

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapan yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan taraf muka air sungai atau untuk mendapat tinggi terjun, sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkan. Bendung menurut tipe strukturnya bendung dapat dibedakan menjadi lima, yaitu bendung tetap, bendung gerak, bendung kombinasi, bendung kembang kempis, dan bendung bottom intake. Bendung tetap sendiri diartikan bendung yang terdiri dari ambang tetap, sehingga muka air banjir tidak dapat diatur elevasinya. Dibangun umumnya di sungai sungai ruas hulu dan tengah (Memed dan Mawardi, 2002, hal.2)

Untuk menunjang proses perencanaan bendung maka berbagai teori dan rumus rumus dari berdagai stidi pustaka sangatlah diperlukan, terutama ketika pengolahan data maupun desain evaluasi rencana bangunan air.

2.2 Analisa Hidrologi

Dalam pelaksanaan analisis hidrologi langkah pertama yang yang harus dilakukan adalah pengumpulan berbagai macam data hidrologi. Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai penomena hidrologi (*hydrologic phenomena*). Data hidrologi merupakan bahan informasi yang sangat penting dalam pelaksanaan inventarisasi potensi sumber-sumber air, pemanfaatan dan pengelolaan sumber-sumber air yang tepat dan rehabilitasi sumber-sumber alam seperti air, tanah dan hutan yang telah rusak (Soewarno, 1995).

Analisis data hidrologi ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik hidrologi daerah aliran bendung yang akan digunakan sebagai dasar analisis dalam pekerjaan detail desain.

Analisis hidrologi meliputi :

- a. Analisis curah hujan harian maksimum
 - Curah hujan area
 - Analisis curah hujan rencana

- b. Analisis intensitas curah hujan
- c. Analisis debit banjir rencana
- d. Analisis debit andalan (*F. J. Mock*)
- e. Analisis sedimen (*USLE*)
- f. Kebutuhan Air

2.2.1. Analisis Curah Hujan Harian Maksimum

Curah hujan yang diperlukan untuk acuan dalam perencanaan bangunan air adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (*point rainfall*) (Sosrodarsono dan Takeda, 1976). Curah hujan wilayah ini dapat diperhitungkan dengan cara :

Metode Polygon Thiessen

Jika titik-titik pengamatan di dalam daerah tidak tersebar merata, maka cara perhitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan. Curah hujan daerah itu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

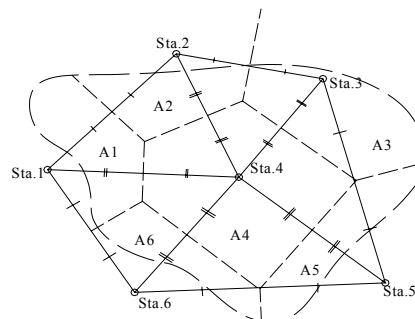
$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (\text{Sosrodarsono, 2003})$$

Di mana :

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

$R_1, R_2, \dots, R_n$ = Curah hujan pada stasiun 1, 2, ..., n (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$ = Luas daerah pada polygon 1, 2, ..., n (Km^2)



Gambar 2.1 Metode Polygon Thiessen

Hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah sebagai berikut :

- Jumlah stasiun pengamatan minimal tiga buah stasiun.
- Penambahan stasiun akan mengubah seluruh jaringan
- Topografi daerah tidak diperhitungkan
- Stasiun hujan tidak tersebar merata

2.2.2. Jenis Sebaran/distribusi

Dalam analisis frekuensi terhadap sebaran suatu data seri dikenal beberapa jenis sebaran/distribusi. Sebaran yang dikenal dan sering digunakan dalam perhitungan curah hujan atau debit maksimum al :

- a. Sebaran Normal
- b. Sebaran log Normal
- c. Sebaran log Pearson III
- d. Sebaran Gumbell dll

Untuk memilih jenis sebaran yang cocok terhadap suatu data seri perlu menyelidiki dengan bantuan parameter – parameter statistik.

Dari data hujan yang didapat kemudian diadakan plotting data hujan mengikuti cara Weibull dan Gumbel dengan terlebih dahulu data diurutkan dari kecil kebesar.

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

Di mana :

P = Probabilitas

m = nomor urut

n = jumlah data

Selanjutnya dihitung besaran statistik dari data hujan yang ada yaitu :

- **Harga rerata**

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- **Penyimpangan Standart**

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

- **Koefisien Variasi**

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

- **Koefisien Kemiringan/Skewness**

Koefisien Kemiringan ini merupakan ukuran dari asimetri/kemiringan/skewness atau penyimpangan dari simetri distribusi.

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)(n-3).S^3}$$

- **Koefisien Kurtosis**

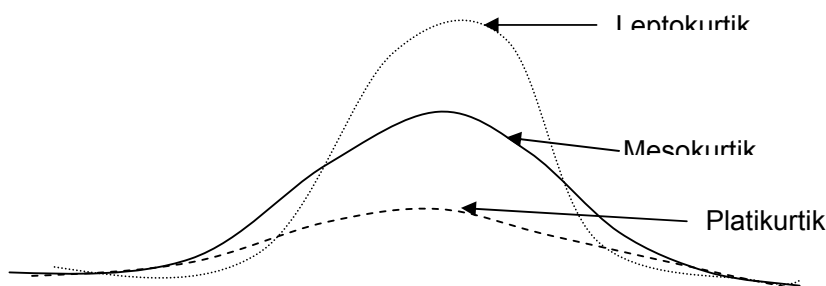
Kurtosis adalah runcing datarnya bentuk kurva yang ditentukan relatif terhadap sebaran normal.

Ada tiga jenis bentuk kurva distribusi yaitu :

1. Distribusi simetris yang mempunyai koefisien kurtosis (C_k) kurang ($<$) dari 3 disebut Platikurtik/puncak tumpul.
2. Distribusi Leptokurtik/puncak lengkung lancip bila koefisien kurtosis (C_k) lebih besar ($>$) 3.
3. Distribusi disebut Mesokurtik bila koefisien kurtosis (C_k) sama dengan ($=$) 3.

Besarnya Koefisien Kurtosis dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3).S^4}$$



Gambar 2.2. Kurva distribusi

Setelah besaran - besaran statistik tersebut di atas didapat, diadakan pemilihan sebaran yang sesuai dengan persyaratan seperti tabel 2.1

Tabel 2.1 Persyaratan Sebaran

No	Jenis Sebaran	Syarat
1	Normal	$C_k=3$, $C_s = 0$
2	Log Normal	$C_s=0$, $C_k = 0$
3	Person III	$C_s>0$. $C_v = 1,5 C_s^3 + 3$
4	Log Pearson III	$C_s>0$, $C_k=1,5 C_s^3 + 3$
5	Gumbell	$C_s \leq 1,1396$ dan $C_k \leq 5,4002$

Pada prinsipnya data seri yang ada tidak dapat memenuhi persis seperti yang disyaratkan untuk masing-masing sebaran sehingga diambil yang paling mendekati.

Penggambaran/Plotting sebaran teoritik data hujan sesuai sebaran yang memenuhi persyaratan:

2.2.2.1. Sebaran/Distribusi Normal

Penggambaran sebaran normal ini memakai kertas probabilitas Normal. Dan untuk dapat memprediksikan sebaran yang sesuai dapat dilakukan dengan menggunakan faktor frekuensi.

Lengkung kekerapan (garis teoritik) dapat dinyatakan dengan rumus ;

$$X_T = \bar{X} + K.S$$

Di mana :

X_T = Besar curah hujan yang disamai atau dilampaui dengan pereode ulang T

$\bar{X}$ = Curah hujan rata-rata

K = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari probabilitas terlampaui.

S = Simpangan baku

Dengan mensubstitusikan nilai $X_T, \bar{X}, K, S$ didapatkan lengkung kekerapan curah hujan dan dapat digambarkan dengan memplot X_T pada sumbu tegak dan $P (X_i \leq X)$ pada sumbu datar.

Tabel 2.2. Faktor frekuensi sebaran normal

Prosentase(%) kemungkinan	K	Prosentase(%) kemungkinan	K
0.1	3.09	50	0.00
0.5	2.58	55	-0.13
1.0	2.33	60	-0.25
2.5	1.96	65	-0.38
5	1.64	70	-0.52
10	1.28	75	-0.67
15	1.04	80	-0.84
20	0.84	85	-1.04
25	0.67	90	-1.28
30	0.52	95	-1.64
35	0.38	97.5	-1.96
40	0.25	99	-2.33
45	0.13	99.5	-2.58
50	0.00	99.9	-3.09

2.2.2.2. Sebaran Log Normal

Sebagaimana sebaran normal, penggambaran sebaran teoritik jenis ini dapat dilakukan dengan dua cara. Dengan menggunakan rumus sebaran Normal di atas dan menggunakan tabel faktor frekuensi yang berlaku pada sebaran log normal.

Tabel 2.3. Faktor Frekuensi Log Normal

	Periode Ulang T tahun					
Cv	2	5	10	20	50	100
0.050	-0.250	0.8334	1.2965	1.6863	2.1341	2.4370
0.100	-0.0496	0.8222	1.3078	1.7247	2.2130	2.5489
0.150	-0.0738	0.8085	1.3156	1.7598	2.2899	2.6607
0.200	-0.0971	0.7926	1.3200	1.7911	2.3640	2.7716
0.250	-0.1194	0.7748	1.3209	1.8183	2.4348	2.8805
0.300	-0.1406	0.7547	1.3183	1.8414	2.5316	2.9866
0.350	-0.1604	0.7333	1.3126	1.8602	2.5638	3.0890
0.400	-0.1788	0.7100	1.3037	1.8746	2.6212	3.1870
0.450	-0.1957	0.6870	1.2920	1.8848	2.6734	3.2109
0.500	-0.2111	0.6626	1.2778	1.8909	2.7202	3.3673

0.550	-0.2251	0.6129	1.2513	1.8931	2.7615	3.4488
0.600	-0.2375	0.5879	1.2428	1.8916	2.7974	3.5241
0.650	-0.2485	0.5879	1.2226	1.8866	2.8279	3.5930
0.700	-0.2582	0.5631	1.2011	1.8786	2.8532	3.6568
0.750	-0.2667	0.5387	1.1784	1.8577	2.8735	3.7118
0.800	-0.2739	0.5148	1.1548	1.8543	2.8891	3.7617
0.850	-0.2801	0.4914	1.1306	1.8388	2.9002	3.8056
0.900	-0.2852	0.4886	1.1060	1.8212	2.9071	3.8437
0.950	-0.2895	0.4466	1.0810	1.8021	2.9102	3.8762
1.000	-0.2929	0.4254	1.0560	1.7815	2.9098	3.9036

2.2.2.3. Sebaran Log Pearson III

Untuk menghitung banjir rencana, the Hidrologi Committee of the Water Resources Council, USA menganjurkan, pertama kali mentransformasikan data ke harga-harga logaritmanya, kemudian menghitung parameter-parameter statistiknya.

Rumus Umum yang dipakai adalah :

$$\text{Ln}X_T = \text{Ln}X_r + K \cdot S \cdot \text{Ln}X$$

Dimana :

$\text{Ln}X_T$ = Logaritma natural dari curah hujan dalam kala ulang T tahun

$$\text{Ln}X_r = \text{Harga rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n}$$

K = Faktor frekuensi untuk sebaran log Pearson III

$$S \cdot \text{Ln}X = \text{Standart deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln X_i - \ln X_r)^2}{n - 1}}$$

Tabel 2.4. Faktor K untuk Cs>0

Asimetri	Periode Ulang										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.250	2	5	10	25	50	100	200
3.0	-0.667	-0.665	-0.666	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.054	4.976
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.651	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.012	4.909
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.769	-0.736	-0.725	-0.681	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.799	-0.762	-0.747	-0.696	-0.368	0.499	1.236	2.267	3.072	3.889	4.718
2.5	-0.812	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.867	-0.819	-0.798	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.029	3.800	4.584
2.3	-0.905	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515

2.2	-0.946	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.454
2.1	-0.990	-0.914	-0.869	-0.785	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-1.037	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.224
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.065
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.386	3.990
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.745	3.330	3.910
1.4	-1.318	-1.163	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.721
1.3	-1.383	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.765
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.339	2.019	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.874	3.223
0.6	-1.880	-1.455	-1.209	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.176	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.852	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

Tabel 2.5. Faktor K untuk $C_s < 0$

Asime tri	Periode Ulang										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.250	2	5	10	25	50	100	200
0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.852	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.836	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.824	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.814	2.029	2.201
-0.5	-2.686	-1.774	-1.323	-0.808	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	-1.797	-1.328	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.790	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	-1.858	-1.339	-0.769	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.748
-1.0	-3.022	-1.877	-1.340	-0.738	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.745	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.586
-1.2	-3.149	-1.910	-1.340	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.719	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.484
-1.4	-3.271	-1.938	-1.337	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.282	1.318	1.351
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.690	0.240	0.825	1.018	1.157	1.240	1.256	1.282
-1.6	-3.388	-1.962	-1.329	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.444	-1.972	-1.324	-0.660	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.166
-1.8	-3.499	-1.981	-1.318	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.096
-1.9	-3.553	-1.989	-1.310	-0.621	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044

-2.0	-3.605	-1.996	-1.302	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.993
-2.1	-3.656	-2.001	-1.294	-0.592	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.924	0.949
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	-3.753	-2.009	-1.274	-0.555	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.800	-2.011	-1.262	-0.537	0.351	0.723	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.845	-2.012	-1.250	-0.518	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.889	-2.013	-1.238	-0.499	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.768	0.769
-2.7	-3.932	-2.012	-1.224	-0.479	0.375	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.973	-2.010	-1.210	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	-2.007	-1.195	-0.440	0.330	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	-4.051	-2.003	-1.180	-0.440	0.390	0.636	0.666	0.666	0.666	0.667	0.667

2.2.2.4 Metode Gumbel Tipe I

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumbel Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{S_n}(Y_T - Y_n) \quad (\text{Soemarto, 1999})$$

Dimana :

X_T = nilai varian yang diharapkan terjadi.

$\bar{X}$ = nilai rata-rata hitung variat

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 dihitung dengan rumus :

$$Y_T = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right];$$

untuk $T \geq 20$, maka $Y_T = \ln T$

Y_n = nilai rata-rata dari reduksi variat (*mean of reduce variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) (lihat Tabel 2.6)

S_n = deviasi standar dari reduksi variat (*mean of reduced variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) (lihat Tabel 2.7)

Tabel 2.6. Hubungan *Reduced Mean* y_n Dengan Besarnya Sampel (Dikutip dari buku J. NEMEC/*Engineering Hydrology*)

n	y_n	n	y_n	n	y_n	n	y_n
10	0,4952	34	0,5396	58	0,5515	82	0,5672
11	0,4996	35	0,5402	59	0,5518	83	0,5574
12	0,5035	36	0,5410	60	0,5521	84	0,5576
13	0,5070	37	0,5418	61	0,5524	85	0,5578
14	0,5100	38	0,5424	62	0,5527	86	0,5580
15	0,5128	39	0,5430	63	0,5530	87	0,5581
16	0,5157	40	0,5436	64	0,5533	88	0,5583
17	0,5181	41	0,5442	65	0,5535	89	0,5585
18	0,5202	42	0,5448	66	0,5538	90	0,5586
19	0,5220	43	0,5453	67	0,5540	91	0,5587
20	0,5236	44	0,5458	68	0,5543	92	0,5589
21	0,5252	45	0,5463	69	0,5545	93	0,5591
22	0,5268	46	0,5468	70	0,5548	94	0,5592
23	0,5283	47	0,5473	71	0,5550	95	0,5593
24	0,5296	48	0,5477	72	0,5552	96	0,5595
25	0,5309	49	0,5481	73	0,5555	97	0,5596
26	0,5320	50	0,5485	74	0,5557	98	0,5598
27	0,5332	51	0,5489	75	0,5559	99	0,5599
28	0,5343	52	0,5493	76	0,5561	100	0,5600
29	0,5353	53	0,5497	77	0,5563		
30	0,5362	54	0,5501	78	0,5565		
31	0,5371	55	0,5504	79	0,5567		
32	0,5380	56	0,5508	80	0,5569		
33	0,5388	57	0,5511	81	0,5570		

Tabel 2.7. Hubungan *Standar Deviation* s_n Dengan Besarnya Sampel (Dikutip dari buku J. NEMEC/*Engineering Hydrology*)

n	s_n	n	s_n	n	s_n	n	s_n
10	0,9496	34	1,1255	58	1,1721	82	1,1953
11	0,9676	35	1,12865	59	1,1734	83	1,1959

12	0,9833	36	1,1313	60	1,1747	84	1,1967
13	0,9971	37	1,1339	61	1,1759	85	1,1973
14	1,0095	38	1,1363	62	1,1770	86	1,1987
15	1,0206	39	1,1388	63	1,1782	87	1,1987
16	1,0316	40	1,1413	64	1,1793	88	1,1994
17	1,0411	41	1,1436	65	1,1803	89	1,2001
18	1,0493	42	1,1458	66	1,1814	90	1,2007
19	1,0565	43	1,1480	67	1,1824	91	1,2013
20	1,0628	44	1,1499	68	1,1834	92	1,2020
21	1,0696	45	1,1519	69	1,1844	93	1,2026
22	1,0754	46	1,1538	70	1,1854	94	1,2032
23	1,0811	47	1,1557	71	1,1854	95	1,2038
24	1,0864	48	1,1574	72	1,1873	96	1,2044
25	1,0915	49	1,1590	73	1,1881	97	1,2049
26	1,0861	50	1,1607	74	1,1890	98	1,2055
27	1,1004	51	1,1623	75	1,1898	99	1,2060
28	1,1047	52	1,1638	76	1,1906	100	1,2065
29	1,1086	53	1,1658	77	1,1915		
30	1,1124	54	1,1667	78	1,1923		
31	1,1159	55	1,1681	79	1,1930		
32	1,1193	56	1,1696	80	1,1938		
33	1,1226	57	1,1708	81	1,1945		

Tabel 2.8. *Reduced Variate* (Y_i) (Soemarto, 1999)

Periode Ulang	<i>Reduced Variate</i>
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

2.2.3. Uji Keselarasan Distribusi Data Curah Hujan

Uji keselarasan distribusi dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih, dapat mewakili dari distribusi statistik sample data yang dianalisis (Soewarno,1995).

2.2.3.1 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* (X^2) dengan nilai *chi square* kritis (X^2_{cr}).

Rumus :

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (\text{Soewarno,1995})$$

di mana :

X_h^2 = Parameter *Chi*-Kuadrat terhitung

G = Jumlah sub-kelompok

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- Apabila peluang lebih dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
- Apabila peluang berada diantara 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

Tabel 2.9 Nilai kritis untuk Distribusi *Chi-Square* (Soewarno, 1995)

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

2.2.3.2 Uji Keselarasan *Smirnov-Kolmogorov*

Uji keselarasan Smirnov-Kolmogorof, sering juga disebut uji keselarasan non parametrik (*non parametrik test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedurnya adalah sebagai berikut :

Rumus yang dipakai :

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P_{(x)}} \frac{P_{(xi)}}{\Delta_{Cr}} \quad (\text{Soewarno, 1995})$$

1. Urutkan dari besar ke kecil atau sebaliknya dan tentukan besarnya nilai masing-masing peluang dari hasil penggambaran grafis data (persamaan distribusinya) :
 $X_1 \rightarrow P'(X_1)$
 $X_2 \rightarrow P'(X_2)$
 $X_m \rightarrow P'(X_m)$
 $X_n \rightarrow P'(X_n)$
2. Berdasarkan tabel nilai delta kritis (*Smirnov – Kolmogorof test*) tentukan harga Do (lihat Tabel 2.10) menggunakan grafis.

Tabel 2.10 Nilai delta kritis untuk uji keselarasan *Smirnov-Kolmogorof* (Soewarno, 1995)

Jumlah data N	α derajat kepercayaan			
	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

2.3 Intensitas Curah Hujan

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.

Menurut Dr. Mononobe

Rumus yang dipakai :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \quad (\text{Sosrodarsono, 2003})$$

Dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R_{24} = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = lamanya curah hujan (jam)

2.3.1 Analisis Debit Banjir Rencana

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan konstruksi bendung adalah sebagai berikut :

2.3.1.1 Metode Rasional

Rumus yang dipakai:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \text{ (Sosrodarsono, 1983)}$$

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{2/3} \text{ mm/jam}$$

$$T = \text{Waktu konsentrasi} = L/W$$

$$W = 72 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6}$$

Di mana :

Q = Debit maksimum (m^3/dtk)

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

L = Panjang sungai (km)

H = Beda tinggi (km)

W = Kecepatan perambatan banjir (km/jam)

Koefisien pengaliran C tergantung dari faktor-faktor daerah pengalirannya, seperti jenis tanah, kemiringan, vegetasi, luas, bentuk daerah aliran sungai. Untuk menentukan koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Koefisien pengaliran

Kondisi Daerah Pengaliran	Harga dari C
Daerah pegunungan curam	0.75-0.90
Daerah pegunungan tersier	0.70-0.80
Tanah bergelombang dan hutan	0.50-0.75

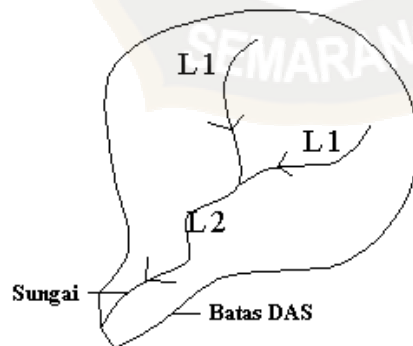
Tanah dataran yang ditanami	0.45-0.60
Persawahan yang diari	0.70-0.80
Sungai di daerah pegunungan	0.75-0.85
Sungai kecil di dataran	0.45-0.75
Sungai besar yang ½ dari daerah pengalirannya terdiri dari dataran	0.50-0.75

2.3.1.2 Metode Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I menggunakan persamaan - persamaan sebagai berikut :

– Data - data yang digunakan dalam perhitungan hidrograf satuan sintetik gamma I adalah:

- DAS (A)
- Panjang sungai utama (L), dihitung berdasarkan sungai terpanjang
- Beda tinggi elevasi sungai (D), diukur dari elevasi di lokasi embung sampai hulu sungai terpanjang
- Panjang sungai semua tingkat (L1)
- Panjang sungai pangsa 1 (L2)
- Jumlah sungai pangsa 1
- Jumlah sungai semua tingkat
- Jumlah Pertemuan Sungai (JN)



Gambar 2.3 Sketsa penetapan panjang dan tingkat sungai

- Kelandaian sungai (S)

$$S = D / L$$

- Indeks kerapatan sungai (D)

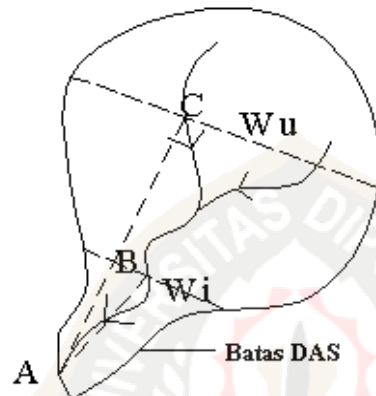
$$D = L1 / A$$

- Faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.

$$SF = L2 / L1$$

- Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur dari titik yang berjarak $\frac{3}{4} L$ (W_u) dengan lebar DAS yang diukur dari titik yang berjarak $\frac{1}{4} L$ dari tempat pengukuran (W_i)

$$WF = W_u / W_i$$



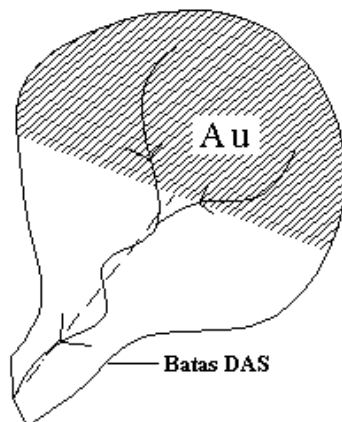
Gambar 2.4 Sketsa penetapan WF

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

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

- 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 (RUA)

$$RUA = A_u / A$$



Gambar 2.5 Sketsa penetapan RUA

- Faktor simetri ditetapkan sebagai hasil perkalian antar faktor lebar (WF) dengan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA)

$$SIM = WF \cdot RUA$$

- Frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan antara jumlah segmen segmen sungai tingkat I dengan jumlah segmen semua tingkat
- Menghitung TR (*time rise*) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

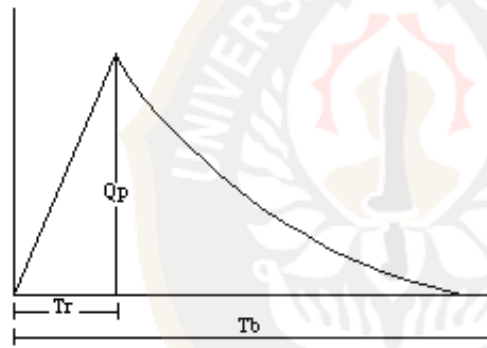
$$TR = 0,43 \left[\frac{L}{100 \cdot SF} \right]^3 + 1,06665 \cdot SIM + 1,2775$$

- Menghitung Debit puncak Qp dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Qp = 0,1836 \cdot 35,71^{0,5886} \cdot TR^{-0,4008} \cdot JN^{0,2381}$$

- Menghitung waktu dasar TB (*time base*) menggunakan persamaan :

$$TB = 24,4132 \cdot TR^{0,1457} \cdot S^{-0,0986} \cdot SN^{-0,7344} \cdot RUA^{0,2574}$$



Gambar 2.6 Sketsa hidrograf satuan sintetis (Soedibyo, 1993)

- Menghitung koefisien tampungan k dengan menggunakan persamaan :

$$k = 0,5617 \cdot A^{0,1798} \cdot S^{-0,1446} \cdot SF^{-1,0987} \cdot D^{0,0452}$$

- Membuat unit hidrograf dengan menggunakan persamaan :

$$Qt = Qp \cdot e^{-1/k}$$

- Membuat besar aliran dasar QB dengan menggunakan persamaan :

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

- Menghitung indeks infiltrasi berdasarkan persamaan :

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

- Menghitung distribusi hujan efektif untuk memperoleh hidrograf dengan metode Φ indeks , kemudian dapat dihitung dengan hidrograf banjirnya .

$$Re = 1 - \Phi \text{ (Sri Harto, 1981)}$$

2.3.1.3 Melchior

Metode Melchior ini disarankan luas daerah tangkapan air sungai tersebut $\geq 100 \text{ Km}^2$. Metode ini juga modifikasi dari metode Rasional dan berdasarkan pada curah hujan Jakarta sebesar 200 mm. Maka untuk menghitung debit maximum di luar Jakarta seperti rumus berikut:

$$Q_T = \alpha \cdot B \cdot q \cdot f \cdot \frac{R_T}{200}$$

$$B = B_1 + B_2$$

B_2 lihat tabel 2.12

$$F = \frac{1.970}{B_1 - 0.12} - 3.960 + 1.720 \cdot B_1$$

$$F = 0.25 \times \pi \times a \times b$$

$$\alpha = 0,52$$

$$q = \frac{10 \times B \times R_T}{36 \cdot t}$$

$$t = \frac{10L}{36V}$$

$$V = 1.31(Q_1 \times I^2)^{0.2}$$

$$Q_1 = B1 \times q_0 \times F$$

Dimana;

Q_T = Debit rancangan.

α = Koefisien run of.

β = Koefisien Reduksi.

q = Debit banjir tiap satuan luas ($\text{m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$).

f = Luas DAS (km^2).

t = Waktu konsentrasi.

I = Kemiringan sungai.

R_T = Curah hujan maximum 24 jam periode ulang T tahun (mm).

L = Panjang sungai (km).

V = Kecepatan aliran.

A = Sumbu panjang ellips.

B = Sumbu pendek ellips.

F = Luas ellips.

Tabel 2.12. Besaran B_2

$F \text{ (Km}^2\text{)}$	Lama hujan (jam)											
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24
0	44	64	80	82	89	92	93	94	95	96	98	100
10	37	57	72	82	80	84	87	90	91	95	97	100
50	29	45	57	72	66	74	79	88	88	94	96	100
300	20	33	43	57	52	61	69	85	85	93	95	100
>300	12	23	32	50	42	54	66	83	63	92	94	100

2.3.1.4 Methode FSR Jawa Sumatra

Rumus umum

$$Q_T = GF \cdot (T \cdot AREA) \times MAF - MAF$$

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

$$V = 1.02 - 0.0275 \cdot \log(AREA)$$

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

$$APBAR = PBAR \times ARF$$

$$ARF = 1.152 - 0.1233 \log (AREA)$$

Dimana :

$AREA$ = Luas DAS.

$PBAR$ = Hujan terpusat rerata maximum tahunan selama 24 jam. (mm), dicari dari peta isohyet.

$APBAR$ = Hujan rerata maximum tahunan yang mewakili DAS selama 24 jam.

ARF = Faktor reduksi.

MSL = Jarak terjauh dari tempat pengamatan sampai hulu sungai.

$SIMS$ = Indek kemiringan.

$LAKE$ = Index danau (0 s/d 0.25).

MAF = Debit rerata maximum tahunan.

GF = Growth faktor (lihat tabel).

Q_T = Debit rancangan.

Tabel 2.13. Growth faktor

Periode Ulang	Luas DAS (Km ²)					
	<160	300	600	900	1200	>1500
5	1.26	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17
10	1.26	1.54	1.48	1.44	1.41	1.37
20	1.88	1.88	1.75	1.70	1.64	1.59
50	2.35	2.30	2.18	2.10	2.03	1.95
100	2.75	2.72	2.57	2.47	2.67	2.27
200	3.27	3.20	3.01	2.89	2.78	2.66
500	4.01	3.92	3.70	3.56	3.41	3.27
1000	4.68	4.58	4.32	4.16	4.01	3.85

2.3.1.5 Metode *Passing Capacity*

Metode *passing capacity* digunakan sebagai kontrol terhadap hasil perhitungan debit banjir rencana yang diperoleh dari data curah hujan. Langkah-langkah perhitungan dengan metode *passing capacity* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kemiringan dasar sungai dengan mengambil elevasi sungai pada jarak 100 m dari as tubuh embung di sebelah hulu dan hilir.
2. Menentukan besaran koefisien manning berdasarkan kondisi dasar sungai.
3. Menghitung luas tampang aliran.
4. Menghitung keliling basah.
5. Menghitung jari-jari hidraulis

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

6. Menghitung debit aliran.

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A$$

2.3.2. Analisis Kebutuhan Air

2.3.2.1. Kebutuhan Air Irigasi

Menurut jenisnya ada dua macam pengertian kebutuhan air, yaitu :

1. Kebutuhan air bagi tanaman (*Consumptive Use*), yaitu banyaknya air yang dibutuhkan tanaman untuk membuat jaringan tanaman (batang dan daun) dan untuk diuapkan (*evapotranspirasi*), *perkolasi*, curah hujan, pengolahan lahan, dan pertumbuhan tanaman.

Rumus :

$$I_r = ET_c + P - P_e + W$$

di mana :

I_r = kebutuhan air (mm/hari)

E = evaporasi (mm/hari)

T = transpirasi (mm)

P = perkolasi (mm)

B = infiltrasi (mm)

W = tinggi genangan (mm)

Re = Hujan efektif (mm/hari)

2. Kebutuhan air untuk irigasi, yaitu kebutuhan air yang digunakan untuk menentukan pola tanaman untuk menentukan tingkat efisiensi saluran irigasi sehingga didapat kebutuhan air untuk masing-masing jaringan.

Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi. Setelah sebelumnya diketahui besarnya efisiensi irigasi. Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa, mulut dari bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan penyadapan liar.

2.3.2.2. Kebutuhan Air Untuk Tanaman

1. Evapotranspirasi

Besarnya evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metoda Penman yang dimodifikasi oleh *Nedeco/Prosida* seperti diuraikan dalam PSA – 010. Evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan rumus-rumus teoritis empiris dengan memperhatikan faktor-faktor meteorologi yang terkait seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin dan penyinaran matahari.

Evapotranspirasi tanaman yang dijadikan acuan adalah rerumputan pendek (*abeldo* = 0,25). Selanjutnya untuk mendapatkan harga evapotranspirasi harus

dikalikan dengan koefisien tanaman tertentu. Sehingga evapotranspirasi sama dengan evapotranspirasi potensial hasil perhitungan *Penman x crop factor*. Dari harga evapotranspirasi yang diperoleh, kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan air bagi pertumbuhan dengan menyertakan data curah hujan efektif.

Rumus evapotranspirasi *Penman* yang telah dimodifikasi adalah sebagai berikut :

$$E_{to} = \frac{1}{L^{-1}x\delta + \Delta(H_{sh}^{ne} - H_{lo}^{ne})} + \frac{\delta E_q}{\delta + A}$$

di mana :

E_{to} = indeks evaporasi yang besarnya sama dengan evapotranspirasi dari rumput yang dipotong pendek (mm/hr)

H_{sh}^{ne} = jaringan radiasi gelombang pendek (Longley/day)

$$= \{ 1,75 \{ 0,29 \cos \Omega + 0,52 r \times 10^{-2} \} \} \times \alpha a^h_{sh} \times 10^{-2}$$

$$= \{ a_{ah} \times f(r) \} \times \alpha a^h_{sh} \times 10^{-2}$$

$$= a_{ah} \times f(r)$$

α = 0,25 (albeldo)

$\cdot Ra$ = $\alpha a^h \times 10^{-2}$

= radiasi gelombang pendek maksimum secara teori (Longley/day)

= jaringan radiasi gelombang panjang (Longley/day)

$$= 0,97 \alpha Tai^4 \times (0,47 - 0,770 \sqrt{ed} \times \{ 1 - 8/10(1-r) \})$$

H_{lo}^{ne} = $f(Tai) \times f(Tdp) \times f(m)$

$f(Tai)$ = αTai^4

= efek dari temperatur radiasi gelombang panjang

m = $8(1-r)$

$f(m)$ = $1 - m/10$

r = lama penyinaran matahari relatif

E_q = evaporasi terhitung pada saat temperatur permukaan sama dengan temperatur udara (mm/hr)

$$= 0,35 (0,50 + 0,54 \mu_2) \times (e_a - e_d)$$

$$= f(\mu_2) \times PZ^{wa} \text{ sa} - PZ^{wa}$$

μ_2 = kecepatan angin pada ketinggian 2m diatas tanah

PZ^{wa} = e_a = tekanan uap jenuh (mmHg)

Δ = ed = tekanan uap yang terjadi (mmHg)
 L = panas laten dari penguapan (*Longley/minutes*)
 Δ = kemiringan tekanan uap air jenuh yang berlawanan dengan dengan kurva temperatur pada temperatur udara (mmHg/ $^{\circ}$ C)
 δ = konstata Bowen (0,49 mmHg/ $^{\circ}$ C)
 catatan : 1 *Longley/day* = 1 kal/cm²hari

Setelah semua besaran diketahui harganya, kemudian dihitung besarnya Eto.

2. Perkolasi

Perkolasi adalah meresapnya air ke dalam tanah dengan arah vertikal ke bawah, dari lapisan tidak jenuh. Besarnya perkolasi dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, kedalaman air tanah dan sistem perakarannya. Koefisien perkolasi adalah sebagai berikut (Hardihardjaja dkk., 1997) :

Berdasarkan kemiringan :

1. lahan datar = 1 mm/hari
2. lahan miring > 5% = 2 – 5 mm/hari

Berdasarkan tekstur :

1. berat (lempung) = 1 – 2 mm/hari
2. sedang (lempung kepasiran) = 2 -3 mm/hari
3. ringan = 3 – 6 mm/hari

Dari pedoman di atas, harga perkolasi untuk perhitungan kebutuhan air di Daerah Irigasi Sowan Lor diambil sebesar 2 mm/hari.

3. Curah Hujan Efektif (Re)

a. Besarnya curah hujan efektif

Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang digunakan oleh akar-akar tanaman selama masa pertumbuhan. Besarnya curah hujan efektif dipengaruhi oleh :

1. Cara pemberian air irigasi (rotasi, menerus atau berselang).
2. Laju pengurangan air genangan di sawah yang harus ditanggulangi.
3. Kedalaman lapisan air yang harus dipertahankan di sawah.
4. Cara pemberian air di petak.
5. Jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air.

Untuk irigasi tanaman padi, curah hujan efektif diambil 20% hujan tak terpenuhi.

b. Koefisien curah hujan efektif

Besarnya koefisien curah hujan efektif untuk tanaman padi berdasarkan pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14. Koefisien Curah Hujan Efektif Untuk Padi (Ditjen Pengairan, 1985)

Bulan	Golongan					
	1	2	3	4	5	6
0,50	0,36	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06
1,00	0,70	0,53	0,35	0,26	0,21	0,18
1,50	0,40	0,55	0,46	0,36	0,29	0,24
2,00	0,40	0,40	0,50	0,46	0,37	0,31
2,50	0,40	0,40	0,40	0,48	0,45	0,37
3,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,46	0,44
3,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45
4,00	0,00	0,00	0,27	0,30	0,32	0,33
4,50			0,13	0,20	0,24	0,27
5,00				0,10	0,16	0,20
5,50					0,08	0,13
6,00						0,07

Sedangkan untuk tanaman palawija besarnya curah hujan efektif ditentukan dengan metode curah hujan bulanan yang dihubungkan dengan curah hujan rata-rata bulanan serta evapotranspirasi tanaman rata-rata bulanan berdasarkan Tabel 2.15.

Curah Hujan Bulanan/mm	mean mm	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200	
ET tanaman	25	8	16	24	Curah Hujan rata-rata bulanan/mm													
Rata-rata	50	8	17	25	32	39	46											
Bulanan/mm	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69								
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100				
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	97	98	107	116	120		
	150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133	
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141	
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	106	117	125	134	142	150	
	225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159	
	250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167	
Tampungan Efektif		20	25	37,5	50	62,5	75	100	125	150	175	200						
Faktor tampungan		0,73	0,77	0,86	0,93	0,97	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08						

Tabel 2.15 Koefisien Curah Hujan Rata-rata Bulanan dengan ET Tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Mean Bulanan (Hardihardjaja dkk., 1997)

4. Kebutuhan Air Untuk Pengolahan Lahan

a. Pengolahan Lahan Untuk Padi

Menurut PSA-010, waktu yang diperlukan untuk pekerjaan penyiapan lahan adalah selama satu bulan (30 hari). Kebutuhan air untuk pengolahan tanah bagi tanaman padi diambil 200 mm, setelah tanam selesai lapisan air di sawah ditambah 50 mm. Jadi kebutuhan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah tanam selesai seluruhnya menjadi 250 mm. Sedangkan untuk lahan yang tidak ditanami (sawah bero) dalam jangka waktu 2,5 bulan diambil 300 mm.

Untuk memudahkan perhitungan angka pengolahan tanah digunakan Tabel koefisien Van De Goor dan Zijlstra pada Tabel 2.12 Koefisien kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan (Bab II Studi Pustaka).

b. Pengolahan Lahan Untuk Palawija

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan bagi palawija sebesar 50 mm selama 15 hari yaitu **3,33 mm/hari**, yang digunakan untuk menggarap lahan yang ditanami dan untuk menciptakan kondisi lembab yang memadai untuk persemian yang baru tumbuh.

5. Kebutuhan Air Untuk Pertumbuhan

Kebutuhan air untuk pertumbuhan padi dipengaruhi oleh besarnya evapotranspirasi tanaman (Etc), perkolasi tanah (p), penggantian air genangan (W) dan hujan efektif (Re). Sedangkan kebutuhan air untuk pemberian pupuk pada tanaman apabila terjadi pengurangan air (sampai tingkat tertentu) pada petak sawah sebelum pemberian pupuk.

Perhitungan angka kebutuhan air untuk tanaman padi disajikan pada Tabel dan tabel tanaman palawija.

2.3.2.3 Kebutuhan Air Untuk Irigasi

Yaitu kebutuhan air yang digunakan untuk menentukan pola tanaman untuk menentukan tingkat efisiensi saluran irigasi sehingga didapat kebutuhan air untuk masing-masing jaringan. Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi, setelah sebelumnya diketahui besarnya efisiensi irigasi. Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi sepanjang saluran pembawa, dari bangunan pengambilan sampai dengan petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan penyadapan secara liar (Ditjen Pengairan, 1985).

Pola tanam adalah suatu pola penanaman jenis tanaman selama satu tahun yang merupakan kombinasi urutan penanaman. Rencana pola dan tata tanam dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta menambah intensitas luas tanam. Suatu daerah irigasi pada umumnya mempunyai pola tanam tertentu, tetapi apabila tidak ada pola yang biasa pada daerah tersebut direkomendasikan pola tanaman padi-padi-palawija. Pemilihan pola tanam ini didasarkan pada sifat tanaman hujan dan kebutuhan air (Ditjen Pengairan, 1985).

a. Sifat tanaman padi terhadap hujan dan kebutuhan air

- Pada waktu pengolahan memerlukan banyak air.
- Pada waktu pertumbuhannya memerlukan banyak air dan pada saat berbunga diharapkan hujan tidak banyak agar bunga tidak rusak dan padi baik.

b. Palawija

- Pada waktu pengolahan membutuhkan air lebih sedikit daripada padi.
- Pada pertumbuhan sedikit air dan lebih baik lagi bila tidak turun hujan.

Setelah diperoleh kebutuhan air untuk pengolahan lahan dan pertumbuhan, kemudian dicari besarnya kebutuhan air untuk irigasi berdasarkan pola tanam dan rencana tata tanam dari daerah yang bersangkutan.

Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa, mulai dari bangunan pengambilan sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan penyadapan secara liar. Besarnya angka efisiensi tergantung pada penelitian lapangan pada daerah irigasi. Pada perencanaan jaringan irigasi, tingkat efisiensi ditentukan menurut kriteria standar perencanaan yaitu sebagai berikut :

- Kehilangan air pada saluran primer adalah 10 – 15 %, diambil 10%
Faktor efisiensi = $100/90 = 1,11$
- Kehilangan air pada saluran sekunder adalah 20 – 25 %, diambil 20%
Faktor efisiensi = $100/80 = 1,25$

2.4. Konstruksi Bendung

Bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapan yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan taraf muka air sungai atau untuk mendapat tinggi terjun, sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkan

Pemilihan lokasi dan konstruksi tergantung dari fungsi bendung itu sendiri. Bendung Irigasi sebaiknya dicarikan dimana pintu intake terletak ditikungan luar, hal ini mengandung maksud agar arah aliran sungai langsung menuju pintu intake tanpa membuat pengarah aliran. Untuk konstruksi tergantung pola aliran sungai dan ketersediaan material lokasi.

Konstruksi bendung ada dua yaitu :

1. Bendung tetap

Konstruksi bendung tetap dipakai apabila lokasi yang ada bila dibangun bendung tidak menimbulkan genangan disebelah hulunya.

2. Bendung Gerak

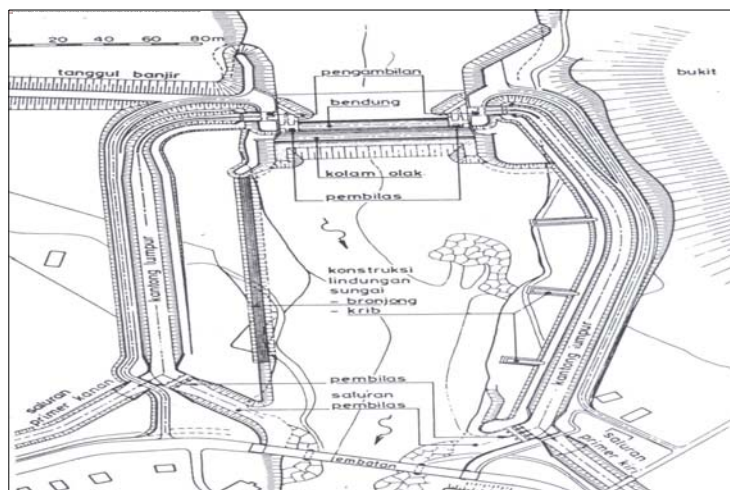
Bendung gerak ini umumnya didaerah rendah atau dataran sehingga bila terjadi banjir bendung ini dapat diatur debit yang lewat diatas mercu. Sehingga tidak terjadi genangan di hulu bendung ini.

Disamping itu apabila bendung ini terletak didekat pantai dapat difungsikan pula untuk mencegah instruksi air laut lewat sungai itu sendiri.

2.4.1. Bendung Tetap

Bendung tetap pada prinsipnya ada 3 bagian, yaitu :

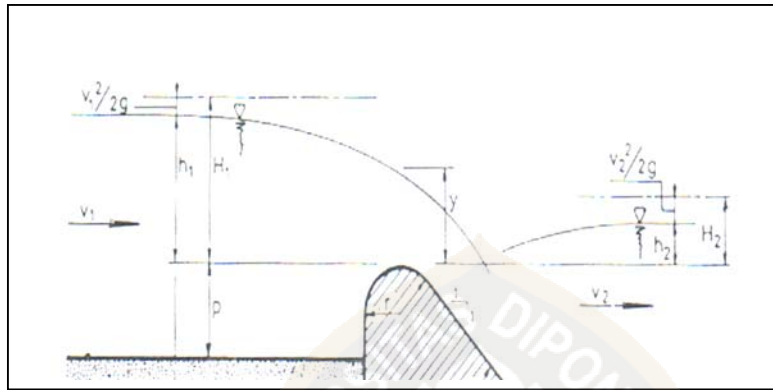
- a. Pelimpah, baik dengan pintu maupun bebas;
- b. Saluran atau pipa pembawa; dan
- c. Bangunan peredam energi.



Gambar 2.7. Denah Bendung

Yang utama dalam perencanaan konstruksi bendung adalah tinggi mercu (p) dan lebar bendung. Tinggi mercu ditentukan dengan mempertimbangkan ketinggian/elevasi lahan yang dibutuhkan dan kehilangan saat penyaluran.

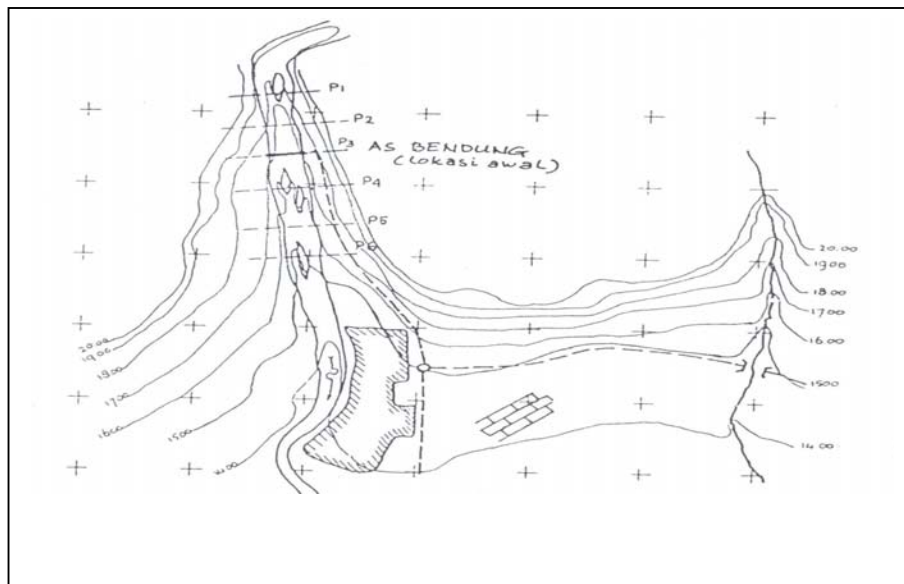
2.4.1.1. Tinggi Mercu Bendung



Gambar 2.8. Bendung dengan Mercu bulat

Tinggi untuk bangunan bendung (p) irigasi dapat dihitung sbb:

1. Elevasi sawah (Lihat gambar 2.8) misal	+ 15,00 m
2. Tinggi genangan	0,15 m
3. Kehilangan tekanan di bangunan Box Tersier	<u>0,10 m</u>
Ketinggian air di saluran tersier	+ 15,25 m
4. Kehilangan tekanan di sal tersier ($L \times i_{\text{ters}}$)	0,10 m
5. Kehilangan tekanan di bangunan Sadap	<u>0,10 m</u>
Ketinggian air di saluran Sekunder	+ 15,45 m
6. Kehilangan tekanan di sal sekunder ($L \times i_{\text{sek}}$)	0,10 m
7. Kehilangan tekanan di bangunan Bagi	<u>0,10 m</u>
Ketinggian air di saluran Induk	+ 15,65 m
8. Kehilangan tekanan di saluran induk ($L \times i_{\text{induk}}$)	0,10 m
9. Kehilangan tekanan dipintu pengambilan	0,10 m
10. Keamanan	<u>0,10 m</u>
Tinggi mercu bendung	+ 15,95 m



Gambar 2.9. Lokasi Bendung

2.4.1.2. Lebar Bendung

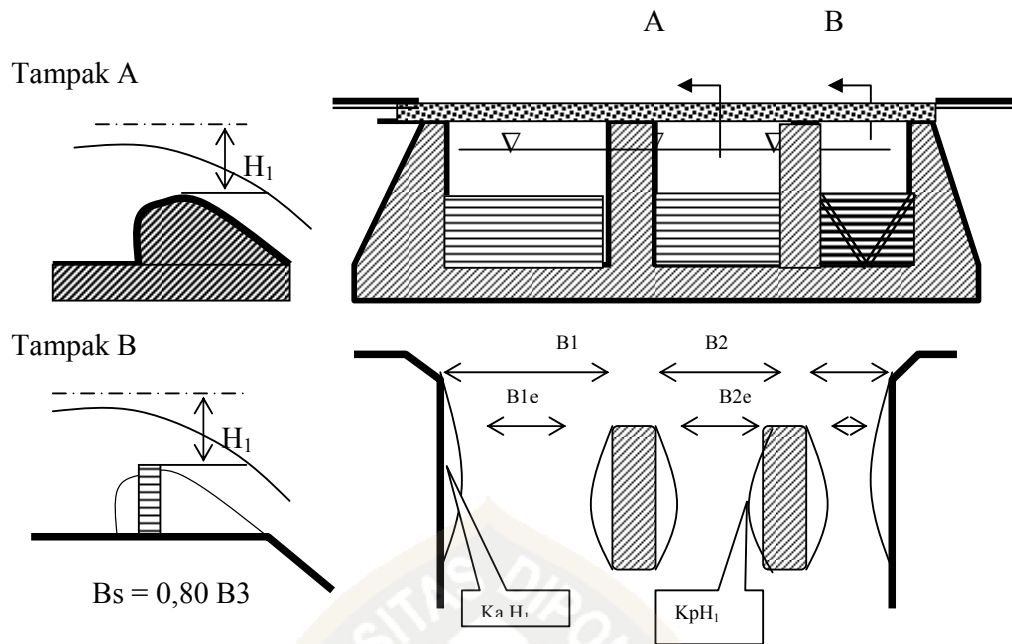
Lebar bendung adalah jarak antar pangkal bendung (abutment), sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Lebar maksimum bendung $\leq 1,2$ kali lebar rata-rata sungai.

Lebar efektif bendung (B_e) dirumuskan sbb;

$$B_e = B_0 - 2 (N.K_p + K_a).H_e$$

Di mana :

- B_e = Lebar efektif mercu bendung
- B_0 = Lebar ambang sebenarnya
- N = Jumlah pilar
- K_p = Koefisien kontraksi pilar
- K_a = Koefisien kontraksi pangkal ambang
- H_e = Tinggi energi di atas ambang.



Gambar 2.10 Lebar efektif mercu bendung

Tabel 2.17 Koefisien Konstruksi Pilar

Jenis dan bentuk pilar	Harga Kp
Pilar berujung segiempat dg sudut dibulatkan dengan jari-jari 0,10 tebal pilar	0,02
Pilar berujung bulat	0,01
Pilar berujung runcing	0

Tabel 2.18 Koefisien Konstruksi Pangkal tembok/abutment

Jenis dan bentuk abutment	Harga Ks
Pangkal tembok segiempat, tembok hulu 90° ke arah aliran	0,20
Pangkal tembok bulat, tembok hulu 90° ke arah aliran dg $0,5H_1 > r > 0,15 H_1$	0,10
Pangkal tembok bulat dengan $r > 0,5H_1$ tembok hulu $\leq 45^\circ$ ke arah aliran	0
Pangkal tembok bulat dengan $r > 0,5H_1$ tembok hulu $< 45^\circ$ ke arah aliran	0

2.4.2. Menghitung Debit Banjir Rencana

Menghitung debit rencana adalah untuk menentukan debit banjir yang terjadi pada lokasi pembangunan bendung. Sehingga dapat dilakukan perencanaan bendung yang cocok untuk lokasi tersebut.

Debit banjir rencana dirumuskan sbb :

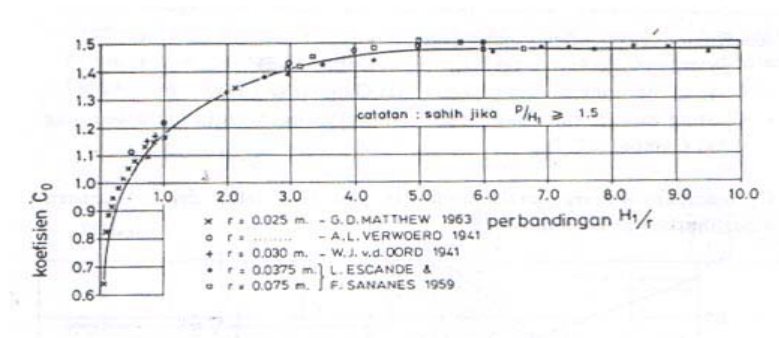
$$Q = Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}g} * b * H_1^{1.5}$$
$$H_1 = \left(\frac{Q}{Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}g} * b} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Dimana :

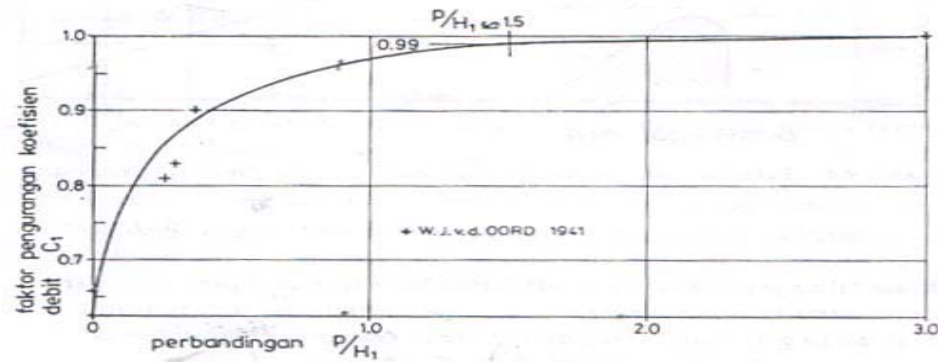
- Q = Debit (m^3/dtk)
 Cd = Koefisien Debit ($Cd = C_0.C_1.C_2$)
 g = Percepatan gravitasi ($9.81 m/dtk^2$)
 b = Panjang Mercu (m)
 H_1 = Tinggi Energi diatas mecu (m)

Koefisien debit (Cd) adalah hasil dari :

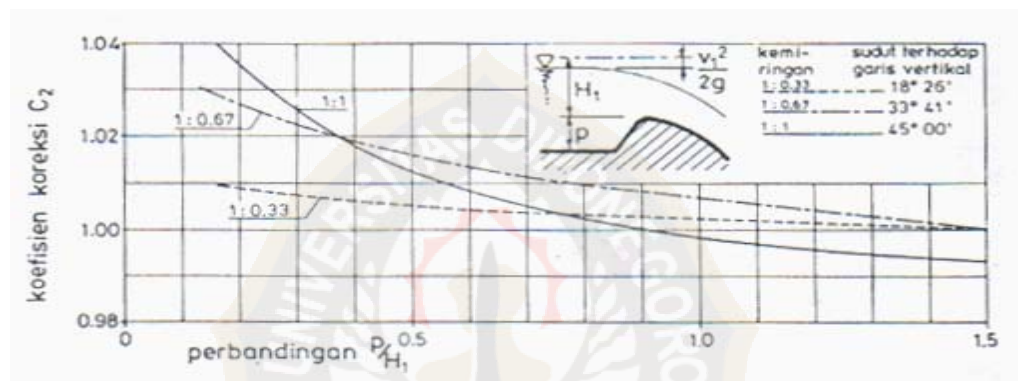
- C_0 yang merupakan fungsi $\frac{H_1}{r}$ (lihat gambar 2.7)
- C_1 yang merupakan fungsi $\frac{p}{H_1}$ (lihat gambar 2.8)
- C_2 yang merupakan fungsi $\frac{p}{H_1}$ dan kemiringan muka hulu bendung (lihat gambar 2.9)



Gambar 2.11. Harga-harga koefisien C_0 untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi H_1/r



Gambar 2.12. Koefisien C_1 sebagai fungsi p/H_1



Gambar 2.13. Harga-harga koefisien C_2 untuk bendung mercu Ogee dengan muka hulu melengkung (menurut USBR, 1960)

2.4.3 Menghitung Kecepatan Aliran

Menghitung kecepatan aliran adalah menentukan besar aliran air yang terjadi pada lokasi bendung.

Kecepatan aliran dirumuskan sbb :

$$V_a = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b(H_1 + p)}$$

Dimana :

Q = Debit (m^3/dtk)

A = Luas Penampang basah (m^2)

b = Panjang Mercu (m)

H_1 = Tinggi Energi diatas mecu (m)

p = Tinggi muka air dari dasar saluran sampai mercu (m)

Apabila ketinggian bendung lebih besar dari 1,33 kali tinggi rencana, maka efek kecepatan masuk diabaikan atau $\frac{h}{Hd} < 1,33$.

Sedangkan apabila ketinggian bendung lebih kecil dari 1.33 kali tinggi rencana, maka efek kecepatan masuk tidak dapat diabaikan. Kondisi ini biasanya terjadi pada bendung-bendung rendah dengan $\frac{h}{Hd} > 1,33$.

Jenis Aliran Sebelah Hilir Sungai :

1. Mencari Tinggi Kedalaman Kritis (Y_c)

Kedalaman kritis dihitung dengan menggunakan rumus dibawah :

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Dimana :

Y_c = Kedalaman kritis (m).

q = Debit per satuan lebar ($\frac{Q}{b}$, m²).

g = Percepatan gravitasi (9.81 m/dtk²).

2. Mencari Angka Froud (Fr).

Angka Froud untuk menentukan jenis aliran didasarkan pada pengaruh gravitasi pada gaya inersia aliran yang didifinisikan sbb :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Dimana :

Fr = Bilangan Froude.

V = Kecepatan karakteristik aliran (m/dtk).

g = Percepatan gravitasi (m/dtk²).

D = Panjang karakteristik/ kedalaman hidrolik.

$$D = \frac{A}{T} = \frac{h((b + 2my) + mh)}{(b + 2my) + 2mh}$$

A = Luas penampang basah.

T = Lebar permukaan basah.

Dari nilai Fr dapat ditentukan sifat aliran yang terjadi.

- o $Fr = 1,0$ maka aliran merupakan aliran kritis dimana gaya inersia dan gravitasi dalam keadaan setimbang.
- o $Fr < 1,0$ maka aliran merupakan aliran Sub Kritis dimana gaya gravitasi lebih dominan.
- o $Fr > 1,0$ maka aliran merupakan aliran Super Kritis dimana gaya inersia dominan.

2.4.4. Perencanaan Mercu Pelimpah

Bentuk mercu yang banyak dipakai adalah tipe mercu bulat dan tipe Ogee. Profil mercu ini direncanakan sedemikian rupa agar sesuai dengan tirai luapan (*flow nappe*) bawah dari suatu ambang-tajam.

Bentuk tirai luapan diatas ambang-tajam dapat diketahui berdasarkan prinsip lemparan peluru, yaitu komponen kecepatan aliran horizontal adalah konstan sehingga gaya yang bekerja pada tirai luapan adalah hanya gaya berat. Dengan tebal tirai luapan vertikal (T) dianggap konstan, maka persamaan umum untuk permukaan tirai luapan adalah :

$$\frac{y}{H} = A \left(\frac{x}{H} \right)^2 + B \frac{x}{H} + C + D$$

Persamaan tirai luapan tersebut merupakan persamaan pangkat dua, sehingga permukaan tirai luapan secara teoritis berbentuk parabola. Dari berbagai penelitian yang dilakukan antara lain oleh U.S. Bureau of Recalamation (USBR) Creager, Justin, Ippen, konstanta-konstanta dalam persamaan umum tirai luapan didapat dari persamaan-persamaan berikut:

$$A = -0,425 + 0,25 \left(\frac{hv}{H} \right)$$

$$B = 0,411 - 1,603 \left(\frac{hv}{H} \right) - \sqrt{1,568 \left(\frac{hv}{H} \right)^2 - 0,892 \frac{hv}{H} + 0,127}$$

$$C = 0,150 - 0,45 \left(\frac{hv}{H} \right)$$

$$D = 0,57 - 0,021(10m)^2 \exp(10m)$$

Dimana :

$$m = \frac{hv}{H} - 0,208 \text{ dan } hv = \text{Tinggi kecepatan aliran masuk.}$$

Profil mercu yang dibuat berdasarkan penyelidikan Bazin (1886-1888) adalah berimpit dengan permukaan bawah tirai luapan melalui ambang tajam dan dikenal sebagai profil Bazin. Secara teoritis seharusnya tidak akan menyebabkan tekanan negatif pada mercu. Akan tetapi pada kenyataannya terjadi gesekan oleh kekasaran permukaan bendung atau pelimpah, sehingga timbul tekanan negatif. Adanya tekanan negatif dapat menimbulkan kavitasi (*cavitation*) dan dapat mengakibatkan kerusakan.

Berbagai percobaan dilakukan untuk menghindari kavitasi ini, sebagai acuan dalam perencanaan mercu bendung/pelimpah adalah hasil percobaan bentuk tirai luapan melalui ambang-tajam yang dilakukan oleh U.S. Bureau of Reclamation (USBR).

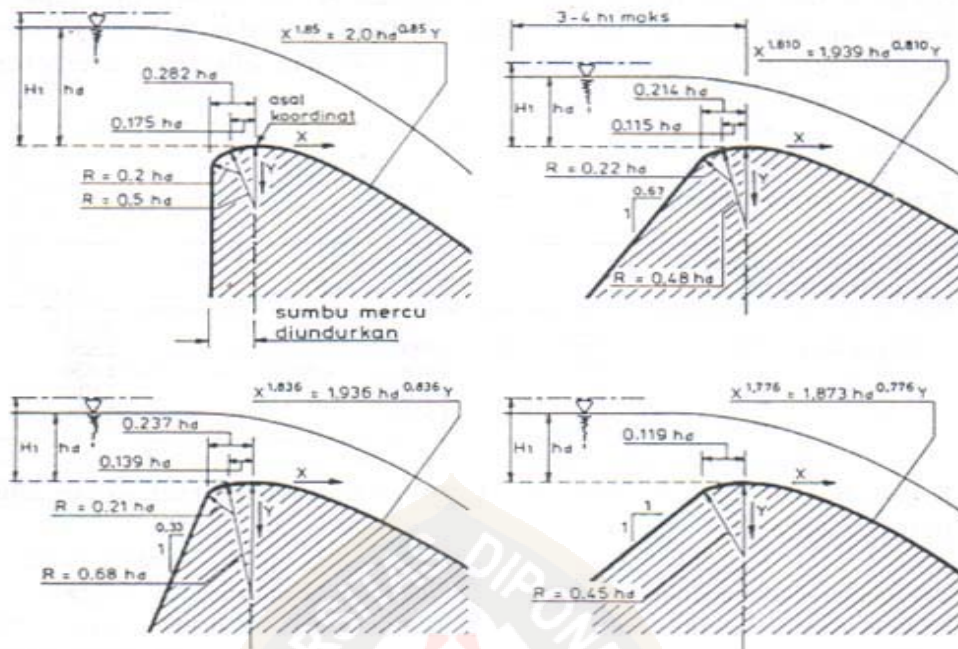
Berdasarkan data USBR, U.S. Army Corps of Engineers menyusun bentuk baku profil mercu bendung/pelimpah di Waterway Experiment Station (WES), yang juga dikenal dengan mercu Ogee sebagai berikut :

$$X^n = K * Hd^{(n-1)} Y$$

Dengan X dan Y adalah koordinat dari profil mercu dengan pusat koordinat titik tertinggi mercu. Hd adalah tinggi tekan rencana dari aliran yang melalui mercu bendung sedangkan K dan n adalah parameter-parameter yang besarnya tergantung dengan faktor kemiringan permukaan bendung bagian hulu. Nilai K dan n ditentukan seperti tabel berikut :

Tabel. 2.19. Harga-harga K dan n

Kemiringan Permukaan Hulu	K	n
Tegak Lurus	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
3 : 3	1,873	1,776



Gambar 2.14. Bentuk-bentuk bendung mercu Ogee
(U.S. Army Corp of Engineers Waterways Experimental Station)

2.4.5. Perencanaan Kolam Olak

2.4.5.1 Tipe Kolam Olak

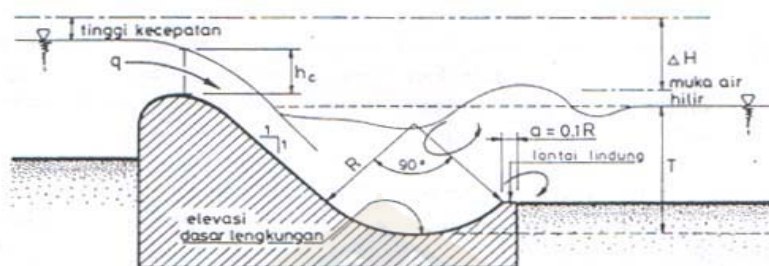
Terlepas dari kondisi hidrolis, yang dapat dijelaskan dengan bilangan froude dan kedalaman air hilir, kondisi dasar sungai dan tipe sedimen yang diangkut memainkan peranan penting dalam pemilihan tipe kolam olak.

Bendung di sungai yang mengangkut bongkah atau batu-batu besar dengan dasar yang relatif tahan gerusan, biasanya cocok dengan kolam olah tipe bak tenggelam/submerged bucket atau Tyroll seperti Danawarih.

Jika bendung di sungai tidak mengangkut batu-batu besar, tetapi sungai itu mengandung aluvial dan dasar tahan gerusan dapat digunakan kolam loncat air tanpa blok-blok halang atau tipe bak tenggelam/peredam energi.

Sedangkan bendung di sungai yang hanya mengangkut bahan-bahan sedimen halus dapat direncanakan dengan menggunakan blok-blok halang. Untuk tipe ini daya gerus sedimen yang terangkut harus dipertimbangkan dengan mengingat bahan yang harus dipakai untuk membuat blok.

Perilaku hidrolis peredam energi tipe ini terutama tergantung kepada terjadinya kedua pusaran. Satu pusaran permukaan bergerak ke arah berlawanan dengan arah jarum jam di atas bak dan sebuah pusaran permukaan bergerak ke arah putaran jarum jam dan terletak di belakang ambang ujung. Dimensi bak yang berjari-jari besar diperlihatkan sebagai berikut :



Gambar. 2.15. Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam

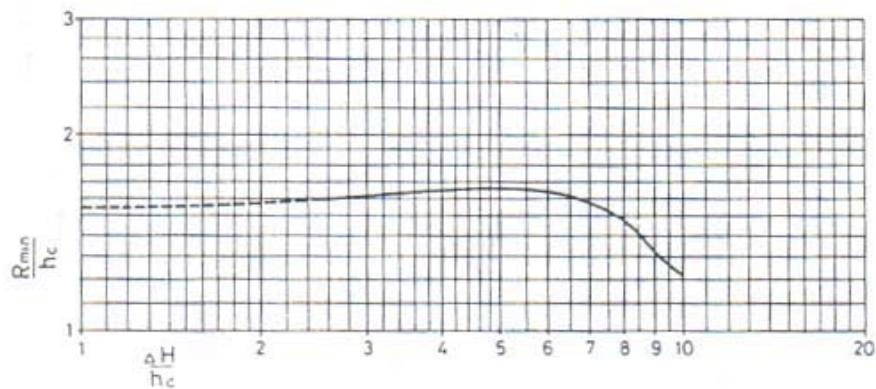
Kolam olak tipe bak tenggelam telah digunakan sejak lama dengan sangat berhasil pada bendung rendah untuk bilangan-bilangan Froude rendah.

2.4.5.2 Jari-jari minimum bak yang di izinkan (R_{min})

Jari-jari minimum (R_{min}) diberikan pada Gambar 2.14 dimana garis menerus adalah garis asli dari kriteria USBR. Di bawah $\Delta H/h_c = 2,5$ USBR tidak memberikan hasil-hasil percobaan. Sejauh ini penyelidikan dengan model yang dilakukan oleh IHE menunjukkan untuk jari-jari minimum bak yang diizinkan bagi bangunan-bangunan dengan tinggi energi rendah ini.

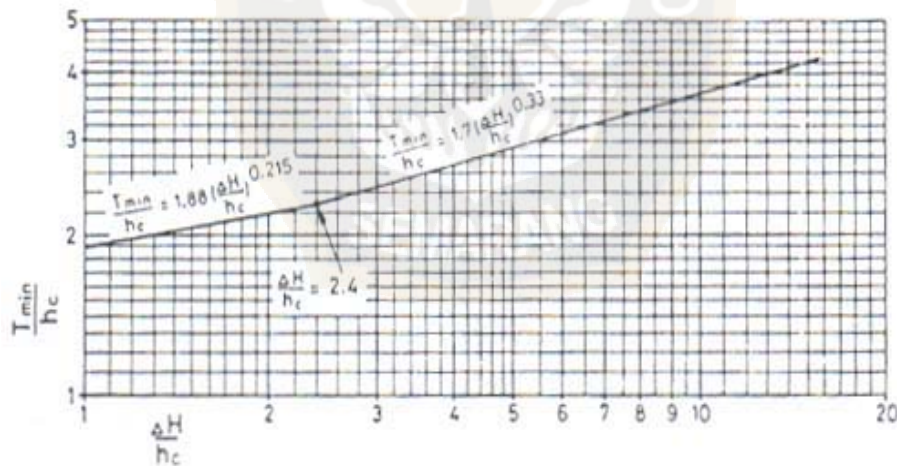
1. Batas minimum tinggi air hilir (T_{min})

Batas minimum tinggi air hilir diberikan pada Gambar 2.14. Untuk $\Delta H/h_c$ diatas 2,4 garis tersebut merupakan “*envelope*” batas tinggi air hilir yang diberikan oleh USBR bagi batas minimum tinggi air hilir (bak becelah), “*sweep-out*”, batas minimum tinggi air hilir yang dipengaruhi oleh jari-jari bak dan batas tinggi air hilir untuk bak tetap. Dibawah $\Delta H/h_c = 2,4$, garis tersebut menggambarkan kedalaman konjugasi suatu loncatan air. Dengan pertimbangan bahwa kisaran harga $\Delta H/h_c$ yang kurang dari 2,4 berada di luar jangkauan percobaan USBR, maka diputuskan untuk mengambil kedalaman air minimum hilir dari bak untuk harga $\Delta H/h_c$ yang lebih kecil dari 2,4.



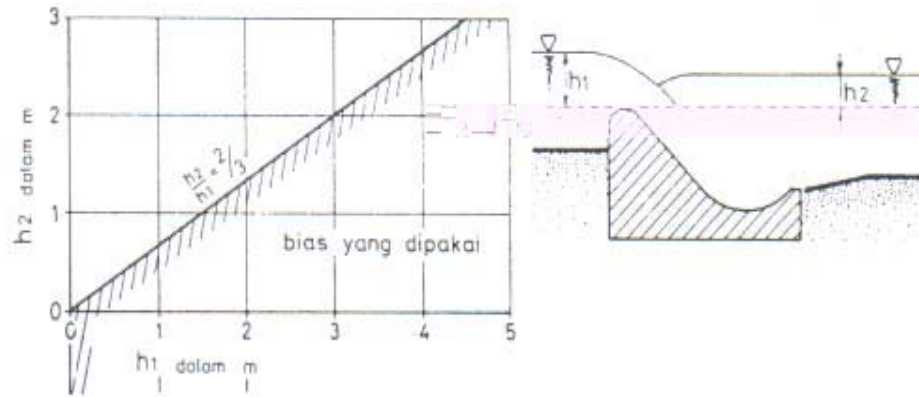
Gambar 2.16. Jari-jari minimum bak

Pengalaman telah menunjukkan bahwa banyak bendung rusak akibat gerusan lokal yang terjadi tepat di sebelah hilirnya dan kadang-kadang kerusakan ini diperparah lagi oleh degradasi dasar sungai. Oleh karena itu, dianjurkan untuk menentukan kedalaman air hilir berdasarkan degradasi sungai yang akan terjadi dimasa datang.



Gambar 2.17. Batas minimum tinggi air hilir

Dari penyelidikan model terhadap bak tetap, IHE menyimpulkan bahwa pengaruh kedalaman tinggi air hilir terhadap bekerjanya bak sebagai peredam energi, ditentukan oleh perbandingan h_2/h_1 (lihat gambar 2.16). Jika h_2/h_1 lebih tinggi dari $2/3$, maka aliran akan menyelam ke dalam bak dan tidak ada efek perdam yang bisa diharapkan.



Gambar. 2.18. Batas maksimum tinggi air hilir

2.4.5.3 Tinjauan Terhadap Scouring (Gerusan)

Panjang lindungan dari pasangan batu kosong ini sebaiknya diambil 4 kali kedalaman gerusan lokal dihitung secara empiris dengan rumus Lacey.

$$R = 0,47 * \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3}$$

dimana :

R = Kedalaman gerusan dibawah permukaan air banjir (m)

Q = Debit (m^3/dtk)

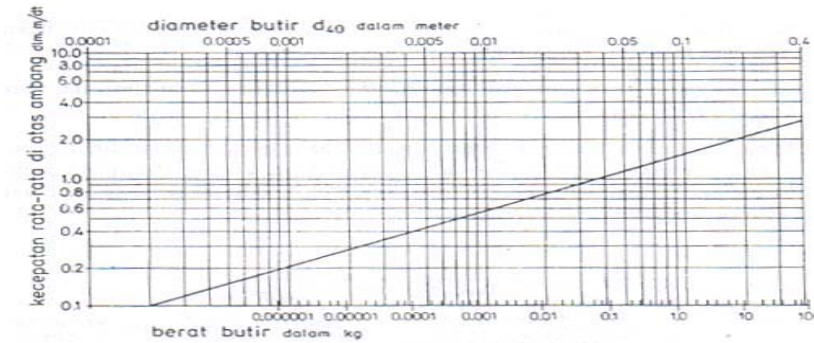
f = Faktor Lumpur Lacey

$$f = 1,76 * Dm^{0.5}$$

Dm = Diameter tengah untuk bahan jelek, mm

Untuk menghitung turbelensi dan aliran yang tidak stabil, R ditambah 1.5-nya lagi (data empiris).Tebal lapisan pasangan batu kosong diambil 2 sampai 3 kali d_{40} , dicari dari kecepatan rata-rata aliran dengan bantuan Gambar 2.17.

Gambar 2.17. dapat dipakai untuk menentukan d_{40} dari campuran pasangan batu kosong dari kecepatan rata-rata selama terjadi debit rencana diatas ambang bangunan. d_{40} dari campuran berarti bahwa 60 % dari campuran ini sama diameternya atau lebih besar. Ukuran batu hendaknya hampir sama ke semua arah.



Gambar 2.19. Grafik untuk perencanaan ukuran pasangan batu kosong

2.4.6. Stabilitas Bendung

Konstruksi bendung harus kuat menahan gaya-gaya yang bekerja, baik dari berat konstruksi itu sendiri maupun gaya-gaya dari luar. Dalam analisis stabilitas bendung ini juga ditinjau apakah daya dukung tanah dasar memenuhi syarat atau tidak.

Gaya-gaya yang diperhitungkan dalam perencanaan ini adalah gaya :

- Berat sendiri konstruksi.
- Gaya Gempa.
- Gaya angkat (*Up Lift Pressure*).
- Tekanan hidrostatis.
- Tekanan tanah aktif dan pasif.
- Tekanan lumpur.

Setelah mendapatkan gaya-gaya yang bekerja pada bendung, kemudian direkapitulasi untuk menganalisa stabilitas pelimpah.

Analisa stabilitas bendung di lakukan terhadap :

- Bahaya Guling.
- Bahaya Geser.
- Eksentrisitas.
- Erosi Bawah tanah (piping).
- Daya dukung tanah.

2.4.6.1 Gaya-gaya yang bekerja pada Bangunan Bendung

Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan adalah sebagai berikut :

1. Tekanan Air.
2. Beban Mati Bangunan Struktur.

Tekanan Tanah terhadap Konstruksi Bendung

Garis tangkap (line of action) resultan dari gaya yang bekerja pada bangunan yang di tinjau terhadap titik O adalah :

$$h = \frac{Mh}{Rh}$$

$$v = \frac{Mv}{Rv}$$

Dimana :

h = Garis tangkap searah horizontal (m).

v = Garis tangkap searah vertikal (m).

Mv = Momen guling vertikal (kNm).

Mh = Momen guling horizontal (kNm).

Rv = Jumlah gaya searah vertikal (kN).

Rh = Jumlah gaya searah horizontal (kN).

Eksentrisitas : $e = \frac{L}{2} - \frac{M}{Rv} < 1/6 L$

Tekanan Tanah : $\sigma = \frac{Rv}{L} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right)$

Daya dukung yang diijinkan tergantung dari jenis tanah dasar.

Keamanan terhadap gelincir meliputi bagian tekanan tanah pasif di ujung hilir konstruksi. Karena perkembangan tekanan pasif memerlukan gerak, maka hanya separuh dari tekanan yang dihitung.

Juga dengan mempertimbangkan gerusan yang akan terjadi sampai setengah kedalaman pondasi, tekanan tanah pasif ep_1 menjadi :

$$ep_1 = 0,5(\gamma_s - \gamma_w) \cdot x \cdot g \cdot x \cdot 0,5h \cdot x \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

sehingga tekanan tanah pasif menjadi :

$$Ep_1 = 0,5 \times 0,5h \times ep_1$$

2.4.6.2. Stabilitas Terhadap Bahaya Guling

Kontrol stabilitas terhadap pengaruh guling di hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$S = f \frac{\sum M_v}{\sum M_h}$$

dimana :

S = Angka keamanan terhadap guling > 2 .

f = Koefisien gesekan.

$\sum M_v$ = Kumulatif momen vertikal.

$\sum M_h$ = Kumulatif momen horizontal.

Nilai f merupakan nilai koefisien gesekan yang diperoleh dari tabel berikut.

Tabel. 2.20. Harga – harga perkiraan Koefisien gesekan

Bahan	f
Pasangan batu pada pasangan batu	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

2.4.6.3. Stabilitas Terhadap Bahaya Geser

Kestabilan kontruksi terhadap bahaya geser yang akan terjadi dihitung dengan rumus

:

$$S = f \frac{\sum R_v}{\sum R_h}$$

Dimana :

S = Angka keamanan terhadap geser $> 1,5$.

f = Koefisien gesekan.

$\sum R_v$ = Kumulatif gaya vertikal.

$\sum R_h$ = Kumulatif gaya horizontal.

2.4.6.4. Stabilitas Terhadap Keamanan Erosi Bawah Tanah (*piping*)

Untuk mencegah pecahnya bagian hilir bangunan, harga keamanan terhadap erosi tanah harus sekurang-kurangnya 2. Nilai keamanan dihitung dengan rumusan berikut.

$$S = \frac{s(1 + a/s)}{hs}$$

Dimana :

S = Factor tekanan.

s = Kedalaman tanah.

a = Tebal lapisan lindung.

hs = Tekanan air pada titik pada titik O.

