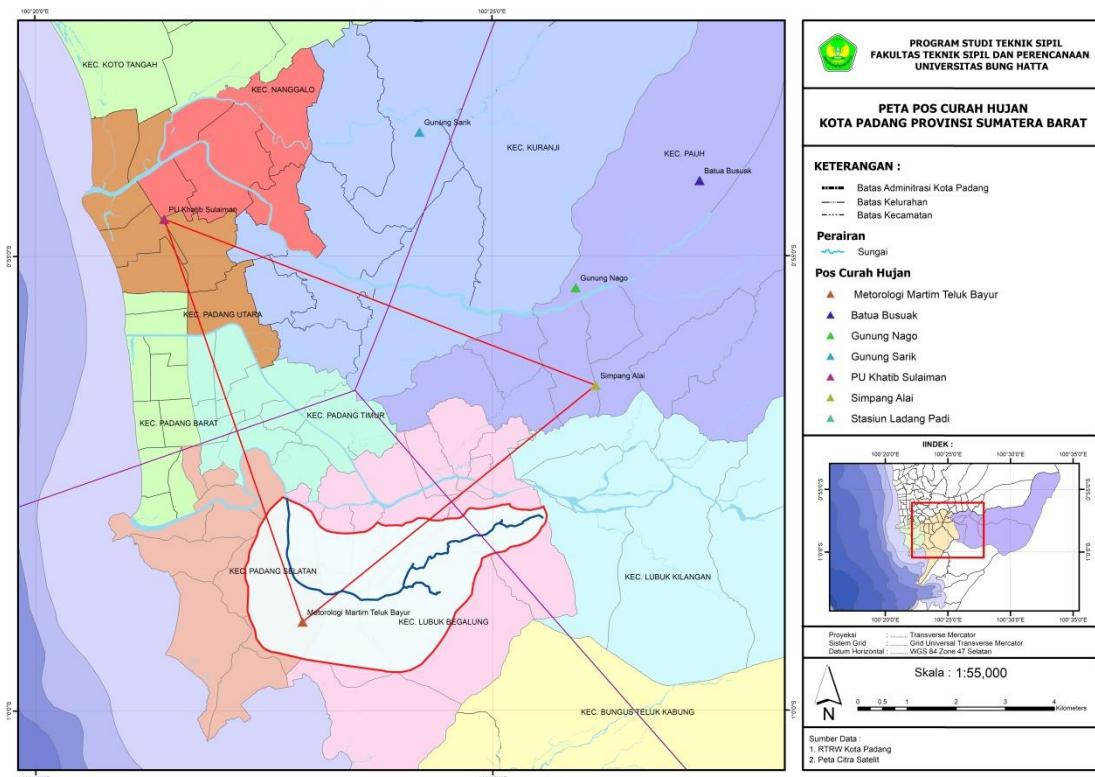


BAB IV. ANALISIS DAN PERHITUNGAN

4.1 Analisa Polygon Thiessen

Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidak seragaman jarak. metode ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 - 5.000 km².



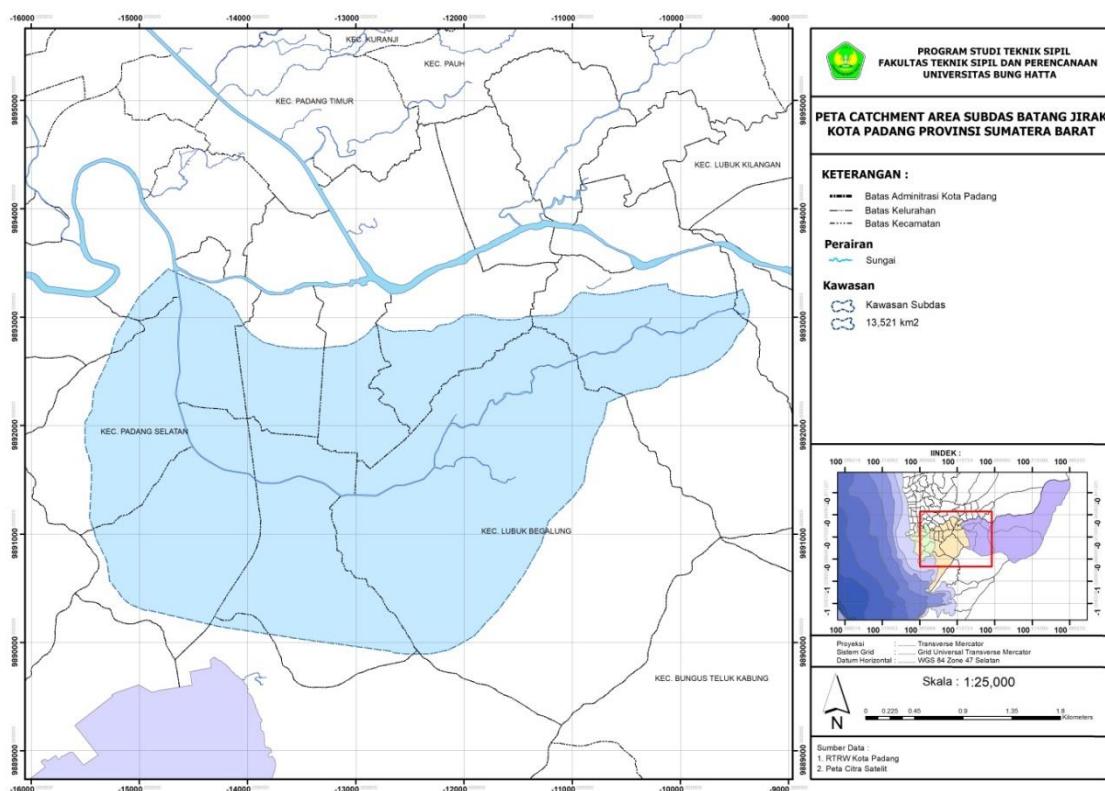
Gambar 4.1 Stasiun Curah Hujan

Dari analisa metode Polygon Thiessen di atas hanya 3 stasiun curah hujan yang berpengaruh terhadap sungai yang ditinjau, maka dari itu digunakan metode rata-rata aljabar dan dipilih stasiun yang terdekat dengan studi, yaitu :

4. Stasiun Kantor PU Khatib Sulaiman
Terletak pada posisi 00°.54'.14,4" LS / 100°.21'.00" BT
5. Stasiun Simpang Alai
Terletak Pada Posisi 00°.56'.13.3" LS / 100°.26'.06,7" BT
6. Stasiun Meteorologi Maritim Teluk Bayur
Terletak Pada Posisi 00°.99'.63.9" LS / 100°.26'.06,7" BT

4.2 Analisa Catchment Area

DAS adalah suatu wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung punggung gunung, yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama. Wilayah tersebut dinamakan Daerah Tangkapan Air (DTA) atau catchment area yang merupakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumberdaya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumberdaya alam.



Gambar 4.2 Catchment Area

4.3 Analisa Curah Hujan

Penentuan luas pengaruh stasiun curah hujan dengan metode Aljabar karena metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Stasiun yang digunakan dalam hitungan ini adalah stasiun yang berada dalam DAS, tetapi stasiun yang berada di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan (Triatmodjo 2008)

Berikut adalah Contoh perhitungan curah hujan metode rata-rata aljabar pada bulan Januari 2009:

- Curah Hujan Maximum

R *Khatib Sulaiman* = 66 mm

R *Simpang Alai* = 31 mm

R *Teluk Bayur* = 65 mm

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n}$$

$$\bar{R} = \frac{66 + 31 + 65}{3} = 54 \text{ mm}$$

Tabel 4.1 Analisa Curah Hujan Rencana Metoda Rata-rata Aljabar Tahun 2009

Bulan	Curah Hujan			Jumlah Curah Hujan Rata-Rata	Curah Hujan Maksimum (mm)
	Teluk Bayur (mm)	Khatib Sulaiman (mm)	Simpang Alai (mm)		
Jan	66	65	31	54	146
Feb	51	37	13	33.7	
Mar	55	70	7	44	
Apl	51	53	8	37.3	
Mai	45	40	36	40.3	
Juni	0	45	31	25.3	
Juli	221	160	57	146	
Agus	73	40	41	51.3	
Sept	131	140	71	114	
Okt	70	100	45	71.7	
Nov	108	60	31	66.3	
Des	130	95	40	88.3	

(Sumber: Pengolahan Data)

Selanjutnya hasil perhitungan curah hujan rata-rata metode aljabar dari tahun 2010-2018 di lampirkan.

Dari perhitungan di atas, didapat nilai curah hujan maksimum setiap tahunnya yang akan digunakan untuk perhitungan curah hujan rencana.

Tabel 4.2 : Rangkuman Curah Hujan Rata–rata
Metode Rata-Rata Aljabar Tahun 2009 – 2018

NO	TAHUN	CURAH HUJAN MAXIMUM (mm)
1	2009	146
2	2010	130.3
3	2011	132.7
4	2012	138
5	2013	131
6	2014	149.7
7	2015	131.5
8	2016	197
9	2017	209.2
10	2018	120.4
Jumlah		1485.8
Rata-rata		148.58

(Sumber: Pengolahan Data)

4.4 Analisa Distribusi

Untuk perhitungan curah hujan rencana dilakukan dengan empat metode, yaitu metode distribusi normal, distribusi gumbel, distribusi log normal dan distribusi log pearson III.

4.4.1 Distribusi Normal

Rumus perhitungan curah hujan rencana berdasarkan Distribusi Normal:

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S$$

Dimana :

X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T tahun (mm)

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

K_T = Faktor frekuensi lainnya tergantung dari “t”, nilai yang didapatkan dari Tabel Variasi Reduksi Gauss (Tabel 2.4)

S = Standar deviasi dari data hujan (mm)

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

Tabel 4.3 Perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Normal

No	Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)	(X _i - \bar{X})	(X _i - \bar{X}) ²	(X _i - \bar{X}) ³
1	2009	146	-2.58	6.66	-17.17
2	2010	130.3	-18.28	334.16	-6108.42
3	2011	132.7	-15.88	252.17	-4004.53
4	2012	138	-10.58	111.94	-1184.29
5	2013	131	-17.58	309.06	-5433.21
6	2014	149.7	1.12	1.25	1.40
7	2015	131.5	-17.08	291.73	-4982.69
8	2016	197	48.42	2344.50	113520.52
9	2017	209.2	60.62	3674.78	222765.43
10	2018	120.4	-28.18	794.11	-22378.09
	$\sum X_i$	1485.8	0.00	8120.36	292178.96
	\bar{X}	148.58			

(Sumber: Pengolahan Data)

Langkah perhitungan periode ulang 2 tahun :

- a. Curah hujan rata – rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{1485,8}{10} = 148,58 \text{ mm}$$

- b. Standar Deviasi (Sd)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{8120,36}{10-1}} = 30,04 \text{ mm}$$

- c. Hitung Nilai KT dari tabel *Nilai Variabel Reduksi Gauss* (Tabel 2.4)

- d. Hitung hujan rencana dengan periode ulang 2 tahun

$$e. X_T = \bar{X} + K_T \times S_d$$

$$f. X_2 = 148,58 + (0 \times 30,04) = 148,58 \text{ mm}$$

- g. Selanjutnya hasil perhitungan untuk periode ulang yang lain di tabelkan.

Tabel 4.4 : Parameter Statistik Metode Distribusi Normal

No	Periode Ulang	X Rata-rata	Sd	KT	XT (mm)
1	2	148.58	30.04	0	148.58
2	5	148.58	30.04	0.84	173.81
3	10	148.58	30.04	1.28	187.03
4	25	148.58	30.04	1.64	197.85
5	50	148.58	30.04	2.05	210.16
6	100	148.58	30.04	2.33	218.57

(Sumber: Pengolahan Data)

4.4.2 Distribusi Gumbel

Data curah hujan yang digunakan untuk perhitungan curah hujan rencana dengan metode gumbel yaitu data curah hujan rata-rata, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Rumus :

$$X_T = \bar{X} + \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \cdot S_d$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Keterangan :

X_T = Hujan dengan return periode T (mm)

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

N = Banyak data tahun pengamatan

S_d = Standart deviasi

Y_n = Reduced mean (hubungan dengan banyak data, n)

Y_t = Reduced variate (hubungan dengan return Period, t)

S_n = Reduced standar deviation (hubungan dengan banyaknya data, n).

Nilai Y_t , Y_n dan S_n telah ditetapkan dalam tabel (Tabel 2.1, Tabel 2.2, Tabel 2.3)

Tabel 4.5: Perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Gumbel

No	Tahun	Curah Hujan (mm)	(Xi-Xrt)	(Xi-Xrt) ²
1	2009	146	-2.58	6.66
2	2010	130.3	-18.28	334.16
3	2011	132.7	-15.88	252.17
4	2012	138	-10.58	111.94
5	2013	131	-17.58	309.06
6	2014	149.7	1.12	1.25
7	2015	131.5	-17.08	291.73
8	2016	197	48.42	2344.50
9	2017	209.2	60.62	3674.78
10	2018	120.4	-28.18	794.11
Jumlah		1485.8	0.00	8120.36
Rata-rata		148.58		

(Sumber: Pengolahan Data)

Langkah perhitungan periode ulang 2 tahun :

1. Perhitungan \bar{X}

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{1485,8}{10} = 148,58 \text{ mm}$$

2. Perhitungan standar deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{8120,36}{10-1}} = 30,04 \text{ mm}$$

3. Perhitungan Kt (2 tahun)

$$Y_n = 0,4952$$

$$S_n = 0,9496$$

$$Y_t = 0,3668$$

$$Kt = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} = \frac{0,3668 - 0,4952}{0,9496} = -0,14$$

4. Perhitungan hujan rencana dengan periode ulang T tahun

$$\begin{aligned} X_2 &= \bar{X} + Kt \times Sd \\ &= 148,58 + (-0,14 \times 30,04) = 144,52 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. Selanjutnya hasil perhitungan untuk periode ulang yang lain di tabelkan.

Tabel 4.6 Parameter Statistik Metode Distribusi Gumbel

No	Periode Ulang	Yn	Sn	Yt	Yt-Yn	K	XT
1	2	0.4952	0.9496	0.3668	-0.13	-0.14	144.52
2	5	0.4952	0.9496	1.5004	1.01	1.06	180.38
3	10	0.4952	0.9496	2.2510	1.76	1.85	204.12
4	25	0.4952	0.9496	3.1993	2.70	2.85	234.12
5	50	0.4952	0.9496	3.9028	3.4076	3.59	256.38
6	100	0.4952	0.9496	4.6001	4.10	4.32	278.44

(Sumber: Pengolahan Data)

4.4.3 Distribusi Log Normal

Rumus perhitungan curah hujan rencana berdasarkan Metode Log Normal:

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K_T \times Sd \log X$$

Dimana :

$\text{Log } X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun (mm)

$\text{Log } \bar{X}$ = Nilai rata-rata dari $\text{Log } X_T$ = $\frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n}$ (mm)

$S \log X$ = Deviasi standar dari $\text{Log } \bar{X}$ = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}}$

K_T = Faktor frekuensi sini lainnya tergantung dari “t”, nilai yang didapatkan dari Tabel Variasi Reduksi Gauss (Tabel 2.4)

Tabel 4.7 Perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Log Normal

No	Tahun	Curah Hujan Max (mm)	Log Xi	Log Xi-Log X	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2$
1	2009	146	2.164	0.001	0.000
2	2010	130.3	2.115	0.050	0.002
3	2011	132.7	2.123	0.042	0.002
4	2012	138	2.140	0.025	0.001
5	2013	131	2.117	0.048	0.002
6	2014	149.7	2.175	-0.010	0.000

No	Tahun	Curah Hujan Max (mm)	Log Xi	Log Xi-Log X	(Log Xi-Log X)^2
7	2015	131.5	2.119	0.046	0.002
8	2016	197	2.294	-0.130	0.017
9	2017	209.2	2.321	-0.156	0.024
10	2018	120.4	2.081	0.084	0.007
	Jumlah	1485.8	21.65		0.057
	Rata-rata	148.58	2.16		

(Sumber: Pengolahan Data)

Langkah perhitungan periode ulang 2 tahun :

1. Perhitungan Log \bar{X}

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} = \frac{21,65}{10} = 2,16 \text{ mm}$$

2. Perhitungan standar deviasi

$$Sd \log X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,057}{10-1}} = 0,08$$

3. Tentukan nilai KT dari Tabel *Variasi Reduksi Gauss* (Tabel 2.4)

4. Perhitungan logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun

$$\begin{aligned} \text{Log } X_2 &= \text{Log } \bar{X} + KT \times Sd \log X \\ &= 2,16 + (0,00 \times 0,08) \\ &= 2,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$XT = 144.54 \text{ mm}$$

5. Selanjutnya hasil perhitungan untuk periode ulang yang lain di tabelkan.

Tabel 4.8 Parameter Statistik Metode Distribusi Log Normal

No	Periode Ulang	KT	Log X	Sd Log X	Log Xt	XT
1	2	0	2.16	0.08	2.16	144.54
2	5	0.84	2.16	0.08	2.23	168.57
3	10	1.28	2.16	0.08	2.26	182.71
4	25	1.64	2.16	0.08	2.29	195.16
5	50	2.05	2.16	0.08	2.32	210.37

No	Periode Ulang	KT	Log X	Sd Log X	Log Xt	XT
6	100	2.33	2.16	0.08	2.34	221.27

(Sumb: Pengolahan Data)

4.4.4 Metode Distribusi Log Pearson III

$$\text{Rumus : } \text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K_{Tr} \cdot \text{Slog } X$$

Dimana:

$\text{Log } X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun (mm)

$\text{Log } \bar{X}$ = Nilai rata-rata dari $\text{Log } X_i$ (mm)

$\text{Sd log } X$ = Standar deviasi dari $\text{Log } X$

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}}$$

K_{Tr} = Koefisien frekuensi, didapat berdasarkan hubungan nilai C_s dengan periode ulang T, lihat Tabel (Lampiran 2)

$$C_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(\text{Slog } X)^3}$$

Tabel 4.9 Perhitungan Curah Hujan Rencana Log Pearson III

No	Tahun	Curah Hujan Max (mm)	Log X_i	Log x	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3$
1	2009	146	2.16	2.16	0.000	0.000
2	2010	130.3	2.11	2.16	0.002	0.000
3	2011	132.7	2.12	2.16	0.001	0.000
4	2012	138	2.14	2.16	0.000	0.000
5	2013	131	2.12	2.16	0.002	0.000
6	2014	149.7	2.18	2.16	0.000	0.000
7	2015	131.5	2.12	2.16	0.002	0.000
8	2016	197	2.29	2.16	0.018	0.002
9	2017	209.2	2.32	2.16	0.026	0.004
10	2018	120.4	2.08	2.16	0.006	-0.001
	Jumlah	1485.8	21.65		0.058	0.006
	Rata-rata	148.58	2.16			

No	Tahun	Curah Hujan Max (mm)	Log Xi	Log x	(Log Xi-Log X) ²	(Log Xi-Log X) ³
	Sd Log X		0.08			
	Cs		1.6			

(Sumber: Pengolahan Data)

Langkah perhitungan periode ulang 2 tahun :

1. Perhitungan Log \bar{X}

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} = \frac{21,65}{10} = 2,16 \text{ mm}$$

2. Perhitungan standar deviasi

$$S_d \log X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,058}{10-1}} = 0,08 \text{ mm}$$

3. Perhitungan Cs

$$Cs = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S_d \log X)^3} = \frac{10 \times 0,006}{(10-1)(10-2)(0,08)} = 1,6 \text{ mm}$$

4. Tentukan nilai KT dari (Lampiran 2)

Nilai KT dihitung berdasarkan nilai T dan nilai Cs atau C dari tabel kemecengan dengan Cs = 1,6 didapat nilai KT yaitu :

$$T = 2 \text{ tahun maka } K_T = -0,254$$

$$T = 5 \text{ tahun maka } K_T = 0,675$$

$$T = 10 \text{ tahun maka } K_T = 1,329$$

$$T = 25 \text{ tahun maka } K_T = 2,163$$

$$T = 50 \text{ tahun maka } K_T = 2,780$$

$$T = 100 \text{ tahun maka } K_T = 3,388$$

5. Perhitungan hujan rencana dengan periode ulang T tahun

$$\begin{aligned} \text{Log } X_2 &= \text{Log } \bar{X} + K_T \times S_d \log X \\ &= 2,16 + (-0,254 \times 0,08) = 2,140 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$X_T = 10^{2,140}$$

$$= 137,937 \text{ mm}$$

6. Selanjutnya hasil perhitungan untuk periode ulang yang lain di tabelkan.

Tabel 4.10 Parameter Statistik Metode Log Pearson Tipe III

No	Periode Ulang	Cs	K _T	Log XT	XT (mm)
1	2	1.6	-0.254	2.140	137.937
2	5	1.6	0.675	2.214	163.682
3	10	1.6	1.329	2.266	184.638
4	25	1.6	2.163	2.333	215.298
5	50	1.6	2.780	2.382	241.213
6	100	1.6	3.388	2.431	269.799

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.11 Rekapitulasi Perhitungan Distribusi Probabilitas

Periode Ulang	Normal	Gumbel	Log Normal	Log Person III
2	148.58	144.52	144.54	137.94
5	173.81	180.38	168.57	163.68
10	187.03	204.12	182.71	184.638
25	197.85	234.12	195.16	215.30
50	210.16	256.38	210.37	241.21
100	218.57	278.44	221.27	269.80

(Sumber: Pengolahan Data)

4.5 Uji Distribusi Probabilitas

Penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokan parameter data tersebut dengan syarat masing-masing jenis distribusi seperti berikut :

4.5.1 Uji Chi-Kuadrat

Rumus :

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

Dimana :

χ^2 = Parameter chi kuadrat terhitung

Ef = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

Of = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

Derajat nyata atau derajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5%.

Derajat 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

Selanjutnya distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah 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, lihat Tabel (Lampiran 3)

Langkah Perhitungan :

1. Data hujan diurut dari besar ke kecil

Tabel 4.12 Data Curah Hujan yang Diurutkan dari Besar ke Kecil

No.	X_i (mm)	Peringkat (m)	$P = m/(n+1)$	$T = 1/P$
1	209.2	1	0.09	11.00
2	197	2	0.18	5.50
3	149.7	3	0.27	3.67
4	146	4	0.36	2.75
5	138	5	0.45	2.20
6	132.7	6	0.55	1.83
7	131.5	7	0.64	1.57
8	131	8	0.73	1.38
9	130.3	9	0.82	1.22
10	120.4	10	0.91	1.10

(Sumber: Pengolahan Data)

2. Menghitung jumlah kelas

- Jumlah data (n) = 10
- Kelas distribusi (K) = $1 + 3,3 \log n = 1 + 3,3 \log 10 = 4,3$

3. Menghitung derajat kebebasan (D_k) dan χ^2_{cr}

- Parameter (p) = 2
- Derajat kebebasan (D_k) = $K - (p + 1) = 5 - (2 + 1) = 2$
- Nilai χ^2_{cr} dengan jumlah data (n) = 10, $\alpha = 5\%$ dan $D_k = 2$ adalah 7,879 (Lampiran 3)

4. Menghitung kelas distribusi

- Kelas distribusi = $\frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$, interval distribusi adalah 20%, 40%, 60% dan 80%.
- $P_{(x)} = 20\%$ diperoleh $T = 1/P_x = 1/0,20 = 5$ tahun
- $P_{(x)} = 40\%$ diperoleh $T = 1/P_x = 1/0,40 = 2,5$ tahun
- $P_{(x)} = 60\%$ diperoleh $T = 1/P_x = 1/0,60 = 1,67$ tahun
- $P_{(x)} = 80\%$ diperoleh $T = 1/P_x = 1/0,80 = 1,25$ tahun.

5. Menghitung Interval Kelas

a. Distribusi Probabilitas Normal

Nilai KT berdasarkan nilai T dari (Tabel 2.4), didapat :

- $T = 5$ maka KT = 0,84
- $T = 2,5$ maka KT = 0,25
- $T = 1,67$ maka KT = -0,25
- $T = 1,25$ maka KT = -0,84

Nilai $\bar{X} = 148,58$ mm

Nilai $S_d = 30,04$ mm

Interval kelas :

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

$$\begin{aligned} X_5 &= 148,58 + (0,84 \times 30,04) &= 173,81 \text{ mm} \\ X_{2,5} &= 148,58 + (0,25 \times 30,04) &= 156,09 \text{ mm} \\ X_{1,67} &= 148,58 + (-0,25 \times 30,04) &= 141,07 \text{ mm} \\ X_{1,25} &= 148,58 + (-0,84 \times 30,04) &= 123,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Curah Hujan Interval Kelas Distribusi Normal

No	T	X rata-rata	Sd	KT	Xt
1	5	148.58	30.04	0.84	173,81
2	2.5	148.58	30.04	0.25	156,09
3	1.67	148.58	30.04	-0.25	141,07
4	1.25	148.58	30.04	-0.84	123,35

(Sumber: Pengolahan Data)

b. Distribusi Probabilitas Metode Gumbel

Dengan jumlah data (n) = 10, berdasarkan tabel nilai reduced standard deviation (S_n) dan nilai reduced mean (Y_n), maka didapat nilai,

$$Y_n = 0,4952 \text{ dan } S_n = 0,9496$$

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} = \frac{Y_t - 0,5128}{1,0206}$$

Sehingga didapat:

- $T = 5 \quad Y_t = 1,5004 \quad \text{maka } KT = 1,059$
- $T = 2,5 \quad Y_t = 0,5224 \quad \text{maka } KT = 0,029$
- $T = 1,67 \quad Y_t = 0,3062 \quad \text{maka } KT = -0,199$
- $T = 1,25 \quad Y_t = 0,2292 \quad \text{maka } KT = -0,280$

$$\text{Interval kelas : } X_T = \bar{X} + KT \times S_d$$

Tabel 4.14 Curah Hujan Interval Kelas Distribusi Gumbel

No	XT	Yn	Sn	Yt	Sd	Kt	Xt
1	5	0.4952	0.9496	1.5004	30.04	1.059	180.379
2	2.5	0.4952	0.9496	0.5224	30.04	0.029	149.440
3	1.67	0.4952	0.9496	0.3062	30.04	-0.199	142.601
4	1.25	0.4952	0.9496	0.2292	30.04	-0.280	140.165

(Sumber: Pengolahan Data)

c. Metode Log Normal

Nilai KT berdasarkan nilai T dari (Tabel 2.4), didapat :

- $T = 5 \quad \text{maka } KT = 0,84$
- $T = 2,5 \quad \text{maka } KT = 0,25$
- $T = 1,67 \quad \text{maka } KT = -0,25$

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

$$\overline{\log X_i} = 2,16 \quad Sd \log x = 0,08$$

$$\text{Interval kelas : } \log X_T = \overline{\log X_i} + (K_T \times Sd \log X)$$

Tabel 4.15 Curah Hujan Interval Kelas Distribusi Log normal

No	Periode Ulang	KT	Sd Log X	Log X	Log Xt	Xt
1	5	0.84	0.08	2.16	2.23	168.73
2	2.5	0.25	0.08	2.16	2.18	151.36
3	1.67	-0.25	0.08	2.16	2.14	138.04
4	1.25	-0.84	0.08	2.16	2.09	123.82

(Sumber: Pengolahan Data)

d. Metode Log Pearson III

Nilai KT dihitung berdasarkan nilai $C_s = 1,6$ dan nilai T untuk berbagai periode ulang (Lampiran 2) adalah :

Untuk $T = 2,5$ dilakukan interpolasi antara $T = 2$ ($K_T = -0,254$) dan $T = 5$ ($K_T = 0,675$)

$$\text{Jadi } T = 2,5 \text{ didapat } 0 + \frac{0,675 - (-0,254)}{5 - 2} \times (2,5 - 2) = 0,155$$

Untuk $T = 1,67$ dilakukan interpolasi antara $T = 0$ ($K_T = 0,0$) dan $T = 2$ ($K_T = -0,254$)

$$\text{Jadi } T = 1,67 \text{ didapat } 0 + \frac{-0,254 - (0)}{2 - 0} \times (1,67 - 0) = -0,212$$

Untuk $T = 1,25$ dilakukan interpolasi antara $T = 0$ ($K_T = 0,0$) dan $T = 2$ ($K_T = -0,254$)

$$\text{Jadi } T = 1,25 \text{ didapat } 0 + \frac{-0,254 - (0)}{2 - 0} \times (1,25 - 0) = -0,159$$

Untuk $T = 5$ maka didapat $K_T = 0,675$

- $T = 5$ maka $K_T = 0,675$
- $T = 2,5$ maka $K_T = 0,155$
- $T = 1,67$ maka $K_T = -0,212$
- $T = 1,25$ maka $K_T = -0,159$

Tabel 4.16 Curah Hujan Interval Kelas Distribusi Log Pearson III

No	Periode Ulang	KT	Sd Log X	Log X	Log Xt	Xt
1	5	0.675	0.08	2.16	2.21	163.68
2	2.5	0.155	0.08	2.16	2.17	148.73
3	1.67	-0.212	0.08	2.16	2.14	139.01
4	1.25	-0.159	0.08	2.16	2.15	140.37

(Sumber: Pengolahan Data)

6. Perhitungan Nilai χ^2

$$Ef = \frac{\text{Banyak data (n)}}{\text{Jumlah kelas}} = \frac{10}{5} = 2$$

Keterangan :

Of = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

Ef = Jumlah nilai teoritis sub kelompok

Tabel 4.17 Perhitungan Nilai χ^2 Distribusi Normal

Kelas	Interval	Ef	Of	Of - Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	>173.81	2	2	0	0.00
2	173.81-156.09	2	0	-2	2.00
3	156.09-141.07	2	2	0	0.00
4	141.07-123.35	2	5	3	4.50
5	< 123.35	2	1	-1	0.50
		10	10	χ^2	7.00

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.18 Perhitungan Nilai χ^2 Distribusi Gumbel

Kelas	Interval	Ef	Of	Of - Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	> 180.38	2	2	2	2.00
2	180.38-149.44	2	3	1	0.50
3	149.44-142.60	2	2	1	0.50
4	142.60-140.17	2	0	0	0.00
5	<140.17	2	8	6	18.00
		10	15	χ^2	21.00

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.19 Perhitungan Nilai χ^2 Distribusi Log Normal

Kelas	Interval	Ef	Of	Of - Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	>168.73	2	2	0	0.00
2	168.73-151.36	2	0	-2	2.00
3	151.36-138.04	2	2	0	0.00
4	138.04-123.82	2	4	2	4.50
5	< 123.82	2	2	0	0.50
		10	10	X^2	7.00

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.20 Perhitungan Nilai χ^2 Distribusi Log Pearson III

Kelas	Interval	Ef	Of	Of - Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	>163.68	2	2	0	0.00
2	163.68-148.73	2	1	-1	0.50
3	148.73-139.01	2	1	-1	0.50
4	140.37-139.01	2	0	-2	2.00
5	< 139.01	2	6	4	8.00
		10	10	X^2	11.00

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.21 Resume Uji Chi Kuadrat

No.	Distribusi Probabilitas	X^2_{hitung}	X^2_{cr}	Keterangan
1	Normal	7.00	7,879	Diterima
2	Gumbel	21.00	7,879	Ditolak
3	Log Normal	7.00	7,879	Diterima
4	Log Pearson Tipe III	11.00	7,879	Ditolak

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.21 maka distribusi yang dipilih adalah distribusi Log Normal karena nilai X^2 hitung $< X^2_{cr} = 7,00 < 7,879$.

4.5.2 Uji Smirnov Kolmogorof

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

a. Distribusi Probabilitas Normal

Tabel 4.22 Metode Normal Uji Smirnov Kolmogorof

i	X _i (mm)	P (X _i)	F (t)	Luas Kurva Normal	P'(X _i)	ΔP
1	2	3	4	5	6	7
1	209,2	0,091	2,02	0,9783	0,0217	-0,069
2	197	0,182	1,61	0,9463	0,0537	-0,128
3	149,7	0,273	0,04	0,5160	0,4840	0,21
4	146	0,364	-0,09	0,4641	0,5359	0,172
5	138	0,455	-0,35	0,3632	0,6368	0,182
6	132,7	0,545	-0,53	0,2981	0,7019	0,156
7	131,5	0,636	-0,57	0,2843	0,7157	0,079
8	131	0,727	-0,59	0,2776	0,7224	-0,005
9	130,3	0,818	-0,61	0,2709	0,7291	-0,089
10	120,4	0,909	-0,94	0,1736	0,8264	-0,083
Jumlah	1485,8				Max	0,21
Rata-rata	148,58					

(Sumber: Pengolahan Data)

Keterangan Tabel 4.22 :

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

$$P(X_i) = \frac{m}{n+1} \quad P(X_i) = \frac{1}{10+1} = 0,091$$

- 3) Menghitung nilai f (t)

$$f(t) = \frac{X_i - \bar{X}}{Sd} = \frac{209,2 - 148,58}{30,04} = 2,02$$

- 4) Dari hasil f (t) lihat pada Tabel luas wilayah dibawah kurva normal dengan t = 2,02 maka didapat luas = 0,9783 (Lampiran 4)

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

$$P'(X_i) 1 - 0,9783 = 0,0217$$

6) Menghitung $(\Delta P) = P'(x) - P_x$

$$\Delta P_1 = 0,0217 - 0,091 = -0,069$$

7) Perhitungan selanjutnya ditabelkan pada Tabel 4.22

8) Dari tabel perhitungan didapat $\Delta P_{\text{max}} = 0.21$

9) Membandingkan ΔP_{max} dengan nilai ΔP_{kritis} . Untuk $N = 10$ dan $\alpha = 5\%$ dari tabel ΔP_{kritis} Smirnov-Kolmogorof didapat nilai $\Delta P_{\text{kritis}} = 0,41$

10) Jadi $\Delta P_{\text{max}} (0,21) < \Delta P_{\text{kritis}} (0,41)$

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

b. Distribusi Gumbel

Tabel 4.23 Metode Gumbel Uji Smirnov Kolmogorof

No.	X_i (mm)	$P(X_i)$	$f(t)$	Y_t	T	$P'(X_i)$	ΔP
1	2	3	4	5	6	7	8
1	209.2	0.091	2.02	2.411	12.2	0.08	-0.01
2	197	0.182	1.61	2.026	8.50	0.12	-0.06
3	149.7	0.273	0.04	0.531	2.43	0.41	0.14
4	146	0.364	-0.09	0.414	2.12	0.47	0.11
5	138	0.455	-0.35	0.161	0.88	1.14	0.69
6	132.7	0.545	-0.53	-0.007	-0.04	-27.03	-27.57
7	131.5	0.636	-0.57	-0.045	-0.24	-4.10	-4.74
8	131	0.727	-0.59	-0.061	-0.33	-3.03	-3.76
9	130.3	0.818	-0.61	-0.083	-0.45	-2.22	-3.04
10	120.4	0.909	-0.94	-0.396	-2.16	-0.46	-1.37
Jumlah	1485.8					Max	0.69
Rata-rata	148.58						

(Sumber: Pengolahan Data)

Keterangan Tabel 4.23 :

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

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

$$P(X_i) = \frac{1}{10+1} = 0,091$$

3) Menghitung nilai $f(t)$

$$f(t) = \frac{X_i - \bar{X}}{Sd} = \frac{209,2 - 148,58}{30,04} = 2,02$$

4) Dari Tabel dengan nilai $N = 10$ maka didapat Nilai $(S_n) = 0,9496$ dan Nilai

Reduced Mean $(Y_n) = 0,4952$

5) Y_t diperoleh dari persamaan yaitu :

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

$$2,02 = \frac{Y_t - 0,4952}{0,9496} \text{ maka didapat ; } Y_t = (2,02 \times 0,9496) + 0,4952 = 2,411$$

T diperoleh dari nilai Y_t hasil perhitungan point 5 dengan $Y_t = 2,411$ terletak antara periode ulang 10 tahun dengan nilai $Y_t = 2,2510$ dan 20 tahun dengan nilai

$Y_t = 2,9709$.

Maka, $Y_t = 2,411$ diinterpolasikan

$$\text{yaitu} = 0 + \frac{2,411 - 2,2510}{2,9709 - 2,2510} \times (20-10) = 12,2 \text{ tahun}$$

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

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

8) Berdasarkan Tabel 4.23 dapat dilihat bahwa $\Delta P_{\max} = 0,69$

9) Jika jumlah data 10 dan α (derajat kepercayaan) = 5% maka dari Tabel nilai ΔP kritis Smirnov Kolmogorof didapat ΔP kritis = 0,41

10) Jadi ΔP maksimum $(0,69) < \Delta p$ kritis $(0,41)$

Maka distribusi probabilitas Gumbel tidak dapat diterima untuk menganalisis data curah hujan.

c. Distribusi Log Normal

Tabel 4.24 Metode Log Normal Uji Sminrov Kolmogorof

No.	X_i (mm)	Log (X_i)	$P(X_i)$	$f(t)$	Luas Kurva Normal	$P'(X_i)$	ΔP
1	2	3	4	5	6	7	8
1	209.2	2.32	0.091	1.95	0.9744	0.026	-0.07
2	197	2.29	0.182	1.62	0.9474	0.053	-0.13
3	149.7	2.18	0.273	0.13	0.5517	0.448	0.18
4	146	2.16	0.364	-0.01	0.496	0.504	0.14
5	138	2.14	0.455	-0.31	0.3783	0.622	0.17
6	132.7	2.12	0.545	-0.53	0.2981	0.702	0.16
7	131.5	2.12	0.636	-0.57	0.2843	0.716	0.08
8	131	2.12	0.727	-0.60	0.2743	0.726	0.00
9	130.3	2.11	0.818	-0.62	0.2676	0.732	-0.09
10	120.4	2.08	0.909	-1.05	0.1469	0.853	-0.06
Jumlah	1485.8	21.65				Max	0.18
Rata-rata	148.58	2.16					
Sd Log		0.08					

(Sumber: Pengolahan Data)

Keterangan Tabel 4.24 :

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

$$P(X_i) = \frac{m}{n+1} \quad P(X_i) = \frac{1}{10+1} = 0,091$$

- 3) Menghitung nilai $f(t)$

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

$$= \frac{2,32 - 2,16}{0,08} = 1,95$$

- 4) Dari hasil $f(t)$ lihat tabel luas wilayah dibawah kurva normal dengan $t = 1,95$
maka didapat luas = 0,9744 (Lampiran 4)
- 5) Menghitung $P'(X_i) = 1 - \text{point 4} = 1 - 0,9744 = 0,026$

6) Menghitung (ΔP) = $P'(X_i) - P(X_i)$

$$\Delta P_1 = 0,026 - 0,091 = -0,065$$

7) Perhitungan selanjutnya ditabelkan pada Tabel 4.24

8) Dari tabel perhitungan didapat ΔP max = 0,18

9) Membandingkan ΔP max dengan nilai kritis ΔP kritis. Untuk $N = 10$ dan $\alpha = 5\%$ dari tabel ΔP kritis Smirnov-Kolmogorof didapat nilai ΔP kritis = 0,41

10) Jadi ΔP max (0,18) < ΔP kritis (0,41)

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

d. Distribusi Log Pearson III

Tabel 4.25 Metode Log Pearson III Uji Sminrov Kolmogorof

No.	X_i (mm)	Log (X_i)	$P(X_i)$	$f(t)$	$P'(X_i)$	ΔP
1	2	3	4	5	6	7
1	209.2	2.32	0.091	1.95	0.211	0.12
2	197	2.29	0.182	1.62	0.152	-0.03
3	149.7	2.18	0.273	0.13	0.032	-0.24
4	146	2.16	0.364	-0.01	0.000	-0.36
5	138	2.14	0.455	-0.31	-0.006	-0.46
6	132.7	2.12	0.545	-0.53	-0.011	-0.56
7	131.5	2.12	0.636	-0.57	-0.011	-0.65
8	131	2.12	0.727	-0.60	-0.012	-0.74
9	130.3	2.11	0.818	-0.62	-0.012	-0.83
10	120.4	2.08	0.909	-1.05	-0.021	-0.93
Jumlah	1485.8	21.65			Max	0.12
Rata-rata	148.58	2.16				
Sd Log		0.08				

(Sumber: Pengolahan Data)

Keterangan Tabel 4.25 :

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

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

$$P(X_i) = \frac{1}{10+1} = 0,091$$

3) Menghitung nilai $f(t)$

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

$$= \frac{2,32 - 2,16}{0,08} = 1,95$$

Nilai $P'X_i$ berdasarkan $f_t = 1,95$ dengan menggunakan tabel kemecengan Log Pearson tipe III (Lampiran 4) $C_s = 1,6$ dengan interpolasi diperoleh $P'(X_i)$. $f_t = 1,95$ terletak antara periode ulang 10 tahun =1,329 dan periode ulang 25 tahun =2,163 dibuat dalam persen.

$$P'(X_i) = 10 + \frac{(1,95 - 1,329)}{(2,163 - 1,329)} \times (25-10) = 21,17$$

$$\text{Dalam persen} = 21,17/100 = 0,211$$

$$4) \Delta P = P'(X_i) - P(X_i)$$

$$= 0,211 - 0,091 = 0,12$$

5) Perhitungan selanjutnya ditabelkan pada Tabel 4.40

6) Berdasarkan Tabel 4.25 dapat dilihat bahwa $\Delta P_{\max} = 0,12$

7) Jika jumlah data (n) = 10 dan $\alpha = 5\%$ maka dari tabel nilai ΔP kritis Smirnov-Kolmogorov didapat $\Delta P = 0,41$

8) Jadi ΔP maksimum ($0,12$) < ΔP kritis ($0,41$)

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

Tabel 4.26 Resume Uji Chi Kuadrat

No.	Distribusi Probabilitas	X^2_{hitung}	X^2_{cr}	Keterangan
1	Normal	7.00	7,879	Diterima
2	Gumbel	21.00	7,879	Ditolak
3	Log Normal	7.00	7,879	Diterima
4	Log Pearson Tipe III	11.00	7,879	Ditolak

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.26 maka distribusi yang dipilih adalah distribusi Log Normal karena nilai X^2 hitung $< X^2 cr = 7,00 < 7,879$.

Tabel 4.27 Resumé uji Smirnov Kolmogorof

No	Distribusi Probabilitas	Δp Terhitung	Δp Kritis	Keterangan
1	Normal	0,21	0,41	Diterima
2	Gumbel	0,69	0,41	Ditolak
3	Log Normal	0,18	0,41	Diterima
4	Log Pearson III	0,12	0,41	Diterima

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.27 maka distribusi yang dipilih adalah distribusi Log Normal karena nilai ΔP hitung $< \Delta P$ kritis $= 0,18 < 0,41$. Dari Tabel 4.26 dan Tabel 4.27 dapat disimpulkan bahwa distribusi Log Normal dapat diterima untuk menganalisis data curah hujan. Hujan rencana untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun sebagai berikut :

Tabel 4.28 Hujan Rencana Distribusi Log Normal

No	Hujan Rencana (mm)	Periode Ulang (tahun)	Peluang (%)
1	144.54	2	50
2	168.57	5	20
3	182.71	10	10
4	195.16	25	4
5	210.37	50	2
6	221.27	100	1

(Sumber: Pengolahan Data)

4.6 Analisia Debit Banjir Rencana

Pada perhitungan analisa 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 Jirak ini adalah dengan menggunakan metode Empiris antara lain metode Weduwen.

4.6.1 Metode Weduwen

Metode Weduwen yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana di daerah pengaliran dirumuskan sebagai berikut:

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

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

Luas Catchment area (A)	= 12,014 km ²
Panjang sungai yang ditinjau	= 1456 m
Panjang sungai efektif (L)	= 0,9 x 1456 = 1310,4 m
Elevasi hulu sungai	= + 79 mdpl
Elevasi hilir sungai	= + 13 mdpl
Kemiringan rata-rata sungai (S)	= 0,007
Beda Elevasi (ΔH)	= 66 m

Langkah-langkah perhitungan metode Weduewen yaitu:

- Dicoba untuk $t_i = 4,5$ jam dan hitung β , I , α , dan t sebagai berikut:
 - Menghitung koefisien reduksi

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} \times A}{120 + A} \\ &= \frac{120 + \frac{4,5+1}{4,5+9} \times 12,014}{120 + 12,014} = 0,95\end{aligned}$$

- Menghitung intensitas hujan

$$I = \frac{67,65}{t + 1,45} = \frac{67,65}{4,5 + 1,45} = 11,37 \text{ (m}^3/\text{dt/km}^2\text{)}$$

- Menghitung koefisien pengairan

$$\begin{aligned}\alpha &= 1 - \frac{4,1}{I + 7} \\ &= 1 - \frac{4,1}{11,37 + 7} = 0,777\end{aligned}$$

- Menghitung lamanya hujan

$$\begin{aligned}
t &= \frac{0,467 \times A^{3/8}}{(\alpha \times \beta \times I)^{1/8} \times (S)^{1/4}} \\
&= \frac{0,467 \times 12,014^{3/8}}{(0,777 \times 0,95 \times 11,37)^{1/8} \times (0,007)^{1/4}} \\
&= 3,14 \text{ jam}
\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas: (t_i) coba = 4,5 ≠ (t) hitung = 3,14 jam.

Oleh karena itu, dicoba lagi untuk t_i sehingga diperoleh $t_i \approx t$ yaitu pada saat:

$$\begin{aligned}
t &= 3,02 \text{ jam} & ; \beta &= 0,94 \\
I &= 15,13 (\text{m}^3/\text{dt}/\text{km}^2) & ; \alpha &= 0,815
\end{aligned}$$

b. Hitung Q_{maks}

$$\begin{aligned}
Q_{\text{maks}} &= \alpha \times \beta \times I \times A \\
&= 0,815 \times 0,94 \times 15,13 \times 12,014 \\
&= 139,26 \text{ m}^3/\text{detik}.
\end{aligned}$$

c. Menghitung debit banjir rencana (Q_2)

$$\begin{aligned}
Q_2 &= Q_{\text{maks}} \times \frac{R_2}{240} \\
&= 139,26 \times \frac{144,54}{240} = 83,87 \text{ m}^3/\text{detik}
\end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.29 Perhitungan Debit Banjir Metode Weduwen

No	T	R_T (mm)	Q maks	Q (m^3/dt)
1	2	144.54	139.26	83.87
2	5	168.57	139.26	97.81
3	10	182.71	139.26	106.02
4	25	195.16	139.26	113.24
5	50	210.37	139.26	122.07
6	100	221.27	139.26	128.39

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.30 Rekapitulasi Debit Banjir Rencana

No.	T	Metode Empiris (m^3/dt)
		Weduwen
1	2	83.87
2	5	97.81
3	10	106.02
4	25	113.24
5	50	122.07
6	100	128.39

(Sumber: Pengolahan Data)

Untuk menentukan debit normal dan debit banjir rencana yang cocok, maka terlebih dahulu dilakukan peninjauan lapangan di lokasi studi kasus secara manual serta menanyakan langsung keadaan masyarakat di sekitar aliran sungai, sehingga didapat debit banjir lapangan. Proses memperoleh data lapangan dilakukan dengan langkah berikut :

1. Sediakan alat pengukuran berupa meteran serta alat tulis.
2. Proses pengukuran:
 - a. Mengukur lebar penampang atas sungai dengan cara mengukur lebar bentang jembatan (Y).
 - b. Mengukur kedalaman sungai menggunakan patok kayu (h).
 - c. Untuk kemiringan sungai diasumsikan 1:1
 - d. Mengukur kecepatan aliran menggunakan botol dengan jarak 10 m.



Gambar 4.3 Meteran Untuk Alat Ukur



Gambar 4.4 Pengukuran Lebar Penampang



Gambar 4.5 Pengukuran Kedalaman Sungai Gambar 4.6 Pengukuran Kecepatan Aliran

3. Analisa debit normal

Menghitung debit normal

Diketahui :

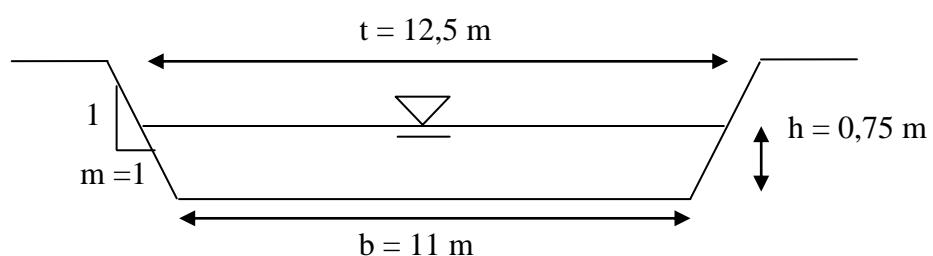
$$\text{Tinggi air (h)} = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (y)} = 12,5 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan (I)} = 0,007$$

$$\text{Koef. Manning (n)} = 0,03$$

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



Gambar 4.7 Potongan Penampang Sungai

Langkah-langkah perhitungan debit normal :

$$\begin{aligned} \text{Luas (A)} &= (b + m.h).h \\ &= (11 + 1 \times 0,75) \times 0,75 \\ &= 8,81 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling (P)} &= b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2} \\ &= 11 + (2 \times 0,75 \times \sqrt{1+1^2}) \\ &= 13,12 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung debit normal yaitu :

Untuk mencari nilai V

Uji 1 = 18,42 detik

Uji 2 = 19,33 detik

Uji 3 = 17,51 detik

$$= \frac{18,42 + 19,33 + 17,51}{3} = 18,42$$

$$= \frac{10}{18,42} = 0,54 \text{ m/dt}$$

$$Q = A \times V$$

$$= 8,81 \times 0,54$$

$$= 4,76 \text{ m}^3/\text{dt}$$

4. Analisa debit banjir

Dari pengukuran yang telah dilakukan serta menanyakan langsung ke pada masyarakat di sekitar lokasi sungai, sehingga diketahui kedalaman air saat banjir (h) 4 m, kemudian disesuaikan dengan debit banjir rencana.

Menghitung debit banjir akibat curah hujan

Diketahui :

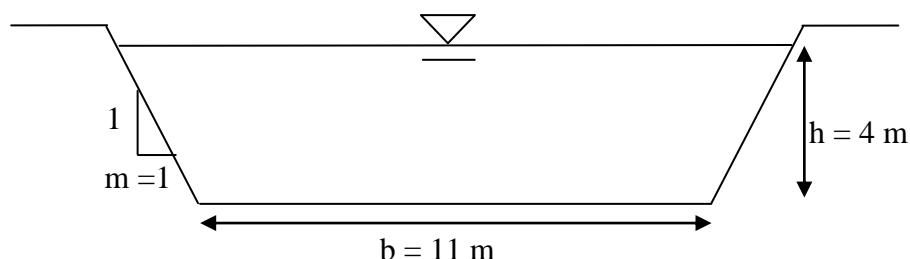
Tinggi air (h) = 4 m

Lebar (b) = 11 m

Kemiringan = 0,007

Koef. Manning (n) = 0,03

Talud (m) = 1 : 1



Gmbar 4.8 Potongan Penampang Melintang Sungai

Langkah-langkah perhitungan debit banjir:

$$\begin{aligned} \text{Luas (A)} &= (b + m.h).h \\ &= (11 + 1 \times 4) \times 4 = 60 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kelinging (P)} &= b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1+m^2} \\
 &= 11 + (2 \times 4 \times \sqrt{1+1^2}) \\
 &= 22,31 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jari-jari (R)} &= \frac{A}{P} \\
 &= \frac{60}{22,31} = 2,69 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung debit banjir yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q &= A \times V \\
 &= 60 \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \\
 &= 60 \times \frac{1}{0,03} \times (2,69)^{2/3} \times (0,007)^{1/2} = 122,30 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan debit banjir diatas, maka metode debit banjir rencana yang cocok adalah metoda Weduwen, karena metode perhitungan banjir weduwen cocok untuk *catchment area* $\leq 50 \text{ km}^2$. Pada debit banjir lapangan nilai Q yang didapat yaitu $122,07 \text{ m}^3/\text{dt}$, maka kala ulang banjir yang digunakan yaitu 50 tahun karena nilai Q_{lapangan} mendekati nilai Q_{rencana} .

4.7 Perhitungan Dimensi Penampang Batang Jirak

Dimensi penampang saluran untuk Batang Jirak yang direncanakan dengan menggunakan saluran Trapesium.

Tabel 4.31 Kriteria Pemilihan Kala Ulang Banjir

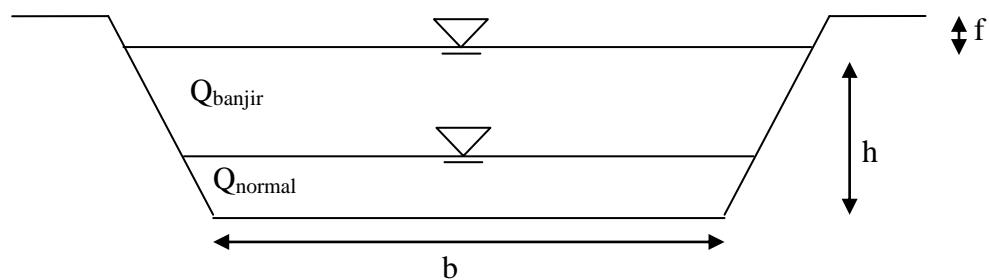
NO	JENIS BANGUNAN AIR	KALA ULANG BANJIR T (TAHUN)
1	Bendungan Urugan Tanah/Batu	1000
2	Bendungan Beton/Batu Kali	500-1000
3	Bendung	50-100
4	Saluran Pengelak Banjir	20-50
5	Tanggul Sungai	10-20
6	Drainase/ Irigasi	5-10

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

Berdasarkan kriteria diatas, penulis mengambil Q_{banjir} adalah Q_{50th} dan Q_{normal} adalah Q_{2th} . Untuk Q_{normal} , penulis mengambil Q_{2th} karena dari hasil perhitungan, debit dominan yang akan melewati kawasan ini adalah Q_{2th} . Perkiraan/ peluang debit Q_{2th} , sebagai berikut:

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

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



Gambar 4.9 Desain Penampang Trapesium

Rumus :

Penampang Saluran Trapezium

$$Q = A \cdot V$$

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

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

$$R = A/P$$

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

Dimana :

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

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

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

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

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

$$m = \text{Talud}$$

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

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

Data desain yaitu :

- a. Debit banjir rencana aliran untuk Q_{50th} = 122,07 m³/dtk
- b. I rata-rata sungai pada lokasi studi = 0,007

Direncanakan yaitu :

- Lebar (b1) = 11 m
- Koef. Manning (n) = 0,030
- Talud (m) = 1 : 1

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

Pada h = 0,3,

- Menentukan luas penampang (A)

$$A = (b + m \times h) \times h = (11 + 1 \times 0,3) \times 0,3 = 3,39 \text{ m}^2$$

- Menentukan keliling basah penampang (P)

$$\begin{aligned} P &= b + 2 \times h \cdot \sqrt{1 + m^2} \\ &= 11 + 2 \times 0,3 \cdot \sqrt{1 + 1^2} = 11,85 \text{ m} \end{aligned}$$

- Menentukan jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P} = \frac{3,39}{11,85} = 0,29 \text{ m}$$

$$R^{2/3} = 0,43 \text{ m}$$

- Menentukan kecepatan aliran rata-rata (V)

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = 33,33 \times 0,43 \times 0,0316 = 0,4577 \text{ m/dt}$$

- Nilai debit yang didapatkan pada h = 0,3

$$Q = A \times V = 3,39 \times 0,4577 = 1,552 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan

Tabel 4.32 Hasil Perhitungan Nilai h Dengan Cara *Trial and Error*

h	1/n	A	P	R	R^{2/3}	I^{1/2}	V	Q
0.30	33.33	3.39	11.848	0.29	0.43	0.0316	0.4577	1.552
0.90	33.33	10.71	13.545	0.79	0.86	0.0316	0.9013	9.653
1.30	33.33	15.99	14.676	1.09	1.06	0.0316	1.1161	17.846
1.90	33.33	24.51	16.373	1.50	1.31	0.0316	1.3794	33.809
2.50	33.33	33.75	18.070	1.87	1.52	0.0316	1.5987	53.955
3.00	33.33	42	19.484	2.16	1.67	0.0316	1.7590	73.877

h	1/n	A	P	R	R^2/3	I^1/2	V	Q
3.50	33.33	50.75	20.898	2.43	1.81	0.0316	1.9044	96.650
3.80	33.33	56.24	21.746	2.59	1.88	0.0316	1.9860	111.694
4.00	33.33	60	22.312	2.69	1.93	0.0316	2.0384	122.303

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari perhitungan di atas didapatkan tinggi $h = 4$ m, sehingga :

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

$$= (11 + 1 \times 4) \cdot 4$$

$$= 60 \text{ m}^2$$

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

$$= 11 + 2 \times 4 \times \sqrt{1 + 1^2}$$

$$= 22,31 \text{ m}$$

$$R = A/P = \frac{60}{22,31} = 2,69 \text{ m}$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = 1/0,03 \times 2,69^{2/3} \times 0,007^{1/2}$$

$$= 33,33 \times 1,93 \times 0,0316$$

$$= 2,038 \text{ m/detik}$$

$$Q = A \cdot V = 60 \times 2,038$$

$$= 122,30 \text{ m}^3/\text{dtk} \approx Q_{\text{rencana}} = 122,07 \text{ m}^3/\text{dtk} \dots \text{OK!}$$

Tinggi Penampang untuk $Q_{\text{desain}} = 122,30 \text{ m}^3/\text{dtk}$ adalah (h) = 4 m.

Tinggi tanggul jagaan (f) = 0.6 m (Lampiran 6)

Tinggi keseluruhan tanggul (H) = $H + f = 4 + 0,6$

$$= 4,6 \text{ m}$$

4.8 Perhitungan Perkuatan Tebing

4.8.1 Menghitung kedalaman gerusan

Dalam pemasangan pasangan di dasar sungai perlu diperhitungkan kedalaman gerusan akibat debit yang melewatinya, semakin dalam dasar sungai karena interaksi antara aliran dengan dasar sungai.

Kedalaman gerusan diperkirakan dengan rumus empiris Jarret sebagai berikut :

$$Y_0 = 0,38 q_0^{0,67} \times D_{50}^{-0,17}$$

$$q = Q_{\text{desain}}/b_{\text{rata-rata}}$$

Dimana :

Y_0 = Kedalaman gerusan dari muka air banjir

q_0 = Debit per meter lebar

D_{50} = Diameter rata-rata sample sedimen

Debit Banjir (Q) = $122,07 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Lebar Sungai (b) = 11 m

Talud = 1 : 1

D_{50} = 0,007 m

Perhitungan :

$$q_0 = \frac{Q}{b} = \frac{122,07}{11}$$

$$= 11,1$$

$$\begin{aligned} Y_0 &= 0,38 \times q_0^{0,67} \times D_{50}^{-0,17} \\ &= 0,38 \times 11,09^{0,67} \times 0,007^{-0,17} \\ &= 4,43 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka dalam gerusan dasar sungai :

$$= Y_0 - \text{Tinggi muka air}$$

$$= 4,43 - 4$$

$$= 0,43 \text{ m}$$

4.8.2 Menghitung Stabilitas Perkuatan Tebing

Menghitung stabilitas perkuatan tebing bertujuan untuk memeriksa stabilitas perkuatan tebing terhadap guling dan geser serta memeriksa tegangan tanah yang timbul akibat gaya yang ditimbulkan oleh beban konstruksi.

Gaya-gaya yang berkerja antara lain :

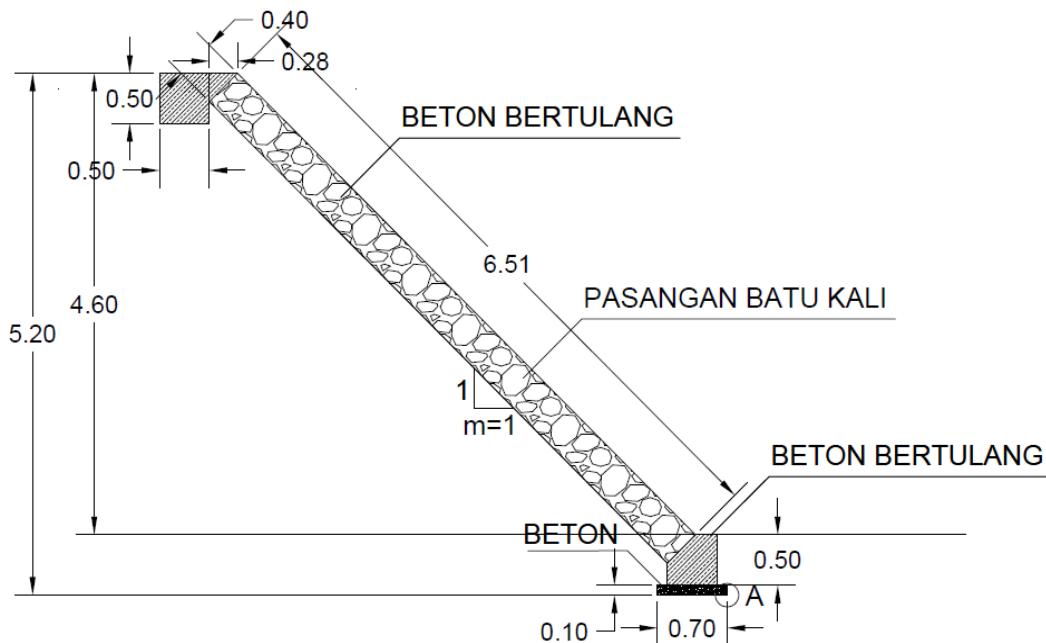
1. Akibat Beban Sendiri
2. Akibat Gaya Gempa
3. Akibat Tekanan Tanah dan Beban Merata

Data-data kriteria perencanaan :

1. Jenis Tanah = Pasir
2. Berat Jenis Pasangan Batu = 2200 kg/m^3
3. Berat Jenis Beton = 2200 kg/m^3
4. Berat Jenis Beton Bertulang = 2400 kg/m^3

5. Berat Jenis Air(γ_w) = 1000 kg/m^3
 6. Berat Jenis Tanah (γ_s) = 1800 kg/m^3
 7. Sudut Geser Tanah (ϕ) = 35°

(Sumber : Kriteria Perencanaan 06 Irigasi)



Gambar 4.10 Detail Perkuatan Tebing

4.8.3 Akibat Beban Sendiri

Berat beban akibat beban sendiri tergantung kepada bahan material yang digunakan dalam pembuatan bangunan perkuatan tebing tersebut, antara lain :

- a. BJ Beton = $2,2 \text{ t/m}^3$
- b. BJ Beton Bertulang = $2,4 \text{ t/m}^3$
- c. BJ Pasangan batu kali = $2,2 \text{ t/m}^3$

Perhitungan pembebanan akibat beban sendiri :

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Luas } W_1 &= L \times T \\
 &= 0,7 \times 0,1 \\
 &= 0,07 \text{ m}^2 \\
 \bullet \text{ Luas } W_4 &= \frac{1}{2} \text{ Alas} \times \text{Tinggi} \\
 &= \frac{1}{2} \times 0,4 \times 0,2 \\
 &= 0,04 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Besar Gaya W_1 = Luas $W_1 \times BJ$ Beton
 $= 0,07 \times 2,2 = 0,15$ ton

Terhadap Titik A (Titik tumpu)

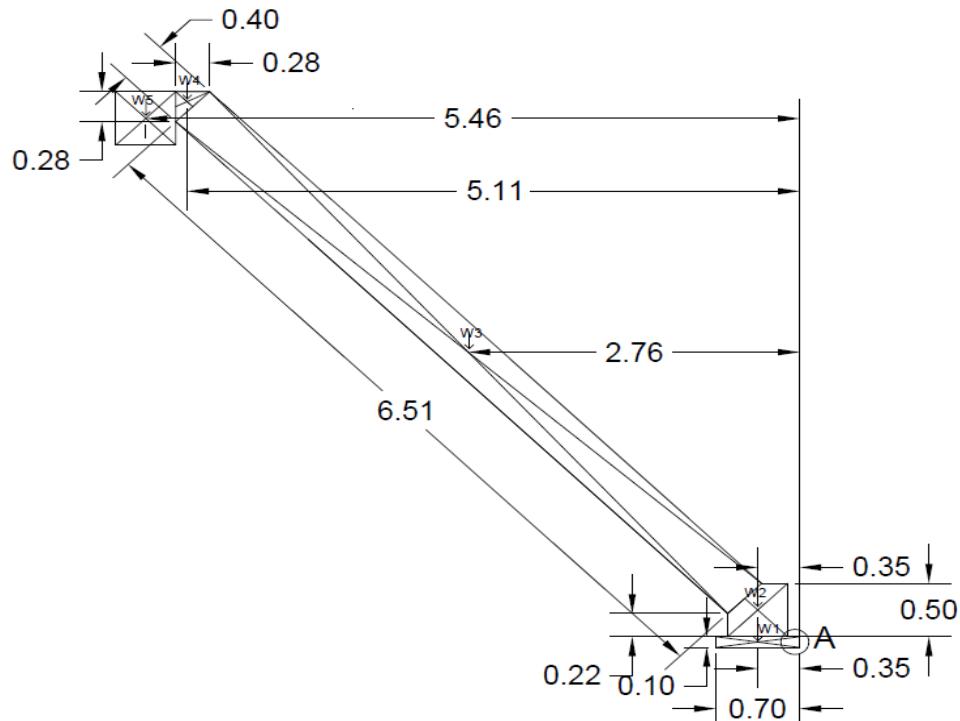
- Panjang Lengan $W_1 = 0,35$ m
- Momen = Gaya x Panjang Lengan
 $= 0,15 \times 0,35 = 0,054$ tm

Perhitungan Selanjutnya ditabelkan.

Tabel 4.33 Beban Akibat Beban Sendiri

Gaya	Luas	BJ Material	Besaran Gaya	Terhadap Titik A	
				Panjang Lengan	Momen
	m^2	t/m^3	Ton	m	tm
W_1	0.07	2.2	0.15	0.35	0.054
W_2	0.212	2.4	0.51	0.35	0.178
W_3	2.6040	2.2	5.73	2.7618	15.822
W_4	0.04	2.4	0.10	5.1121	0.491
W_5	0.25	2.4	0.60	5.4564	3.274

(Sumber: Pengolahan Data)



Gambar 4.11 Gaya Akibat Beban Sendiri

4.8.4 Akibat Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi yang mempengaruhi struktur tersebut. Pada peta zona gempa Indonesia dapat dilihat pembagian wilayah gempa yang berbeda.

Koefisien gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E = \frac{ad}{q}$$

$$ad = Z \cdot ac \cdot V$$

Dimana :

E = Koefisien Gempa

ad = Percepatan gempa desain (m/dt^2)

ac = Percepatan gempa dasar (m/dt^2)

n = Faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

Z = Koefisien zona gempa

g = Gravitasi ($9,8 m/dt^2$)

m = Koefisien untuk jenis tanah

Diketahui :

n = 1,1

ac = 90 pada periode ulang 10 tahun

Z = 1,4 (Gambar zone gempa F)

g = $981 \text{ cm}/dt^2$

(Sumber : Kriteria Perencanaan 06 Irigasi)

- $ad = n \times (ac \times Z)^m$
 $= 1,1 \times (90 \times 1,4)^{1,05}$
 $= 176,51 \text{ cm}/dt^2$
- $E = ad/g$
 $= 176,51/981$
 $= 0,17$
- Besar gaya (W_1) = $0,15 \text{ t}$
- Gaya gempa = $E \times W$
 $= 0,17 \times 0,15 = 0,03 \text{ t}$

Terhadap titik A (Titik tumpu)

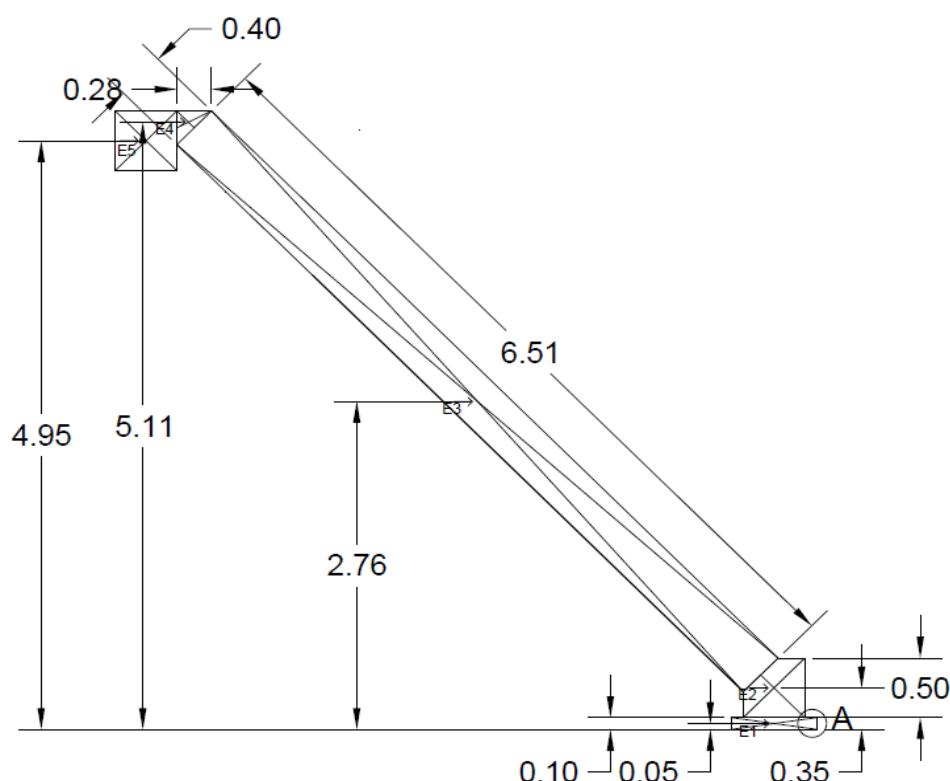
- Panjang Lengan E_1 = 0,05 m (Gambar 4.11)
- Momen = Gaya gempa x Panjang lengan
= $0,03 \times 0,05$
= 0,0015 t.

Perhitungan selanjutnya ditabelkan :

Tabel 4.34 Beban Akibat Beban Gempa

Gaya	Koefisien Gempa	Besaran Gaya	Gaya Gempa	Terhadap Titik A	
				Panjang Lengan	Momen
(E)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	(m)	(t.m)
E_1	0.17	0.15	0.03	0.05	0.002
E_2	0.17	0.51	0.09	0.35	0.028
E_3	0.17	5.73	0.97	2.76	2.455
E_4	0.17	0.10	0.02	5.11	0.153
E_5	0.17	0.60	0.10	4.95	0.644

(Sumber: Pengolahan Data)



Gambar 4.12 Gaya Akibat Beban Gempa

4.8.5 Beban Akibat Tekanan Tanah dan Beban Merata

Gaya-gaya yang timbul akibat tekanan tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot L^2 \cdot K_a$$

Dimana :

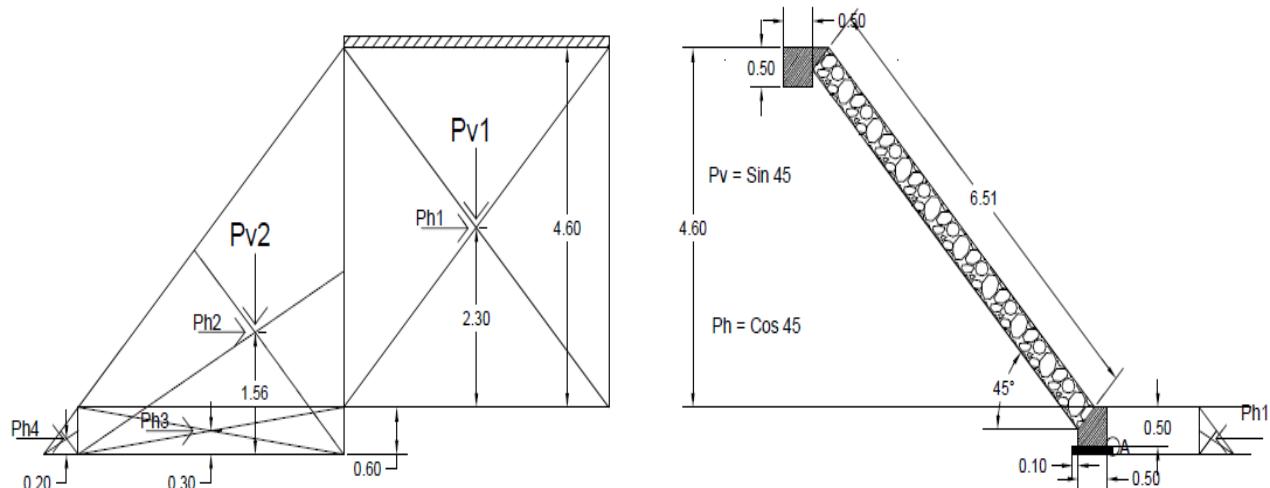
P = Gaya akibat tekanan tanah (t)

K_a = Tekanan Tanah Aktif

γ' = Berat jenis tanah efektif (t/m^3)

γ_s = Berat jenis tanah (t/m^3)

γ_w = Berat jenis air (t/m^3)



Gambar 4.13 Detail Tekanan Tanah

$$\begin{aligned} a. \gamma' &= \gamma_s - \gamma_w \\ &= 1,8 - 1 = 0,8 \end{aligned}$$

Tekanan Tanah Aktif

$$\begin{aligned} b. K_a &= \tan^2(45 - \phi/2) \\ &= \tan^2(45 - 35/2) = 0,27 \end{aligned}$$

Menghitung Tekanan Tanah dan Beban Merata

$$\begin{array}{ll} \alpha = 45^\circ & \phi = 35^\circ \\ \cos \alpha = 0,707 & \tan \alpha = 1 \\ \sin \alpha = 0,707 & \end{array}$$

$$X_1 = \frac{1,3}{\tan \alpha} + 0,6$$

$$= \frac{1,3}{1} + 0,6 = 1,9 \text{ m}$$

$$X_2 = \frac{1,95}{\tan \alpha} + 0,6$$

$$= \frac{1,95}{1} + 0,6 = 2,55 \text{ m}$$

$$Pa_1 = \frac{1}{2} \times \gamma' \times h^2 \times K_a$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,8 \times 4,6^2 \times 0,27 = 2,285 \text{ ton}$$

$$Pa_2 = q \times h \times K_a$$

$$= 0,75 \times 4,6 \times 0,27 = 0,932$$

$$Ph_1 = Pa_1 \times \cos \alpha$$

$$= 2,285 \times 0,707 = 1,616 \text{ ton}$$

$$Pv_1 = Pa_1 \times \sin \alpha$$

$$= 2,285 \times 0,707 = 1,616 \text{ ton}$$

$$Ph_2 = Pa_2 \times \cos \alpha$$

$$= 0,932 \times 0,707 = 0,659 \text{ ton}$$

$$Pv_2 = Pa_2 \times \sin \alpha$$

$$= 0,932 \times 0,707 = 0,659 \text{ ton}$$

$$Ph_3 = \gamma' \times K_a \times h_2 \times h_3$$

$$= 0,8 \times 0,27 \times 4,6 \times 0,6 = 0,596 \text{ ton}$$

$$Ph_4 = \frac{1}{2} \times \gamma' \times h^2 \times K_a$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,8 \times 0,6^2 \times 0,27 = 0,04 \text{ ton}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan

Tabel 4.35 Beban Akibat Tekanan Tanah dan Beban Merata

No.	Momen	Gaya		Lengan Momen						Momen Tahan	Momen Guling
		v	h	x1	x2	y1	y2	y3	y4		
1	Ph1		1.616			2.3					3.717
2	Pv1	1.616		1.9						3.070	
3	Ph2		0.659				1.6				1.028

No.	Momen	Gaya		Lengan Momen						Momen Tahan	Momen Guling
		v	h	x1	x2	y1	y2	y3	y4		
4	Pv2	0.659			2.55					1.680	
5	Ph3		0.596					0.3			0.179
6	Ph4		0.040						0.2		0.008
Jumlah		2.275	2.911							4.751	4.932

(Sumbe: Pengolahan Data)

Tabel 4.36 Resume Perhitungan

No.	Uraian	Besar Gaya		Momen	
		V	H	+	-
1	Beban Sendiri	7.09		19.818	
2	Beban Gempa		1.205		3.281
3	Tekanan Tanah & Beban Merata	2.275	2.911	4.751	4.932
Jumlah		9.362	4.116	24.569	8.213

(Sumbe: Pengolahan Data)

c. Kontrol Terhadap Guling

$$\begin{aligned}
 Sf &= \frac{M}{MG} \geq 1,5 \\
 &= \frac{24,569}{8,213} \geq 1,5 &= 2,99 \geq 1,5 \dots \text{OK! (Aman terhadap guling)}
 \end{aligned}$$

d. Kontrol Terhadap Geser

$$\begin{aligned}
 Sf &= \frac{\sum V \times 0,7}{\sum H} \geq 1,5 \\
 &= \frac{9,362}{4,116} \geq 1,5 = 1,59 \geq 1,5 \dots \text{OK! (Aman terhadap geser)}
 \end{aligned}$$