

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PENGERTIAN

Suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti : batu, krakal, pasir dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat di dalam waduk di udiknya disebut bendungan type urugan atau “bendungan urugan”.

Waduk adalah : Wadah air yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bangunan sungai dalam hal ini bangunan bendungan, dan berbentuk pelebaran alur / badan / palung sungai.

Bendungan adalah : Bangunan yang dibuat / dibangun untuk menampung debit air sungai, di mana air tersebut dapat digunakan untuk kesejahteraan masyarakat sekitar, antara lain : untuk pengairan dan perikanan darat.

Bendung adalah : Bangunan yang dibuat untuk menaikkan tinggi muka air, di mana digunakan untuk kepentingan pengairan / irigasi.

2.2. ANALISIS HIDROLOGI

Pada analisis hidrologi, data hujan yang diperoleh dari pengukuran alat ukur curah hujan adalah data hujan lokal (*Point rainfall*). Sedangkan untuk perhitungan perencanaan sistem pengendalian banjir dibutuhkan data curah hujan daerah aliran sungai (*Areal rainfall*), sehingga data hujan lokal (*Point rainfall*) yang diperoleh harus diolah terlebih dahulu menjadi data hujan daerah aliran sungai (*Areal rainfall*).

Untuk menghitung hujan daerah aliran sungai (*Areal rainfall*) pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) diperlukan beberapa stasiun hujan, semakin banyak stasiun hujannya semakin banyak pula informasi yang diperoleh dan hasilnya akan semakin baik, akan tetapi biaya yang diperlukan akan semakin besar.

Metode yang digunakan untuk perhitungan curah hujan daerah aliran sungai adalah sebagai berikut :

1. Cara Rata-Rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar dengan menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran selama satu periode tertentu dan membaginya dengan banyaknya tempat pengukuran. Jika dirumuskan dalam satu persamaan adalah sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad \text{atau} \quad \bar{R} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n R$$

Di mana :

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \text{Curah hujan daerah (mm).} \\ n &= \text{Jumlah titik pos pengamatan} \\ R_1, R_2, \dots, R_n &= \text{Curah hujan tiap titik pengamatan (mm).} \end{aligned}$$

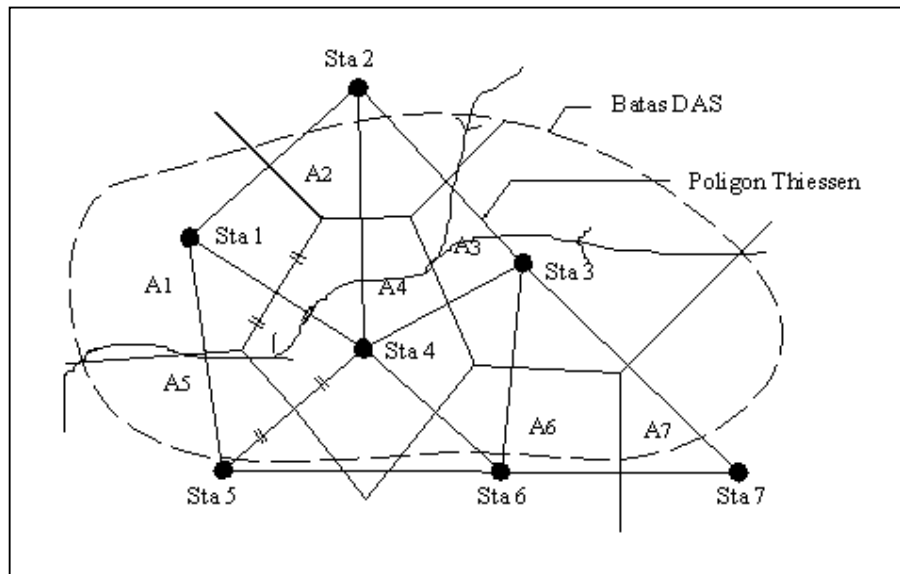
2. Cara Poligon Thiessen

Menurut Kiyotaka Mori dkk. (1977), metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena metode ini lebih teliti dan obyektif dibanding metode lainnya dan metode ini dapat digunakan pada daerah yang memiliki titik pengamatan yang tidak merata. Cara ini adalah dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobotan atau koefisien *Thiessen*. Besarnya koefisien *Thiessen* tergantung dari luas daerah pengaruh stasiun hujan yang dibatasi oleh poligon-poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung stasiun. Setelah luas pengaruh tiap-tiap stasiun didapat, maka koefisien *Thiessen* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (CD Soemarto, 1999) :

$$C = \frac{A_i}{A_{total}}$$

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

- Di mana :
- C = Koefisien *Thiessen*
- A_1, A_2, \dots, A_n = Luas pengaruh dari stasiun pengamatan (km^2)
- A = Luas total dari DAS (km^2)
- \bar{R} = Curah hujan rata-rata (mm)
- R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan pada setiap titik pengukuran (mm)



Gambar. 2.1. Metode Poligon Thiessen

3. Cara Isohyet

Metode Isohyet digunakan untuk daerah datar atau pegunungan. Stasiun curah hujannya harus menyebar merata dan banyak.

- Dengan cara :
- Ploting stasiun curah hujan dan besar curah hujannya.
 - Interpolasi di antara stasiun hujan.
 - Gambar garis Isohyetnya

Besarnya curah hujan rata-rata antara 2 (dua) garis Isohyet, digunakan rumus sebagai berikut :

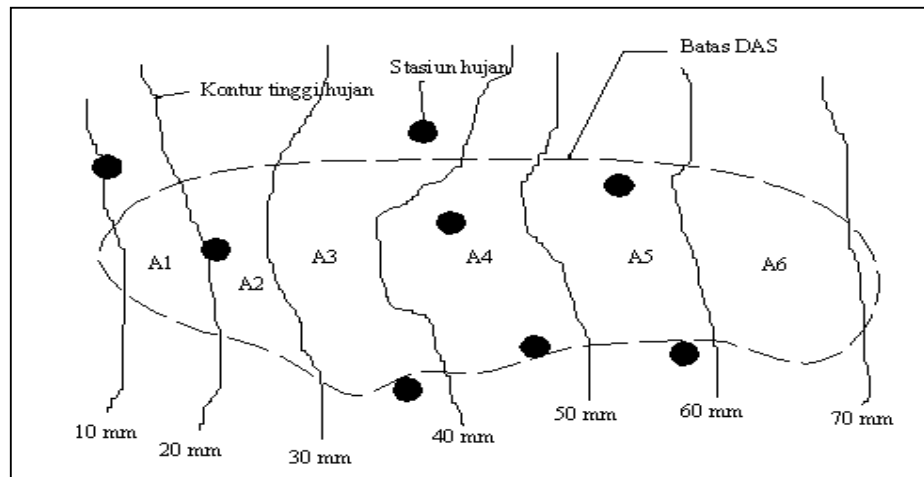
$$\bar{R} = \frac{A_1 \times R_1 + A_2 \times R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Atau

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \frac{A_n \times R_n}{A}$$

Di mana :

- R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan antara dua Isohyet (mm)
 A_1, A_2, \dots, A_n = Luas wilayah antara dua garis Isohyet (km²)
 A = Luas wilayah seluruhnya (km²)



Gambar 2.2. Metode Isohyet

2.2.1. Perhitungan Dengan Curah Hujan Periode Ulang

Untuk mendapatkan curah hujan rencana pada periode ulang tertentu dapat dilakukan dengan analisa frekuensi dari beberapa metode /sebaran. Sebaran yang digunakan dalam perhitungan daerah curah hujan adalah :

- Sebaran normal
 $C_s = 0$
- Sebaran log normal
 $C_k = 3 \times C_v$
- Sebaran *Gumbel*
 $C_s \leq 1,1396$; $C_k \leq 5,4002$
- Sebaran *log Pearson III*
 $C_s \leq 0$

Bab II Tinjauan Pustaka

Dipilih jika metode di atas tidak cocok dengan analisa, maka rumus yang digunakan adalah :

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2).S_x^3} \sum_{i=1}^n (R_r - \bar{R})^3$$

$$C_v = \left(S_x / \bar{R} \right)$$

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3).S_x^4} \sum (R_r - \bar{R})^4$$

Di mana :

- C_s = Koefisien keruncingan (*skewness*)
- C_k = Koefisien Kurtosis
- C_v = Koefisien *variansi* perbandingan *deviasi standart* dengan rata-rata
- \bar{R} = Curah hujan rata-rata (mm)
- R_r = Curah hujan maksimum periode ke-I (mm)
- S_x = *Standart deviasi* (mm)
- n = Banyaknya data

(Sumber : Hidrologi Untuk Pengairan, Ir. Suyono Sastrodarsono).

2.2.2. Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk meramal besarnya hujan dengan periode ulang tertentu. Berdasarkan curah hujan rencana tersebut kemudian dicari intensitas hujan yang digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Untuk meramal curah hujan rencana dilakukan dengan analisis frekuensi data hujan. Ada beberapa metode analisis frekuensi yang dapat digunakan yaitu :

1. Metode Gumbel Tipe I

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumble Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

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

Di mana :

X_T = Nilai *variant* yang diharapkan terjadi.

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung *variant*

S = *Standar Deviasi* (simpangan baku)

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

Y_T = Nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu hubungan antara periode ulang T dengan Y_T dapat dilihat pada tabel 2.3 atau dapat dihitung dengan rumus :

$$Y_T = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right]; \text{ untuk } T \geq 20, \text{ maka } Y = \ln T$$

Y_n = Nilai rata-rata dari reduksi variat (*mean of reduce variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) dan dapat dilihat pada tabel 2.1

S_n = Deviasi standar dari reduksi variat (*mean of reduced variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) dan dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.1. Reduced mean (Y_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

Sumber : CD Soemarto, 1999

Tabel 2.2.Reduced Standard Deviation (S_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

Sumber : CD Soemarto, 1999

Tabel 2.3. Reduced Variate (Y_t)

Periode Ulang	Reduced Variate
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

Sumber : CD Soemarto,1999

2. Metode Distribusi Log Pearson III

Metode Log Pearson III apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$Y = \bar{Y} + k.S$$

Di mana :

Y = Nilai logaritmik dari X atau $\ln X$

X = Curah hujan (mm)

- \bar{Y} = Rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y
 S = *Deviasi standar* nilai Y
 k = Karakteristik distribusi peluang Log-Pearson tipe III (dapat di lihat pada tabel 2.4).

Langkah-langkah perhitungan kurva distribusi Log Pearson Tipe III adalah :

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

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

3. Hitung nilai deviasi standarnya dari log X :

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

4. Hitung nilai koefisien kemencengan (CS) :

$$CS = \frac{n \sum (\log(X) - \overline{\log(X)})^3}{(n-1)(n-2)(S \log(X))^3}$$

Sehingga persamaannya dapat ditulis :

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

5. Tentukan anti log dari log X, untuk mendapatkan nilai X yang diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode ulang tertentu sesuai dengan nilai CS-nya. Nilai k dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Harga k untuk Distribusi Log Pearson III

Kemencengan (CS)	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,761	2,000	2,252	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber : Soewarno, 1995

3. Metode Log Normal

Metode Log Normal apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$X = \bar{X} + k.S$$

Di mana :

- X = Nilai yang diharapkan akan terjadi pada periode ulang tertentu.
- \bar{X} = Nilai rata-rata kejadian dari variabel kontinyu X
- S = Deviasi standar variabel kontinyu X.
- k = Karakteristik distribusi peluang log-normal 3 parameter yang merupakan fungsi dari koefisien kemencengan CS (lihat tabel 2.5).

Tabel 2.5. Faktor frekuensi k untuk distribusi log normal 3 parameter.

Koefisien Kemencengan (CS)	Peluang kumulatif (%)					
	50	80	90	95	98	99
	Periode Ulang (tahun)					
	2	5	10	20	50	100
-2,00	0,2366	-0,6144	-1,2437	-1,8916	-2,7943	-3,5196
-1,80	0,2240	-0,6395	-1,2621	-1,8928	-2,7578	-3,4433
-1,60	0,2092	-0,6654	-1,2792	-1,8901	-2,7138	-3,3570
-1,40	0,1920	-0,6920	-1,2943	-1,8827	-2,6615	-3,2601
-1,20	0,1722	-0,7186	-1,3067	-1,8696	-2,6002	-3,1521
-1,00	0,1495	-0,7449	-1,3156	-1,8501	-2,5294	-3,0333
-0,80	0,1241	-0,7700	-1,3201	-1,8235	-2,4492	-2,9043
-0,60	0,0959	-0,7930	-0,3194	-1,7894	-2,3600	-2,7665
-0,40	0,0654	-0,8131	-0,3128	-1,7478	-2,2631	-2,6223
-0,20	0,0332	-0,8296	-0,3002	-1,6993	-2,1602	-2,4745
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,20	-0,0332	0,8996	0,3002	1,5993	2,1602	2,4745
0,40	-0,0654	0,8131	0,3128	1,7478	2,2631	2,6223
0,60	-0,0959	0,7930	0,3194	1,7894	2,3600	2,7665
0,80	-0,1241	0,7700	1,3201	1,8235	2,4492	2,9043
1,00	-0,1495	0,7449	1,3156	1,8501	2,5294	3,0333
1,20	-0,1722	0,7186	1,30567	1,8696	2,6002	3,1521

1,40	-0,1920	0,6920	1,2943	1,8827	2,6615	3,2601
1,60	-0,2092	0,6654	1,2792	1,8901	2,7138	3,3570
1,80	-0,2240	0,6395	1,2621	1,8928	2,7578	3,4433
2,00	-0,2366	0,6144	1,2437	1,8916	2,7943	3,5196

Sumber : Soewarno, 1995

2.2.3. Uji Keselarasan

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis keselarasan (*Goodnes of Fit Test*), yaitu uji keselarasan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorof*. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

1. Uji keselarasan *chi square*

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai *chi square* (f^2) dengan nilai *chi square* kritis (f^2_{cr}).

Rumus :

$$f^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i}$$

Di mana :

- f^2 = Harga *chi square*
- O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-1.
- E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-1.

Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *chi square* kritis (didapat dari *tabel 2.6*) paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Dk = n - 3$$

Bab II Tinjauan Pustaka

Di mana :

Dk = Derajat kebebasan

n = Banyaknya jumlah kelas

Tabel 2.6. Nilai kritis untuk distribusi Chi-Square

Dk	α derajat kepercayaan							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Sumber : Soewarno, 1995

2. Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorof*

Pengujian kecocokan sebaran dengan metode ini dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan (Δ) tertentu. Perbedaan maksimum yang dihitung (Δ_{maks}) dibandingkan dengan perbedaan kritis (Δ_{cr}) untuk suatu derajat nyata dan banyaknya variat tertentu, maka sebaran sesuai jika (Δ_{maks}) < (Δ_{cr}).

Rumus :

$$\alpha = \frac{P_{\max} - P_{(xi)}}{P_{(x)} \Delta_{Cr}}$$

Tabel 2.7. Nilai delta maksimum untuk uji keselarasan *Smirnov Kolmogorof*

N	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	1,07/n	1,22/n	1,36/n	1,63/n

Sumber : Soewarno, 1995

2.2.4. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Untuk menentukan Debit Banjir Rencana (*Design Flood*), perlu didapatkan harga suatu Intensitas Curah Hujan terutama bila digunakan metoda rational. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

Bab II Tinjauan Pustaka

Untuk menghitung intensitas curah hujan, dapat digunakan beberapa rumus empiris sebagai berikut (*CD Soemarto, 1999*) :

1. Menurut Dr. Mononobe

Rumus ini digunakan apabila data curah hujan yang tersedia hanya curah hujan harian .

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3}$$

Di mana :

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam).
 R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm).
 t = Lamanya curah hujan (jam).

2. Menurut Sherman

Rumus :

$$I = \frac{a}{t^b}$$

$$\log a = \frac{\sum_{i=1}^n (\log i) \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \sum_{i=1}^n (\log t \cdot \log i) \sum_{i=1}^n (\log t)}{n \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log t) \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (\log i) \sum_{i=1}^n (\log t) - n \sum_{i=1}^n (\log t \cdot \log i)}{n \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log t) \right)^2}$$

Di mana :

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
 t = Lamanya curah hujan (menit)
 a,b = Konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.
 n = Banyaknya pasangan data i dan t

3. Menurut Talbot

Rumus :

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

Di mana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Lamanya curah hujan (menit)

a,b = Konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.

n = Banyaknya pasangan data i dan t

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i.t) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2.t) \sum_{i=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i.t) - n \sum_{j=1}^n (i^2.t)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

4. Menurut Ishiguro

Rumus :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t + b}}$$

Di mana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Lamanya curah hujan (menit)

a,b = Konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran

n = Banyaknya pasangan data i dan t

$$\begin{aligned}
 \text{a} &= \frac{\sum_{j=1}^n (i \cdot \sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot \sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2} \\
 \text{b} &= \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i \cdot \sqrt{t}) - n \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot \sqrt{t})}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}
 \end{aligned}$$

2.2.5. Debit Banjir Rencana

Dalam perencanaan bendungan diperlukan suatu analisis hidrologi untuk memprediksi debit banjir rencana yang dipakai sebagai dasar perhitungan untuk menentukan bentuk dan penampang sungai beserta bangunan pelengkapannya. Secara umum debit banjir suatu sungai dapat diperhitungkan secara langsung.

1. Metode Der Weduwen

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

$$\alpha = \frac{1 - 4,1}{\beta \cdot q_n + 7}$$

$$\beta = \frac{120 + ((t + 1)/(t + 9)) \cdot A}{120 + A}$$

$$q_n = \frac{R_n}{240} \times \frac{67,65}{t + 1,45}$$

$$t = 0,25 \times L \times Q^{-0,25} \times I^{-0,25}$$

Di mana :

Q_n = Debit banjir (m^3/dtk) dengan periode ulang n tahun.

R_n = Curah hujan maksimum harian (mm/hari) dengan periode ulang n tahun.

α = Koefisien limpasan air hujan

β = Koefisien pengurangan luas untuk curah hujan di daerah aliran sungai.

- q_n = Luasan curah hujan ($m^3/detik/km^2$) dengan periode ulang n tahun
 A = Luas daerah aliran (km^2).
 t = Lamanya hujan (jam).
 L = Panjang sungai (km).
 I = Kemiringan sungai.

2. Metode Rasional

Metode ini dipakai apabila yang tersedia data hujan dan karakteristik daerah pengaliran sungai. Metode ini menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besarnya curah hujan. Persamaan yang digunakan adalah :

$$Q = \frac{\alpha \times r \times f}{3,60}$$

Di mana :

- Q = Debit banjir puncak ($m^3/detik$).
 α = Koefisien *Run off*
 r = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam).
 f = Luas daerah pengaliran (km^2)

Untuk menghitung waktu konsentrasi waktu digunakan rumus :

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

Di mana :

- t = Waktu konsentrasi (jam).
 R = Hujan sehari (mm)
 r = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam).

$$V = 72 \times \left(\frac{H}{L} \right)^{0,60}$$

Di mana :

- V = Kecepatan aliran (m/detik)
 H = Beda tinggi (m)
 L = Panjang sungai (m).

3. Metode Haspers

Rumus :

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

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 \cdot A^{0,70}}{1 + 0,075 \cdot A^{0,70}}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,70 \cdot 10^{-0,40t}}{t^2 + 15} \cdot \frac{A^{0,75}}{12}$$

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

$$t = 0,10 \cdot L^{0,80} \cdot i^{-0,30}$$

$$R_n = \frac{t \cdot R_t}{t + 1}$$

Di mana :

Q_n = Debit banjir rencana periode ulang T tahun (m^3/det).

R_n = Curah hujan harian maksimum rencana periode ulang T tahun ($mm/hari$)

α = Koefisien limpasan air hujan (*run off*)

β = Koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = Curah hujan ($m^3/det \cdot km^2$)

A = Luas daerah aliran sungai (DAS) (km^2)

t = Lamanya curah hujan (jam) yaitu pada saat-saat kritis curah hujan yang mengacu pada terjadinya debit puncak, tidak sama dengan waktu konsentrasi Melchior

L = Panjang sungai (km)

i = Kemiringan dasar sungai.

4. Metode Manual Jawa Sumatra.

Pada tahun 1982-1983 IOH (*Institute of Hidrology*), Wallingford, Oxon, Inggris bersama-sama dengan DPMA (Direktorat Penyelidikan Masalah Air) DPU, telah melaksanakan penelitian untuk menghitung debit puncak banjir. Perhitungan debit puncak banjir yang diharapkan terjadi pada peluang atau

Bab II Tinjauan Pustaka

periode ulang tertentu berdasarkan ketersediaan data debit banjir dengan cara analisis statistik untuk Jawa dan Sumatra. Perkiraan debit puncak banjir tahunan rata-rata, berdasarkan ketersediaan data dari suatu DPS, dengan ketentuan :

- 1). Apabila tersedia data debit, minimal 10 tahun data runtut waktu maka, MAF dihitung berdasarkan data serial debit puncak banjir tahunan.
- 2). Apabila tersedia data debit kurang dari 10 tahun data runtut waktu, maka MAF dihitung berdasarkan metode puncak banjir di atas ambang (*Peak over a threshold = POT*).
- 3). Apabila dari DPS tersebut, belum tersedia data debit, maka MAF ditentukan dengan persamaan regresi, berdasarkan data luas DPS (AREA), rata-rata tahunan dari curah hujan terbesar dalam satu hari (APBAR), kemiringan sungai (SIMS), dan indek dari luas genangan seperti luas danau, genangan air, waduk (LAKE).

Memperkirakan MAF :

Perhitungan debit puncak banjir tahunan rata-rata (MAF) dapat dilakukan dengan 3 (tiga) metode (Soewarno, 1995) yaitu :

- a. Serial data (*data series*).
- b. POT (*peaks over threshold series*).
- c. Persamaan regresi (*regression equation*)

a. Metode Serial Data.

Dalam penerapan metode serial data, untuk memperkirakan debit puncak banjir tahunan rata-rata, dilaksanakan dengan mengumpulkan data debit puncak banjir terbesar setiap satu tahun, di mana penelitian dilaksanakan minimal 10 tahun. Dalam metode serial data, perhitungan MAF dapat dilaksanakan dengan 2 cara, tergantung terdapat tidaknya nilai debit puncak banjir yang terlalu besar, yaitu :

- 1). Apabila $XR = \frac{X_{\max}}{X_{\text{med}}} < 3,0$

$$\text{Maka : } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$S_x = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$2). \text{ Apabila } XR = \frac{X_{\max}}{X_{\text{med}}} \geq 3,0$$

$$\text{Maka : } \bar{X} = 1.06 X_{\text{med}}$$

Di mana :

XR = Nilai debit puncak banjir (m^3/dtk)

X_{mak} = Debit puncak banjir terbesar selama periode pengamatan (m^3/dtk)

X_{med} = Median debit puncak banjir terbesar (m^3/dtk).

\bar{X} = Debit puncak banjir tahunan rata-rata (m^3/dtk).

S_x = *Deviasi standar* MAF.

n = Jumlah data / lama periode pengamatan

Untuk memperkirakan besarnya debit puncak banjir yang dapat diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode ulang tertentu, maka didapat dengan cara mengkalikan MAF dengan besarnya faktor pembesar yang merupakan fungsi dari besarnya periode ulang T dan Luas DPS.

Besarnya debit puncak banjir pada periode ulang tertentu dapat dihitung dengan model matematik :

$$X_T = C \cdot \bar{X}$$

$$S_{XT} = X_T \left(\left(\frac{S_C}{C} \right)^2 + \left(\frac{S_X}{\bar{X}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$SC = 0.16(\log T)(C)$$

$$S_x = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Di mana :

X_T = Debit puncak banjir pada periode ulang tahun T (m^3/dtk).

C = Faktor pembesar (lihat tabel 2.10).

\bar{X} = Debit puncak banjir tahunan rata-rata (m^3/dtk).

n = Jumlah data.

S_{X_T} = *Deviasi standar* X_T .

S_C = *Deviasi standar* C .

S_x = *Deviasi standar* dari \bar{X} .

Tabel 2.8. Nilai Faktor Pembesar (C)

Periode Ulang T	Variasi Reduksi Y	Luas DPS (km ²)					
		<180	300	600	900	1200	>1500
5	1,50	1,28	1,27	1,24	1,22	1,19	1,17
10	2,25	1,56	1,54	1,48	1,44	1,41	1,37
20	2,97	1,88	1,84	1,75	1,70	1,64	1,59
50	3,90	2,35	2,30	2,18	2,10	2,03	1,96
100	4,60	2,78	2,72	2,57	2,47	2,37	2,27
200	5,30	3,27	3,20	3,01	2,89	3,78	2,66
500	6,21	4,01	3,92	3,70	3,56	3,41	3,27
1000	6,91	4,68	4,58	4,32	4,16	4,01	3,85

Sumber : Soewarno 1995.

b. Metode POT.

Apabila pengamatan data debit kurang dari 10 tahun data, umumnya kurang teliti untuk memperkirakan nilai MAF oleh karena itu disarankan memperhatikan MAF dengan metode puncak banjir diatas ambang (POT). Metode POT disarankan tidak digunakan apabila lama pengamatan data debit kurang dari 2 tahun.

Setiap tahun data dipilih puncak banjir sebanyak 2 sampai 5 buah. Data debit selama tahun pengamatan ditentukan nilai batas ambangnya (q_0) dan selanjutnya ditentukan nilai debit puncak banjir yang lebih besar dari (q_0).

Pemilihan nilai (q_0), dapat ditentukan dari grafik hidrograf muka air yang terekam dalam grafik tinggi muka air otomatis (AWLR). Berdasarkan nilai (q_0) yang ditentukan dari tinggi muka air AWLR, maka dengan bantuan lengkung debit dapat diperkirakan nilai debit yang besarnya lebih besar dari (q_0).

Debit banjir tahunan rata-rata dengan metode POT, dapat diperkirakan dengan persamaan model matematik sebagai berikut :

$$\bar{X} = X_0 + B(0.5772 + \ln A)$$

$$B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_i - X_0)$$

$$A = \frac{m}{n}$$

$$S_x = 1,1 \frac{B}{\sqrt{n}} \text{ (bila } m \geq 3 \text{ pertahun)}$$

$$S_x = \frac{B}{\sqrt{n}} \left(\frac{1}{A} + \frac{(0.5772 + \ln A)^2}{A} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ (bila } m < 3 \text{ pertahun)}$$

Di mana :

\bar{X} = Debit puncak banjir tahunan rata-rata (MAF) (m^3/dtk).

X_0 = Debit batas ambang (q_0) (m^3/dtk).

B = Rata-rata terlampaui (*mean exceedence*) (m^3/dtk).

X_i = Debit puncak lebih besar dari X_0 (m^3/dtk).

m = Jumlah puncak banjir.

n = Lama tahun pengamatan. (tahun)

S_x = *Deviasi standar* \bar{X} .

A = Jumlah puncak banjir terlampaui (*number of exceedence*) pertahun.

c. Metode Regresi.

Apabila dalam suatu DPS tidak tersedia data debit aliran sungai, maka metode ini dapat digunakan. Parameter yang diperlukan untuk menerapkan metode persamaan regresi ini adalah :

Bab II Tinjauan Pustaka

- 1). Luas Daerah Pengaliran (AREA, km²).
- 2). Rata-rata tahunan dari hujan tahunan terbesar dalam 1 hari (APBAR, mm) seluruh DPS.
- 3). Index kemiringan (SIMS, m/km)
- 4). Index danau (LAKE, proporsi dari DPS, tanpa satuan)

Penentuan Parameter.

1). AREA

Luas DPS ditentukan dari peta topografi dari skala terbesar yang telah tersedia (skala 1:50000).

2). APBAR

Untuk mendapatkan data APBAR (*mean annual maximum catchment 1 day rainfall*), dapat dihitung dari serial data curah hujan terbesar 1 hari, seluruh DPS dengan menghitung rata-ratanya menggunakan metode Isohyet hujan maximum satu titik rata-rata tahunan (PBAR) (*mean annual maximum 1 day point rainfall*). APBAR dihitung dengan rumus :

$$APBAR = PBAR \times ARF$$

Di mana :

APBAR = Rata-rata tahunan dari hujan terbesar dalam 1 hari seluruh DPS.

PBAR = nilai rata-rata tahunan dari curah hujan terbesar 1 hari dari peta Isohyet curah hujan maximum 1 hari yang dibuat data curah hujan terbesar rata-rata tahunan dari setiap pos hujan.

ARF = Faktor reduksi luas yang besarnya tergantung luas DPS

3). SIMS

Nilai SIMS adalah index yang menunjukkan besarnya kemiringan alur sungai, dihitung dengan rumus :

$$SIMS = \frac{h}{MSL}$$

Di mana :

h = Beda tinggi titik tertinggi dengan titik ketinggian lokasi yang diteliti (m).

MSL = Panjang alur sungai utama (km).

4). LAKE

Nilai parameter LAKE harus berada $0 = \text{Lake} \leq 0,25$.

Lake indek dihitung dengan rumus :

$$\text{LAKE} = \frac{\text{Luas DPS sebelah hulu LAKE}}{\text{Luas DPS}}$$

Penggunaan Persamaan Regresi.

Penentuan MAF, dengan membuat hubungan MAF dan parameter DPS.

Model matematik yang digunakan adalah :

$$\bar{X} = a + bX_1 + cX_2 + \dots$$

$$\bar{X} = \text{MAF}$$

X_1, X_2, \dots = Variabel bebas; parameter DPS

Apabila semua variabel ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma, maka persamaannya menjadi :

$$\text{Log } \bar{X} = A + B \log X_1 + C \log X_2 + \dots$$

Atau dapat dinyatakan sebagai model matematik :

$$\bar{X} = 10^A X_1^B X_2^C$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka untuk menentukan MAF di pulau Jawa dan Sumatra, berdasarkan 4 parameter DPS : AREA, APBAR, SIMS, dan LAKE telah diperoleh persamaan regresi, dengan model matematik :

$$\bar{X} = (8)(10^6)(\text{AREA})^V(\text{APBAR})^{2.445}(\text{SIMS})^{0.117}(1+\text{LAKE})^{-0.85}$$

Nilai V dapat dihitung sebagai fungsi dari luas DPS, yaitu :

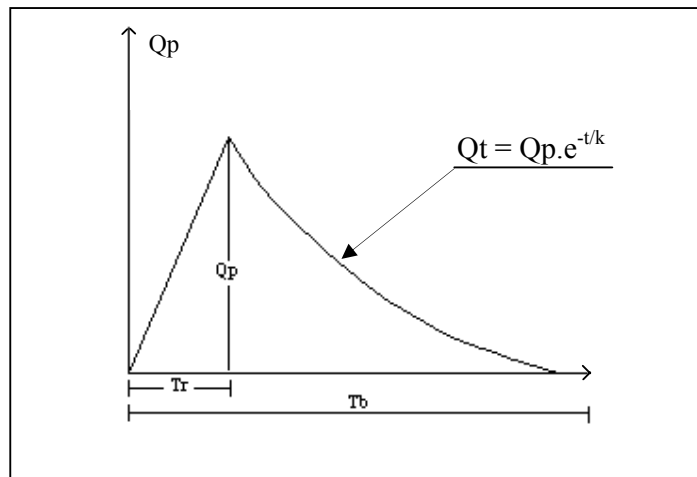
$$V = 1,02 - 0,0275 \log \text{AREA}$$

d. Metode Analisis Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I.

Cara ini dipakai sebagai upaya untuk memperoleh *hidrograf* satuan suatu DAS yang belum pernah diukur. Dengan pengertian lain tidak tersedia data pengukuran debit maupun data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) pada suatu tempat tertentu dalam sebuah DAS (tidak ada stasiun hidrometer).

Hidrograf satuan sintetik secara sederhana dapat disajikan empat sifat dasarnya yang masing-masing disampaikan sebagai berikut :

- 1). Waktu naik (*Time of Rise, TR*), yaitu waktu yang diukur dari saat *hidrograf* mulai naik sampai saat terjadinya debit puncak.
- 2). Debit puncak (*Peak Discharge, Qp*).
- 3). Waktu dasar (*Base Time, TB*), yaitu waktu yang diukur dari saat *hidrograf* mulai naik sampai berakhirnya limpasan langsung atau debit sama dengan nol.
- 4). Koefisien tampungan (*Storage Coefficient*) yang menunjukkan kemampuan DAS dalam fungsinya sebagai tampungan air.



Gambar 2.3 Sketsa hidrograf satuan sintetis

Sisi naik *hidrograf* satuan diperhitungkan sebagai garis lurus sedang sisi resesi (*recession climb*) *hidrograf* satuan disajikan dalam persamaan *exponensial* berikut :

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-t/k}$$

Di mana :

Q_t = Debit yang diukur dalam jam ke-t sesudah debit puncak dalam (m^3/det).

Q_p = Debit puncak dalam (m^3/det).

t = Waktu yang diukur dari saat terjadinya debit puncak (jam).

k = Koefisien tumpungan dalam jam.

a. Waktu capai puncak

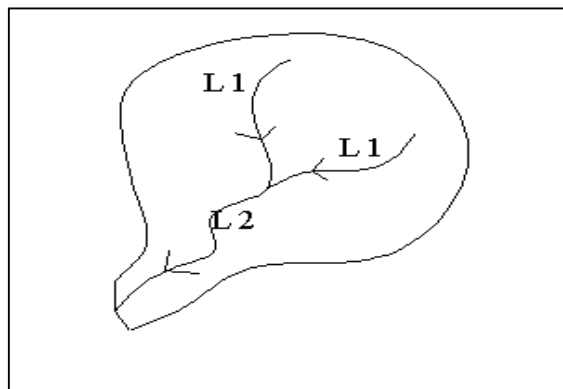
$$T_R = 0,43 \times \left[\frac{L}{100.SF} \right]^3 + 1,06665.SIM + 1,2775$$

Di mana :

T_R = Waktu naik (jam)

L = Panjang sungai (km)

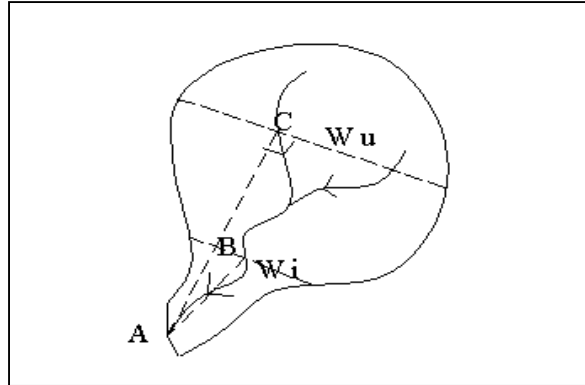
SF = Faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah semua panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah semua panjang sungai semua tingkat.



Gambar 2.4 Sketsa penetapan panjang dan tingkat sungai

$$SF = (L_1 + L_1) / (L_1 + L_1 + L_2).$$

SIM = Faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA).



Gambar 2.5 Sketsa penetapan WF

$$A-B = 0,25 L$$

$$A-C = 0,75 L$$

$$WF = W_u / W_i$$

b. Debit puncak

$$Q_p = 0,1836 \cdot A^{0,5886} \cdot T_R^{-0,0986} \cdot JN^{0,2381}$$

Di mana :

- Q_p = Debit puncak (m^3/det).
 A = Luas DPS (km^2)
 T_R = Waktu naik (jam)
 JN = Jumlah pertemuan sungai.

c. Waktu dasar

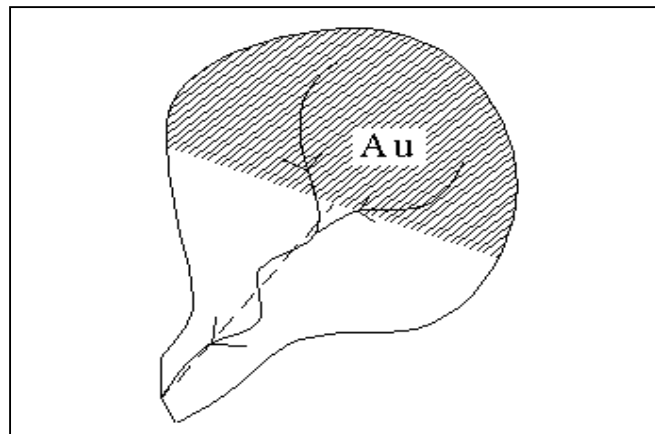
$$T_B = 27,4132 \cdot T_R^{0,1457} \cdot S^{-0,0986} \cdot SN^{0,7344} \cdot RUA^{0,2574}$$

Di mana :

- T_B = Waktu dasar (jam)
 S = Landai sungai rata-rata

Bab II Tinjauan Pustaka

- SN = Frekuensi sumber yaitu perbandingan antara jumlah segmen sungai-sungai tingkat 1 dengan jumlah segmen sungai semua tingkat
- RUA = Perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun pengukuran dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS melewati titik tersebut dengan luas DAS total



Gambar 2.6 Sketsa penetapan RUA

$$RUA = Au / A$$

d. Φ indeks

Penetapan hujan efektif untuk memperoleh *hidrograf* dilakukan dengan menggunakan indeks-infiltrasi. Untuk memperoleh indeks ini agak sulit, untuk itu dipergunakan pendekatan dengan mengikuti petunjuk Barnes (1959). Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologi dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks infiltrasi. Persamaan pendekatannya adalah sebagai berikut :

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} (A/SN)^4$$

e. Aliran dasar

Untuk memperkirakan aliran dasar digunakan persamaan pendekatan berikut ini. Persamaan ini merupakan pendekatan untuk aliran dasar yang tetap,

Bab II Tinjauan Pustaka

dengan memperhatikan pendekatan *Kraijenhoff Van Der Leur (1967)* tentang *hidrograf* air tanah :

$$Q_b = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430}$$

Di mana :

Q_b = Aliran dasar (m^3/dtk).

A = Luas DAS (km^2)

D = Kerapatan jaringan kuras (*drainage density*)/indeks kerapatan sungai yaitu perbandingan jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi dengan luas DAS.

f. Faktor tampungan

$$k = 0,5617 \cdot A^{0,1798} \cdot S^{-0,1446} \cdot SF^{-1,0897} \cdot D^{0,0452}$$

Di mana :

k = koefisien tampungan.

2.2.6. Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Penelusuran banjir dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik *hidrograf outflow*/keluaran, yang sangat diperlukan dalam pengendalian banjir. Perubahan *hidrograf* banjir antara *inflow* (I) dan *outflow* (O) karena adanya faktor tampungan atau adanya penampang sungai yang tidak seragam atau akibat adanya meander sungai. Jadi penelusuran banjir ada dua, untuk mengetahui perubahan *inflow* dan *outflow* pada waduk dan *inflow* pada satu titik dengan suatu titik di tempat lain pada sungai.

Perubahan *inflow* dan *outflow* akibat adanya tampungan. Maka pada suatu waduk terdapat *inflow* banjir (I) akibat adanya banjir dan *outflow* (O) apabila muka air waduk naik, di atas *spillway* (terdapat limpasan).

$I > O$ tampungan waduk naik Elevasi muka air waduk naik.

$I < O$ tampungan waduk turun Elevasi muka waduk turun.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada penelusuran banjir berlaku persamaan kontinuitas.

$$I - O = \Delta S$$

ΔS = Perubahan tampungan air di waduk

Persamaan kontinuitas pada periode $\Delta t = t_1 - t_2$ adalah :

$$\left[\frac{I1 + I2}{2} \right] * \Delta t - \left[\frac{O1 + O2}{2} \right] * \Delta t = S2 - S1$$

Misalnya penelusuran banjir pada waduk, maka langkah yang diperlukan adalah :

- 1) Menentukan *hidrograf inflow* sesuai skala perencanaan.
- 2) Menyiapkan data hubungan antara volume dan area waduk dengan elevasi waduk
- 3) Menentukan atau menghitung debit limpasan *spillway* waduk pada setiap ketinggian air diatas *spillway* dan dibuat dalam grafik
- 4) Ditentukan kondisi awal waduk (muka air waduk) pada saat dimulai *routing*. Hal ini diperhitungkan terhadap kondisi yang paling bahaya dalam rangka pengendalian banjir.
- 5) Menentukan periode waktu peninjauan t_1, t_2, \dots , dst, semakin periode waktu (t_2-t_1) semakin kecil adalah baik.
- 6) Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan tabel, seperti contoh di bawah (dengan cara analisis langkah demi langkah).

Tabel 2.9. Contoh Tabel Flood routing Dengan Step By Step Method

Waktu ke:	t	I Inflow	I _r Rata ²	Volume I _r *t	Asumsi el. Waduk	O outflow	O _r rata ²	Vol O _r *t	S Storage	Kumulatif Storage x 10 ³	Elv. M.a. Waduk
1		1			70	0				1000	70
	60		2	720			1	3600	3600		
2		3			71,2	2				1003.6	71.1
dst											

Sumber: Kodoatie dan Sugiyanto, 2000)

2.3. IRIGASI

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk tumbuh secara normal. Selanjutnya diteliti apakah jumlah air yang ada mampu menyediakan jumlah air yang dibutuhkan untuk mengairi seluruh areal irigasi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air :

1. Kebutuhan air irigasi

Pemberian air dari bendung dengan pertimbangan debit serta luas areal daerah oncoran dengan menggunakan suatu golongan sistem pemberian air agar penggunaan dan pembagian air lebih efisien, efektif dan merata.

2. Evapotranspirasi (penguapan)

Menggunakan metode Penman, data klimatologi.

3. Data curah hujan efektif.

Data curah hujan yang digunakan adalah stasiun pengamatan di daerah sekitar bendung.

4. Pola tanaman

Pola tanaman di daerah sekitar bendung adalah tanaman padi.

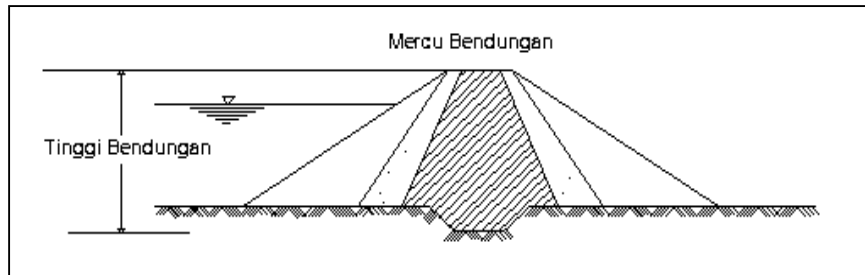
2.4. PERENCANAAN BENDUNGAN

2.4.1. Perencanaan Tubuh Bendungan

Beberapa istilah penting mengenai tubuh bendungan :

1. **Tinggi Bendungan.**

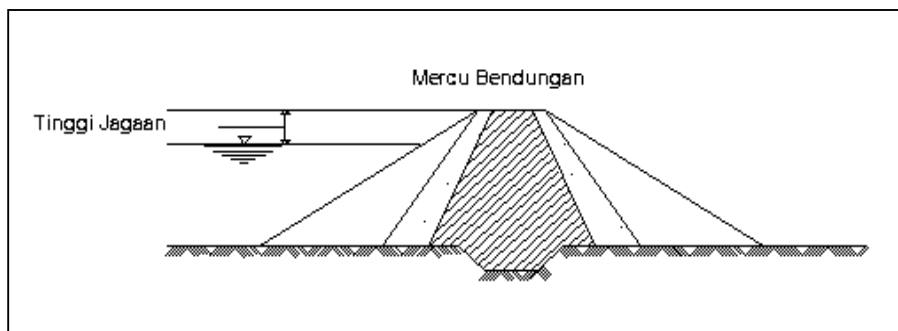
Tinggi bendungan adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu bendungan. Bila pada bendungan dasar dinding kedap air atau zona kedap air, maka yang dianggap permukaan pondasi adalah garis perpotongan antara bidang vertikal yang melalui hulu mercu bendungan dengan permukaan pondasi alas bendungan tersebut.



Gambar 2.7. Tinggi Bendungan

2. Tinggi Jagaan (*free board*)

Tinggi jagaan adalah perbedaan antara elevasi permukaan maksimum rencana air dalam waduk dan elevasi mercu bendungan. Elevasi permukaan air maksimum rencana biasanya merupakan elevasi banjir rencana waduk.



Gambar 2.8. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono, 1989) :

$$H_f \geq \Delta h + (h_w \text{ atau } \frac{h_e}{2}) + h_a + h_i$$

$$H_f \geq \Delta h + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i$$

Di mana :

H_f = Tinggi jagaan (m).

Δh = Tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk yang terjadi akibat timbulnya banjir abnormal (m).

h_w = Tinggi ombak akibat tiupan angin (m).

- h_e = Tinggi ombak akibat gempa (m).
 h_a = Tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk, apabila terjadi kemacetan-kemacetan pada pintu bangunan pelimpah (m).
 h_i = Tinggi tambahan yang didasarkan pada tingkat urgensi dari waduk (m).

Tinggi kenaikan permukaan air yang disebabkan oleh banjir abnormal (Δh) digunakan rumus :

$$\Delta h = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha Q_0}{Q} \cdot \frac{h}{1 + \frac{A \cdot h}{Q \cdot T}}$$

Di mana :

- Δh = Tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk yang terjadi akibat timbulnya banjir abnormal (m).
 Q_0 = Debit banjir rencana (m^3/dtk).
 Q = Kapasitas rencana (m^3/dtk).
 α = 0,2 untuk bangunan pelimpah terbuka.
 α = 1,0 untuk bangunan pelimpah tertutup
 T = Durasi terjadinya banjir *abnormal* (biasanya antara 1 s/d 3 jam)
 h = Kedalaman pelimpah rencana (m)
 A = Luas permukaan air waduk pada elevasi banjir rencana (m^2).

Tinggi ombak yang disebabkan oleh gempa (h_e)

$$h_e = \frac{e \cdot \tau}{\pi} \sqrt{g \cdot h_0}$$

Di mana :

- e = Intensitas *seismis* horizontal.
 τ = Siklus *seismis* (detik)
 h_0 = Kedalaman air di dalam waduk (m)
 g = Gravitasi bumi (m/dtk)

Kenaikan permukaan air waduk yang disebabkan oleh ketidak normalan operasi pintu bangunan (h_a). Sebagai standar biasanya diambil $h_a = 0,5$ m. Angka tambahan tinggi jagaan yang didasarkan pada tipe bendungan (h_i).

Mengingat limpasan melalui mercu bendungan urugan sangat berbahaya maka untuk bendungan tipe ini angka tambahan tinggi jagaan (h_i) ditentukan sebesar 1,0 m ($h_i = 1,0$ m). Apabila didasarkan pada tinggi bendungan yang direncanakan, maka standar tinggi jagaan bendungan urugan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.10. Standar tinggi jagaan bendungan urugan

Lebih rendah dari 50 m	$H_f \geq 2$ m
Dengan tinggi antara 50-100 m	$H_f \geq 3$ m
Lebih tinggi dari 100 m	$H_f \geq 3,5$ m

3. Lebar Mercu Bendungan

Lebar mercu bendungan yang memadai diperlukan agar puncak bendungan dapat tahan terhadap hempasan ombak dan dapat tahan terhadap aliran filtrasi yang melalui puncak tubuh bendungan. Di samping itu, pada penentuan lebar mercu perlu diperhatikan kegunaannya sebagai jalan inspeksi dan pemeliharaan bendungan. Penentuan lebar mercu dirumuskan sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono, 1989) :

$$b = 3,6 H^{1/3} - 3$$

Di mana :

b = Lebar mercu (m)

H = Tinggi bendungan (m)

4. Panjang Bendungan

Yang dimaksud dengan panjang bendungan adalah seluruh panjang mercu bendungan yang bersangkutan, termasuk bagian yang digali pada tebing-tebing sungai di kedua ujung mercu tersebut. Apabila bangunan pelimpah atau bangunan

penyadap terdapat pada ujung-ujung mercu, maka lebar bangunan-bangunan pelimpah tersebut diperhitungkan pula dalam menentukan panjang bendungan.

5. Volume Bendungan

Seluruh jumlah volume konstruksi yang dibuat dalam rangka pembangunan tubuh bendungan termasuk semua bangunan pelengkap dianggap sebagai volume bendungan.

6. Kemiringan Lereng (*slope gradient*)

Kemiringan rata-rata lereng bendungan (lereng hulu dan lereng hilir) adalah perbandingan antara panjang garis vertikal yang melalui tumit masing-masing lereng tersebut. Kemiringan lereng urugan harus ditentukan sedemikian rupa agar stabil terhadap longsoran. Hal ini sangat tergantung pada jenis material urugan yang dipakai.

7. Penimbunan Ekstra (*Extra Banking*)

Sehubungan dengan terjadinya gejala konsolidasi tubuh bendungan, yang prosesnya berjalan lama sesudah pembangunan bendungan tersebut, maka diadakan penimbunan ekstra melebihi tinggi dan volume rencana dengan perhitungan, agar sesudah proses konsolidasi berakhir maka penurunan tinggi dan penyusutan volume akan mendekati tinggi dan volume rencana bendungan.

2.4.2. Stabilitas Terhadap Banjir Rencana

Di dalam perhitungan stabilitas bendungan terhadap banjir rencana ini dengan memperhitungkan debit banjir Q_{1000} terhadap kemampuan kapasitas waduk yang ada, maka didapat ketinggian maksimum air waduk. Dengan hasil perhitungan tersebut maka perlu diperhitungkan tinggi *main dam* yang memenuhi syarat antara lain memperhitungkan tinggi jagaan yang ada.

$$H_f \geq \Delta h + h_w + h_a + h_i$$

Di mana :

$$H_f = \text{Tinggi jagaan (m)}$$

- Δh = Tinggi kemungkinan kenaikan muka air waduk akibat $Q > 1000^{\text{th}}$
 hw = Tinggi ombak akibat tiupan angin (diambil = 0,25 m).
 ha = Kenaikan permukaan air waduk apabila terjadi kemacetan pintu pengelak = 0,30 m
 hi = Tinggi tambahan yang didasarkan pada tingkat urgensi pada waduk = 0,75 m.

2.4.3. Stabilitas Terhadap Gelincir

Kontrol ini diperhitungkan pada waktu air bendungan maximum. Tinggi bendungan diperhitungkan dalam kondisi paling kritis. Dari hasil perhitungan lebar dasar bendungan dan panjang lereng bendungan (x) akan didapat penampang bendungan yang ada dengan menggunakan persamaan pythagoras. Sedangkan tinjauan pemeriksaan pada bendungan Ketro diperhitungkan pada tiga kondisi yaitu :

1. Kondisi muka air pada saat keadaan kosong.
2. Kondisi muka air pada saat keadaan banjir.
3. Kondisi muka air pada saat muka air turun mendadak.

2.4.4. Stabilitas Terhadap Rembesan

Type urugan tanah sering dimungkinkan adanya rembesan sehingga bisa mengakibatkan terjadinya gejala longsoran baik pada lereng hulu maupun lereng hilir bendungan. yang disebabkan kurang memadainya stabilitas lereng.

$$a + \Delta a = \frac{Y_o}{1 - \cos \alpha}$$

Debit rembesan

$$q = k \times h \frac{Nf}{Nd}$$

Di mana :

- q = Besarnya debit rembesan (m^3/hari)
 k = Nilai permeabilitas
 Nf = 1
 Nd = 3

h = Tinggi bendungan (m).

2.4.5. Stabilitas Terhadap Sliding

Untuk mengetahui stabilitas lereng bendungan terhadap kemungkinan adanya sliding maka, perlu dihitung keamanannya. Perhitungan sliding memakai dua metode yaitu :

1. Perhitungan stabilitas lereng dengan metode irisan bidang luncur.

$$F_s = \frac{C \times L + tg \Phi \cdot \sum N}{\sum T}$$

Di mana :

F_s = Faktor keamanan

N = Beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur (t/m^3).

N = $W \cdot \cos \alpha$ (t/m^3).

α = Sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur ($...^\circ$)

T = Beban komponen tangensial yang timbul dari berat sendiri irisan bidang luncur (t/m^3).

T = $W \cdot \sin \alpha$ (t/m^3).

Φ = Sudut geser dalam ($...^\circ$)

C = Angka kohesi bahan.

2. Perhitungan stabilitas lereng dengan metode Wedge.

$$F_s = \frac{C \times L + (W - U) \cdot tg \Phi + Pp}{Pa}$$

Di mana :

F_s = Faktor keamanan

L = Panjang lengkungan (m).

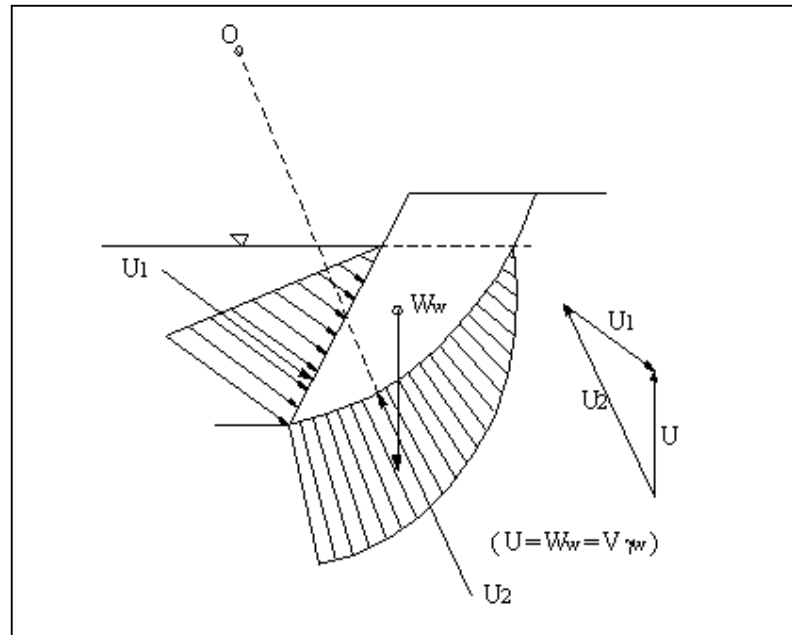
N = $W \cdot \cos \alpha$ (t/m^3).

α = Sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur ($...^\circ$)

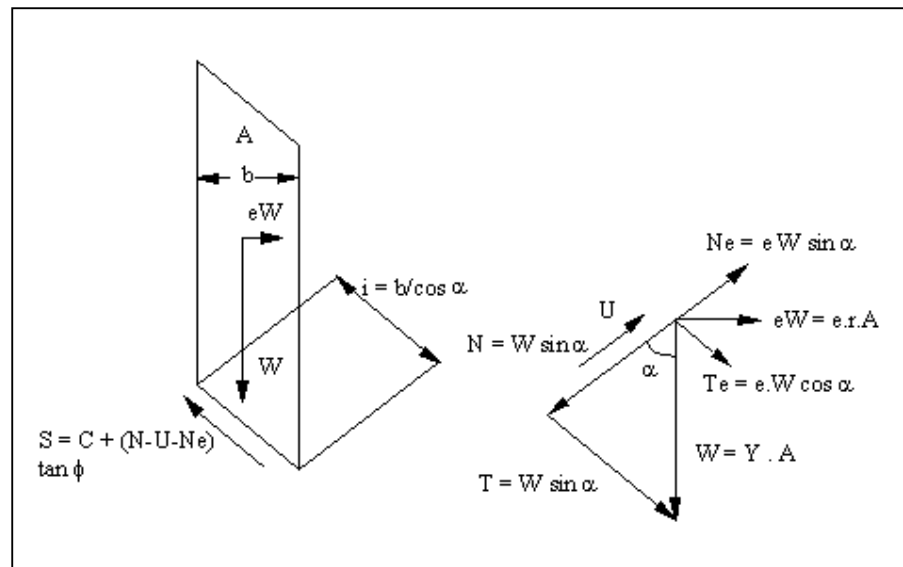
W = Berat tanah yang akan longsor (t/m^3).

Bab II Tinjauan Pustaka

- U = Tekanan air pori yang akan bekerja pada setiap irisan bidang luncur (t/m^3).
 P_p = Tekanan tanah pasif (t/m)
 P_a = Tekanan tanah aktif (t/m)



Gambar 2.9. Uraian gaya hidrostatis yang bekerja ada bidang luncur



Gambar 2.10. Cara menentukan harga-harga N dan T