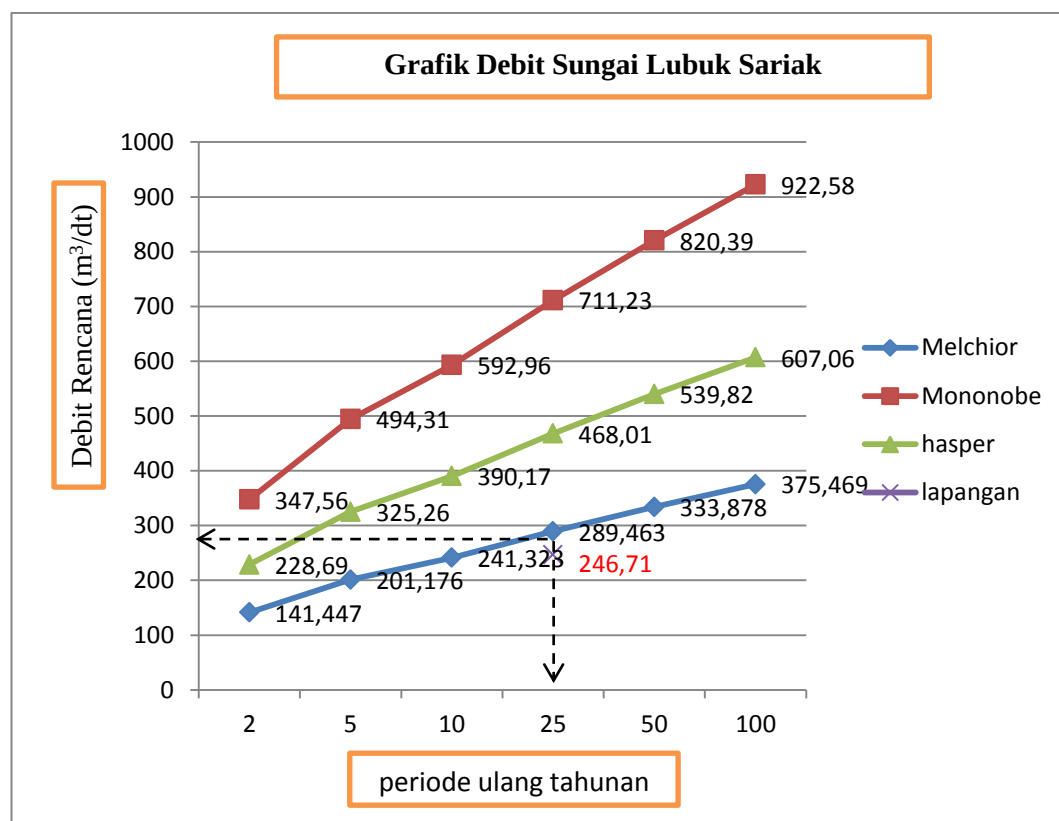
$$Q = A \times V$$

$$= 86 \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$= 86 \times \frac{1}{0,020} \times (1,84)^{2/3} \times (0,00146)^{1/2}$$

$$= 246,71 \text{ m}^3/\text{dt} \sim 289,463 \text{ m}^3/\text{dt} \text{ (metode Melchior } Q_{25})$$

Selanjutnya dibuat grafik debit yang merupakan hubungan antara debit banjir rencana dengan periode ulang tahunan yang terlampir.



Gambar 4.2 Grafik debit Sungai Lubuak Sariak

Berdasarkan perhitungan debit banjir lapangan (periode ulang 10) diatas maka yang di asumsikan debit banjir Melchior Q_{25} , karena Q yang paling mendekati dengan $Q_{\text{banjir lapangan}}$, dari factor nyaman juga menggunakan Q_{25} Melchior, dari segi biaya Q_{25} Melchior telah mampu menampung Q_{banjir}

lapangan yang telah di rencanakan, maka metode debit banjir rencana yang cocok untuk perhitungan hidrolis Sungai yaitu metode Melchior.

4.4 Perhitungan Dimensi Penampang Batang Kambang

Dimensi penampang saluran untuk daerah hilir Batang Kambang direncanakan dengan menggunakan saluran Trapesium. Direncanakan dengan Trapesium adalah atas dasar faktor dari kondisi sungai yang lebar dan dalam serta dari faktor sistem sungai yang berada pada kawasan hilir. Dimana kecepatan relatif lebih rendah dari pada kawasan yang berada di daerah transisi dan hulu.

Tabel 4.28 Kriteria pemilihan kala ulang banjir

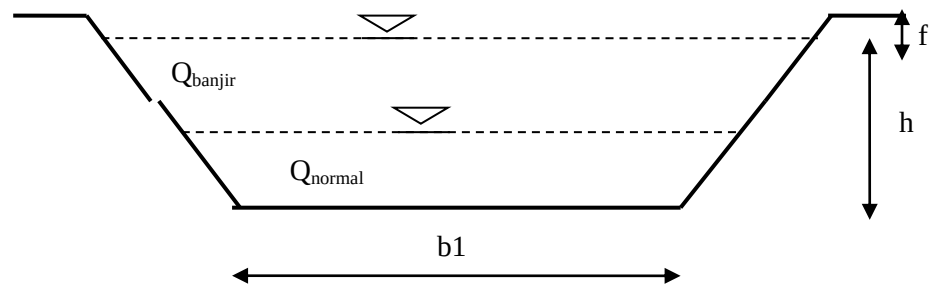
NO	JENIS BANGUNAN AIR	KALA ULANG BANJIR T (TAHUN)
1	Bendungan Urugan Tanah/Batu	1000
2	Bendungan Beton/Batu Kali	500-1000
3	Bendung	50-100
4	Saluran Pengelak Banjir	20-50
5	Tanggul Sungai	10-20
6	Drainase/ Irigasi	5-10

(Sumber : Ir. Suwanto M. Ms. Diktat Morfologi Sungai)

Berdasarkan kriteria diatas, penulis mengambil Q_{banjir} adalah $Q_{25\text{th}}$ dan Q_{normal} adalah $Q_{2\text{th}}$. Untuk Q_{normal} , penulis mengambil $Q_{2\text{th}}$ karena dari hasil perhitungan, debit dominan yang akan melewati kawasan ini adalah $Q_{2\text{th}}$. Perkiraan/ peluang debit $Q_{2\text{th}}$, sebagai berikut :

$$\diamond P = 1/T \times 100\% = \frac{1}{2} \times 100\% = 50 \%$$

Artinya bahwa dalam rentang waktu 2 tahun akan terjadi debit yang sama atau lebih besar dari debit yang dihitung dengan peluang terjadinya adalah 50%.



Gambar 4.3 Desain penampang Trapesium

Rumus :

Penampang Saluran Trapezium

$$Q = A \cdot V$$

$$A = (b + mh) \cdot h$$

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

$$R = A/P$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{detik)}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran rata-rata (m/detik)}$$

$$n = \text{Koefisien kekasaran manning}$$

$$R = \text{Jari-jari hidrolis (m)}$$

$$P = \text{Keliling basah (m)}$$

$$m = \text{Talud}$$

$$A = \text{Luas keliling basah (m}^2\text{)}$$

$$I = \text{Kemiringan salura}$$

4.4.1 Perencanaan Dimensi Penampang Ruas B-63

Data desain yaitu :

a. Penampang : Rencana aliran untuk $Q_{25th} = 289,463 \text{ m}^3/\text{dtk}$

b. I rata-rata sungai pada lokasi studi = 0,00146

Direncanakan yaitu :

$$\text{Lebar (b1)} = 51 \text{ m}$$

$$\text{Koef. Manning (n)} = 0,030$$

$$\text{Talud (m)} = 1 : 1$$

➤ Menghitung tinggi air (h_1) yaitu :

$$\begin{aligned} A &= (b + mh) \cdot h \\ &= (51 + 1 \times 0,30) \times 0,30 \\ &= 16,59 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= b + 2 h \sqrt{1 + m^2} \\ &= 51 + 2 \times 0,30 \sqrt{1 + 1^2} \\ &= 55,58 \text{ m} \end{aligned}$$

$$R = A/P = \frac{16,59}{55,58} = 0,45 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V &= 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \\ &= 1/0,030 \times 0,45^{2/3} \times 0,00146^{1/2} \\ &= 0,57 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot V \\ &= 16,59 \times 0,57 \\ &= 9,41 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

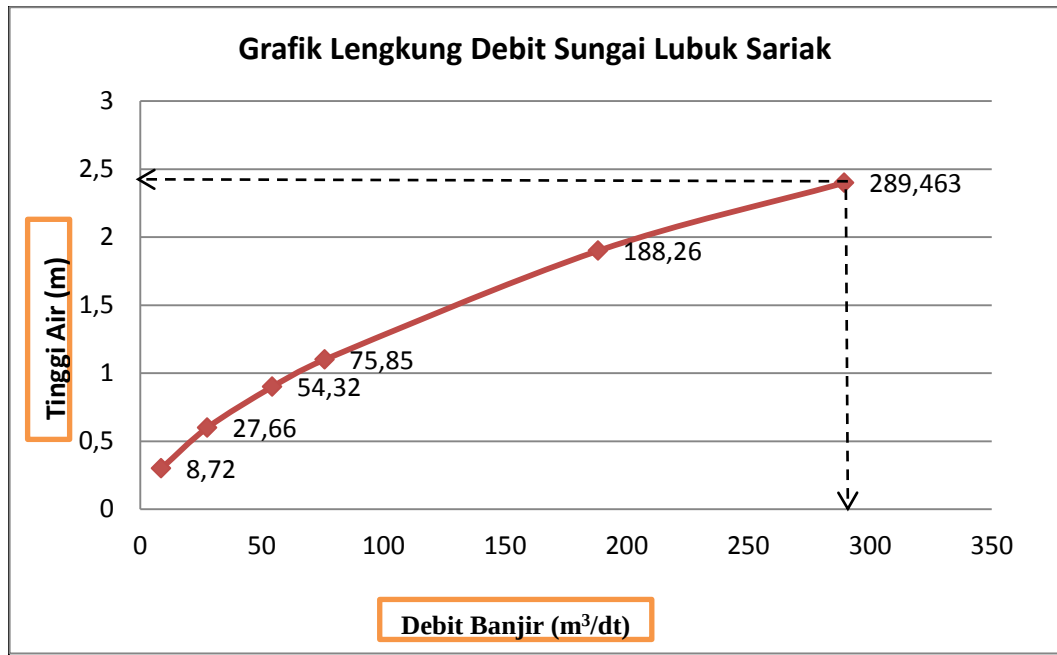
Perhitungan selanjutnya ditabelkan

Tinggi h_1 didapat dengan menggunakan cara *Trial and error* :

Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Nilai h_1 dengan cara *Trial And Error*

h (m)	A (m ²)	P (m)	R ^{2/3} (m)	I ^{1/2}	V (m/dt)	Q (m ³ /dt)
0,30	16,59	55,85	0,45	0,0382	0,57	9,41
0,60	33,36	56,69	0,70	0,0382	0,89	29,84
0,90	50,31	57,54	0,91	0,0382	1,16	58,59
1,10	61,71	58,10	1,04	0,0382	1,33	81,82
1,90	108,11	60,36	1,47	0,0382	1,88	203,08
2,40	137,76	61,77	1,71	0,0382	2,17	289,46

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4.4 : Grafik lengkung debit sungai lubuk sariak

Tinggi Penampang untuk $Q_{\text{desain}} = 289,463 \text{ m}^3/\text{dtk}$ adalah $(h_1) = 2,40 \text{ m}$.

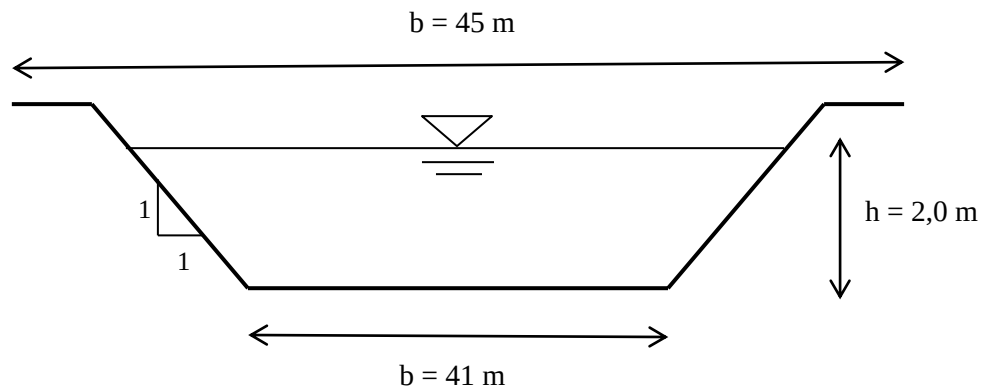
Tinggi tanggul jagaan $(f) = 0,80 \text{ m}$ (Buku Sosrodarsono,1995:87)

Tinggi keseluruhan tanggul $(H) = h + f$

$$= 2,4 + 0,80$$

$$= 3,2 \text{ m}$$

➤ **Hubungan Kedalaman Energy**



Gambar 4.5 : gambar penampang pada jembatan

$$V_1 = \frac{289,463}{103,2} = 2,80 \text{ m/s}$$

$$F_1 = \text{Froude number} = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} = \frac{2,80}{\sqrt{9,81 \times 2,4}} = 0,577$$

Aliran hulu bersifat subkritis dan transisi akan menyebabkan penurunan permukaan air.

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 2,4 + \frac{(2,80)^2}{2 \times 9,81} = 2,80 \text{ m}$$

Lebar minimum yang tidak menyebabkan air balik

$$E_{cm} = E_1 = 2,80 \text{ m}$$

$$Y_{cm} = \frac{2}{3} E_{cm} = \frac{2}{3} \times 2,80 = 1,86 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} B_{2m} &= (Q^2 / g Y_{c2}^3)^{1/2} \\ &= \left[\frac{Q^2}{g Y_{c3}} \right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{289,463^2}{9,81 \times 1,86^2} \right]^{1/2} = 49,68 \end{aligned}$$

$$q^2 = \frac{289,463}{45} = 6,43 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

$$y_c^2 = \left[\frac{q^2}{g} \right]^{1/3} = \left[\frac{(6,43)^2}{9,81} \right]^{1/3} = 1,61 \text{ m}$$

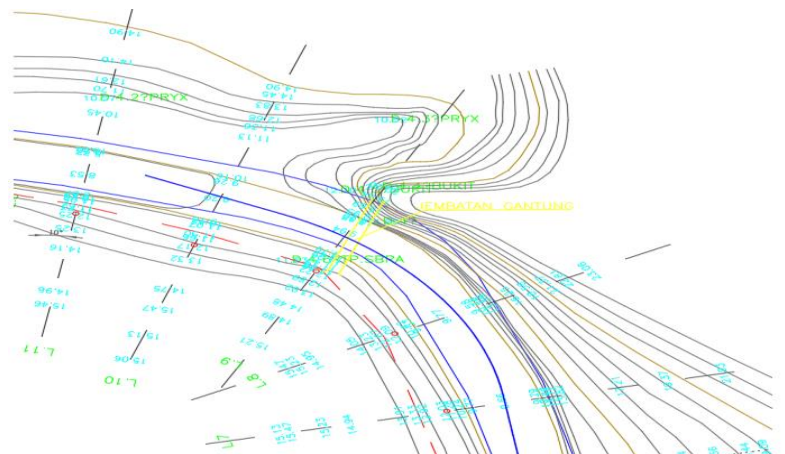
$$E_{c2} = 1,5 y_{c2} = 1,5 \times 1,61 = 2,415 \text{ m}$$

$$E_1^1 = E_{c2} = 2,415$$

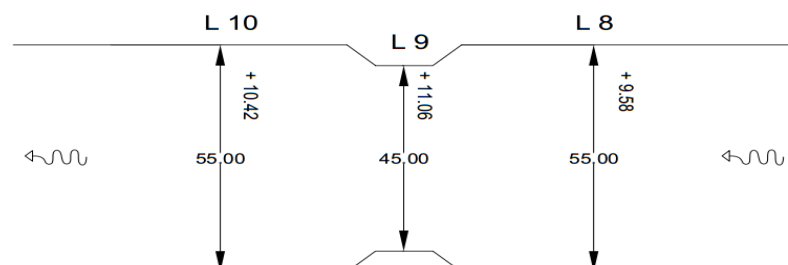
$$y_1^1 = 2,15 \text{ cm}$$

$$Y^1 = 2,15 \text{ cm}$$

kesimpulan, kenaikan air pada jembatan adalah 2,15cm, air naik 0,15 m = 15cm.



4.6 Gambar jembatan pada sungai



4.7 Gambar aliran air pada penampang jembatan

➤ Menghitung Kedalaman Gerusan

Dalam pemasangan pasangan di dasar sungai perlu di perhitungkan kedalaman gerusan akibat debit yang lewat sehingga di peroleh angka aman penempatannya. Kedalamn gerusan diperkirakan dengan persamaan yang ditemukan oleh Lacey 1930 (kp 02 halaman 104)

sebagai berikut :

$$R = 0,47 (Q/f)^{1/3}$$

$$f = 1,76 \times dm^{0,5}$$

$$y_{ms} = 0,47$$

dimana :

R = kedalaman gerusan dibawah permukaan air banjir (m)

dm = rata-rata diameter material dasar (mm)

y_{ms} = Kedalaman gerusan dari muka air (m)

$$Q = 289,463 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$b = 55 \text{ m}$$

$$h = 3,2\text{m}$$

$$\text{diameter } d_{50} = 0,35 \text{ mm}$$

$$\text{Gerusan } f = 1,76 \times 0,35^{0,5}$$

$$f = 1,04$$

$$R = 0,47 \times (Q/f)^{1/3}$$

$$= 0,47 \times (289,463/ 1,04)^{1/3}$$

$$= 3,06 \text{ m}$$

Tinggi muka air (h) = 2,4m

Dalam gerusan = R- h

$$= 3,06 - 2,4$$

Sehingga dalam gerusan = $0,66 \approx 0,7$ m