

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Embung merupakan bangunan penyimpanan air yang dibangun di daerah depresi, yaitu bangunan air sejenis waduk tetapi dalam ukuran yang lebih kecil. Dalam perencanaannya diperlukan berbagai bidang ilmu pengetahuan yang saling mendukung demi kesempurnaan hasil perencanaan. Bidang ilmu pengetahuan itu antara lain geologi, hidrologi, hidrolika, mekanika tanah, serta rekayasa di bidang sipil lainnya (Soedibyo, 1993).

Setiap daerah aliran sungai mempunyai sifat-sifat khusus yang berbeda, hal ini memerlukan kecermatan dalam menerapkan suatu teori yang cocok pada daerah pengaliran. Oleh karena itu, sebelum memulai perencanaan konstruksi embung, perlu adanya kajian pustaka untuk menentukan spesifikasi-spesifikasi yang akan menjadi acuan dalam perencanaan pekerjaan konstruksi tersebut. Dalam tinjauan pustaka ini juga dipaparkan secara singkat mengenai analisis hidrologi, dasar-dasar teori perencanaan embung yang akan digunakan dalam perhitungan konstruksi dan bangunan pelengkapannya (Soemarto, 1999).

2.2. Analisis Hidrologi

Dalam pelaksanaan analisis hidrologi langkah pertama yang harus dilakukan adalah pengumpulan berbagai macam data hidrologi. Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai penomona 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 Embung Paras 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

a. Curah Hujan Area

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 beberapa cara, antara lain :

– Metode Rata-Rata Aljabar

Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithematic mean*) dari penakar hujan areal tersebut dibagi dengan jumlah stasiun pengamatan. (Sosrodarsono, 1976).

$$R = 1/n (R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

di mana,

- R = curah hujan daerah (mm)
 n = jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan
 R₁, R₂, ..., R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan

Cara ini digunakan apabila :

- Daerah tersebut berada pada daerah yang datar
- Penempatan alat ukur tersebar merata

- Penakaran masing-masing pos penakaran tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos si seluruh areal (Soemarto, 1999).

– **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 :

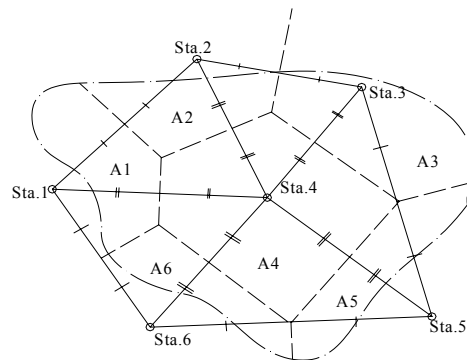
$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (\text{Sosrodarsono, 2003})$$

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 (Km²)



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

– **Metode Rata – Rata Isohyet**

Dengan cara ini, kita dapat menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*isohyet*). Kemudian luas bagian diantara *isohyet-isohyet* yang berdekatan diukur, dan nilai rata-rata dihitung sebagai nilai rata-rata timbang nilai kontur, kemudian dikalikan dengan masing-masing luasnya. Hasilnya dijumlahkan

dan dibagi dengan luas total daerah, maka akan didapat curah hujan areal yang dicari.

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} A_1 + \frac{R_3 + R_4}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n + R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

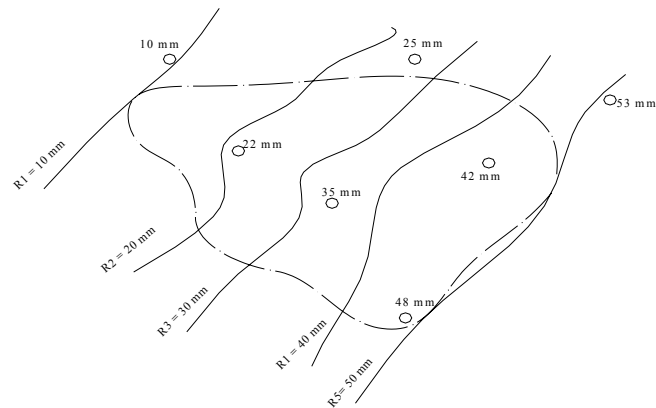
(Sosrodarsono, 1983)

di mana :

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

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

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas bagian yang dibatasi oleh *isohyet-isohyet* (Km²)



Gambar 2.2 Metode *Isohyet*

Metode ini digunakan dengan ketentuan :

- Dapat digunakan pada daerah datar maupun pegunungan
- Jumlah stasiun pengamatan harus banyak
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat

b. Analisis Curah Hujan Rencana

Ada beberapa metode analisis frekuensi yang dapat digunakan untuk menganalisis besar curah hujan rencana, yaitu :

– Metode Gumbel Tipe I

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

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

di mana :

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 2.1)

S_n = deviasi standar dari reduksi variat (*mean of reduced variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2.1 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 2.2 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 2.3 *Reduced Variate* (Y_t) (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

– **Metode Distribusi *Log Pearson III***

Metode *Log Pearson III* banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum dan minimum. 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 :

$$Y = \bar{Y} + k.S \quad (\text{Soewarno, 1999})$$

di mana :

X = curah hujan

Y = nilai logaritmik dari X atau log X

\bar{Y} = rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y

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

S = deviasi standar nilai Y

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

k = karakteristik distribusi peluang *log-pearson* tipe III yang merupakan fungsi dari koefisien kemencengan CS. (Dari Tabel 2.4 didapat nilai k)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)(S \log X)^3}$$

Tabel 2.4 Distribusi *Log PEARSON* Tipe III Untuk Koefisien Kemencengan Cs
(Dikutip dari DR. M.M.A. SHANIN/*Statistical Analysis In Hydrology*)

Koefisien Cs	Waktu Balik Dalam 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	3,147	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	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-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	1,448	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	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	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

– **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 :

$$X = \bar{X} + k.S \quad (\text{Soewarno, 1995})$$

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 (Soewarno, 1995)

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

c. 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).

– 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 2.6 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

- **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 2.7) menggunakan grafis.

Tabel 2.7 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

2.2.2. 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.

a. Menurut *Dr. Mononobe*

Rumus yang dipakai :

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

di mana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

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

t = lamanya curah hujan (jam)

b. Menurut *Sherman*

Rumus ini cocok unruk $t < 2$ jam. Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{t^b} \quad (\text{Soemarto, 1999})$$

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

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

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

c. Menurut Talbot

Rumus yang dipakai :

$$I = \frac{a}{(t + b)} \quad (\text{Soemarto, 1999})$$

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

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

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

d. Menurut Ishiguro

Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \quad (\text{Soemarto,1999})$$

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

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

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

2.2.3. Analisis Debit Banjir Rencana

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

a. Metode Rasional

Rumus yang dipakai:

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

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

T = Waktu konsentrasi = L/W

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

Di mana :

Q = Debit maksimum (m³/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 2.8

Tabel 2.8 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

b. Metode Der Weduwen

Rumus dari Metode *Weduwen* adalah sebagai berikut :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \quad (\text{Petunjuk Perencanaan Irigasi, 1986})$$

di mana :

$$t = 0,25LQ^{-0,125}I^{-0,25}$$

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

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

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

di mana :

Q_t = Debit banjir rencana (m^3/det)

R_n = Curah hujan maksimum (mm/hari)

α = Koefisien pengaliran

β = Koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = Debit persatuan luas ($m^3/det.Km^2$)

t = Waktu konsentrasi (jam)

A = Luas daerah pengaliran (Km^2)

L = Panjang sungai (Km)

I = Gradien sungai atau medan

Adapun syarat dalam perhitungan debit banjir dengan Metode *Weduwen* adalah sebagai berikut :

A = Luas daerah pengaliran $< 100 Km^2$

t = 1/6 sampai 12 jam

c. Metode *Haspers*

Untuk menghitung besarnya debit dengan Metode *Haspers* digunakan persamaan sebagai berikut :

Rumus *Haspers* : $Q_t = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A$ (Loebis,1984)

di mana :

– Koefisien *Runoff* (α)

$$\alpha = \frac{1 + 0.012A^{0.7}}{1 + 0.75A^{0.7}}$$

– Koefisien Reduksi (β)

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

– Waktu konsentrasi (t)

$$t = 0.1 L^{0.8} I^{-0.3}$$

– Intensitas Hujan

- Untuk $t < 2$ jam

$$Rt = \frac{tR24}{t + 1 - 0.0008 \times (260 - R24)(2 - t)^2}$$

- Untuk $2 \text{ jam} \leq t \leq 19 \text{ jam}$

$$R_t = \frac{tR_{24}}{t+1}$$

- Untuk $19 \text{ jam} \leq t \leq 30 \text{ jam}$

$$R_t = 0.707R_{24}\sqrt{t+1}$$

di mana t dalam jam dan R_t, R_{24} (mm)

- Hujan maksimum (q)

$$q_n = \frac{Rn}{3.6 \times t} \quad \text{di mana } t \text{ dalam (jam), } q \text{ (m}^3/\text{km}^2/\text{sec)}$$

di mana :

Q_t = Debit banjir rencana (m^3/det)

R_n = Curah hujan maksimum (mm/hari)

q_n = Debit persatuan luas ($\text{m}^3/\text{det.Km}^2$)

Adapun langkah-langkah dalam menghitung debit puncak adalah sebagai berikut (Loebis, 1984) :

- Menentukan besarnya curah hujan sehari (R_h rencana) untuk periode ulang rencana yang dipilih
- Menentukan koefisien runoff untuk daerah aliran sungai
- Menghitung luas daerah pengaliran, panjang sungai dan gradien sungai untuk daerah aliran sungai
- Menghitung nilai waktu konsentrasi
- Menghitung koefisien reduksi, intensitas hujan, debit persatuan luas dan debit rencana.

d. Metode FSR Jawa dan Sumatra

Rumus – rumus dan Notasi (Wilson, 1993):

AREA = Luas DAS (km^2)

PBAR = Hujan maksimum rata – rata tahunan selama 24 jam

APBAR = Hujan terpusat maksimum rata – rata tahunan selama 24 jam

ARF = Faktor reduksi ($1,152 - 0,1233 \log \text{AREA}$)

MSL = Jarak maksimum dari tempat pengamatan sampai batas terjauh yang diukur 90 % dari panjang sungai (km)

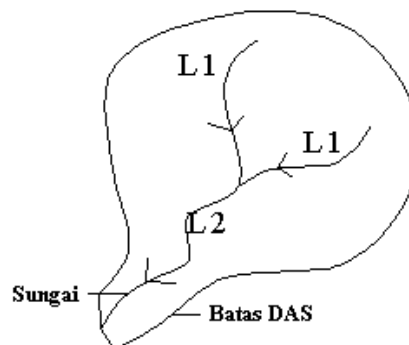
H = Beda tinggi titik pengamatan dengan titik diujung sungai (m)

- SIMS = Indeks kemiringan (H/MSL)
 LAKE = Indeks danau yang besarnya antara 0-0,25
 MAF = Debit maksimum rata – rata tahunan (m^3/detik)
 GF = Grown factor (m^3/detik)
 $V = 1,02 - 0,0275 \log (\text{AREA})$
 $\text{MAF} = 8.10^{-6} \times \text{AREA}^V \times \text{APBR}^{2,445} \times \text{SIMS}^{0,117} \times (1 + \text{LAKE})^{-0,85}$
 QT = Debit banjir untuk periode ulang T tahun (m^3/detik)

e. 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 tingkat 1 (L2)
 - Jumlah sungai tingkat 1
 - Jumlah sungai semua tingkat
 - Jumlah Pertemuan Sungai (JN)



Gambar 2.3 Sketsa penetapan panjang dan tingkat sungai

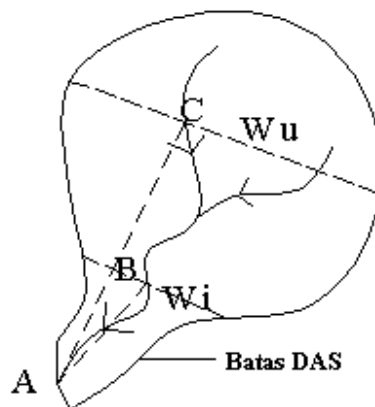
- Kelandaian sungai (S)
 $S = D / L$

- 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)

$$WF = W_u / W_i$$



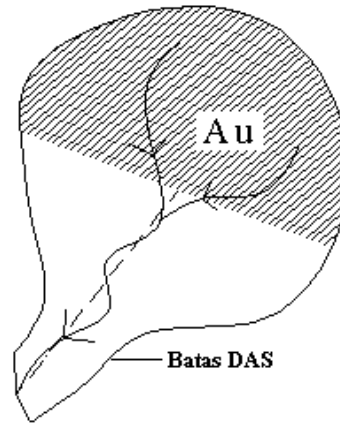
Gambar 2.4 Sketsa penetapan WF

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

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

- 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)

$$RUA = A_u / A$$



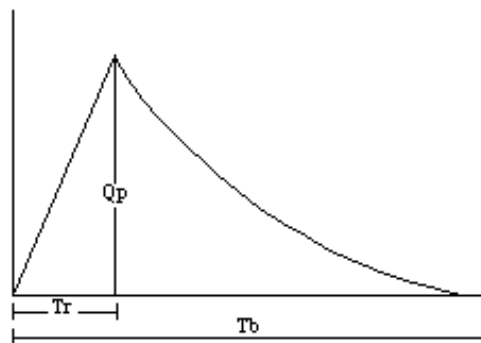
Gambar 2.5 Sketsa penetapan RUA

- 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 :

$$k = 0,5617.A^{0,1798}.S^{-0,1446}.SF^{-1,0987}.D^{0,0452}$$
- Membuat unit hidrograf dengan menggunakan persamaan :

$$Q_t = Q_p.e^{-t/k}$$
- Membuat besar aliran dasar QB dengan menggunakan persamaan :

$$QB = 0,4751.A^{0,6444}.D^{0,9430}$$
- Menghitung indeks infiltrasi berdasarkan persamaan :

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6}.A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} (A/SN)^4$$
- Menghitung distribusi hujan efektif untuk memperoleh hidrograf dengan metode Φ indeks , kemudian dapat dihitung dengan hidrograf banjirnya .

$$Re = 1 - \Phi$$

(Sri Harto,1981)

2.2.4. Perhitungan Volume Tampungan

Kapasitas tampung yang diperlukan untuk sebuah embung adalah :

$$V_n = V_u + V_e + V_i + V_s$$

di mana :

V_n = volume tampungan embung total (m^3)

V_u = volume hidup untuk melayani berbagai kebutuhan (m^3)

V_e = volume penguapan dari kolam embung (m^3)

V_i = jumlah resapan melalui dasar, dinding, dan tubuh embung (m^3)

V_s = ruangan yang disediakan untuk sedimen (m^3)

2.2.4.1 Volume Tampungan Untuk Melayani Kebutuhan

Penentuan volume tampungan embung dapat digambarkan pada *mass curve* kapasitas tampungan. Volume tampungan merupakan selisih maksimum yang terjadi antara komulatif kebutuhan terhadap komulatif *inflow*.

2.2.4.2 Volume Kehilangan Air Oleh Penguapan

Untuk mengetahui besarnya volume penguapan yang terjadi pada muka embung dihitung dengan rumus :

$$V_e = E_a \times S \times A_g \times d$$

di mana :

V_e = volume air yang menguap tiap bulan (m^3)

E_a = evaporasi hasil perhitungan (mm/hari)

S = penyinaran matahari hasil pengamatan (%)

A_g = luas permukaan kolam embung pada setengah tinggi tubuh embung (m^2)

d = jumlah hari dalam satu bulan

Untuk memperoleh nilai evaporasi dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$E_a = 0,35(e_a - e_d) (1 - 0,01V)$$

di mana :

e_a = tekanan uap jenuh pada suhu rata-rata harian (mm/Hg)

e_d = tekanan uap sebenarnya (mm/Hg)

V = kecepatan angin pada ketinggian 2 m di atas permukaan tanah

2.2.4.3 Volume Resapan Embung

Besarnya volume kehilangan air akibat resapan melalui dasar, dinding, dan tubuh embung tergantung dari sifat lulu air material dasar dan dinding kolam. Sedangkan sifat ini tergantung pada jenis butiran tanah atau struktur batu pembentuk dasar dan dinding kolam. Perhitungan resapan air ini menggunakan Rumus praktis untuk menentukan besarnya volume resapan air kolam embung, sebagai berikut :

$$V_i = K.V_u$$

di mana :

V_i = jumlah resapan tahunan (m^3)

V_u = volume hidup untuk melayani berbagai kebutuhan (m^3)

K = faktor yang nilainya tergantung dari sifat lulus air material dasar dan dinding kolam embung.

$K = 10\%$, bila dasar dan dinding kolam embung praktis rapat air ($k \leq 10^{-5}$ cm/d) termasuk penggunaan lapisan buatan (selimut lempung, geomembran, “*rubber sheet*”, semen tanah).

$K = 25\%$, bila dasar dan dinding kolam embung bersifat semi lulus air ($k = 10^{-3} - 10^{-4}$ cm/d)

2.2.4.4 Volume yang Disediakan Untuk Sedimen

Perkiraan laju sedimentasi dalam studi ini dimaksudkan untuk memperoleh angka sedimentasi dalam satuan m^3 /tahun, guna memberikan perkiraan angka yang lebih pasti untuk penentuan ruang sedimen. Perhitungan perkiraan laju sedimentasi meliputi :

1. Erosivitas Hujan

Erosi lempeng sangat bergantung dari sifat hujan yang jatuh dan ketahanan tanah terhadap pukulan butir-butir hujan serta sifat gerakan aliran air di atas permukaan tanah sebagai limpasan permukaan. Untuk menghitung besarnya indeks erosivitas hujan digunakan rumus sebagai berikut :

$$E I_{30} = E \times I_{30} \times 10^{-2}$$

$$E = 14,374 R^{1,075}$$

$$I_{30} = \frac{R}{77,178 + 1,010R}$$

di mana :

$E I_{30}$ = indeks erosivitas hujan (ton cm/Ha.jam)

E = energi kinetik curah hujan (ton m/Ha.cm)

R = curah hujan bulanan (mm)

I_{30} = intensitas hujan maksimum selama 30 menit

2. Erodibilitas Tanah

Erodibilitas merupakan ketidakanggapan tanah untuk menahan pukulan butir-butir hujan. Tanah yang mudah tererosi pada saat dipukul oleh butir-butir hujan mempunyai erodibilitas yang tinggi. Erodibilitas dari berbagai macam tanah hanya dapat diukur dan dibandingkan pada saat terjadi hujan. Erodibilitas tanah merupakan ukuran kepekaan tanah terhadap erosi yang

ditentukan oleh sifat fisik dan kandungan mineral tanah. Erodibilitas tanah dapat dinilai berdasarkan sifat-sifat fisik tanah sebagai berikut :

- a. Tekstur tanah yang meliputi :
 - fraksi debu (ukuran 2 – 50 μ m)
 - fraksi pasir sangat halus (50 – 100 μ m)
 - fraksi pasir (100 – 2000 μ m)
- b. Kadar bahan organik yang dinyatakan dalam %.
- c. Permeabilitas yang dinyatakan sebagai berikut :
 - sangat lambat (< 0,12 cm/jam)
 - lambat (0,125 – 0,5 cm/jam)
 - agak lambat (0,5 – 2,0 cm/jam)
 - sedang (2,0 – 6,25 cm/jam)
 - agak cepat (6,25 – 12,25 cm/jam)
 - cepat (> 12,5 cm/jam)
- d. Struktur dinyatakan sebagai berikut :
 - granular sangat halus : tanah liat berdebu
 - granular halus : tanah liat berpasir
 - granular sedang : lempung berdebu
 - granular kasar : lempung berpasir

3. Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

Proses erosi dapat terjadi pada lahan dengan kemiringan lebih besar dari 2%. Derajat kemiringan lereng sangat penting, karena kecepatan air dan kemampuan untuk memecah dan mengangkat partikel-partikel tanah tersebut akan bertambah besar secara eksponensial dari sudut kemiringan lereng. Nilai faktor LS dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Untuk kemiringan lereng lebih kecil 20%

$$LS = L/100 (0,76 + 0,53 + 0,076 S^2)$$

Dalam sistem metrik rumus tersebut berbentuk :

$$LS = L/100 (0,0136 + 0,0965 S + 0,0139 S^2)$$

- Untuk kemiringan lereng > 20%

$$LS = \left(\frac{L}{22,1} \right)^{0,6} \times \left(\frac{S}{9} \right)^{1,4}$$

di mana :

L = panjang lereng (m)

S = kemiringan lereng (%)

4. Faktor Konservasi Tanah dan Pengelolaan Tanaman

- a. Faktor indeks konservasi tanah (faktor P). Nilai indeks konservasi tanah dapat diperoleh dengan membagi kehilangan tanah dari lahan yang diberi perlakuan pengawetan, terhadap tanah tanpa pengawetan.
- b. Faktor indeks pengelolaan tanaman (C). Merupakan angka perbandingan antara erosi dari lahan yang ditanami sesuatu jenis tanaman dan pengelolaan tertentu dengan lahan serupa dalam kondisi dibajak tetapi tidak ditanami.
- c. Faktor indeks pengelolaan tanaman dan konservasi tanah (faktor CP). Jika faktor C dan P tidak bisa dicari tersendiri.

Tabel 2.9 Faktor CP Untuk Penggunaan Lahan di Pulau Jawa (Asdak,1995)

Konservasi dan pengelolaan tanaman	Nilai CP
Hutan :	
a. tak terganggu	0,01
b. tanpa tumbuhan bawah, disertai seresah	0,05
c. tanpa tumbuhan bawah, tanpa seresah	0,50
Semak :	
a. tak terganggu	0,01
b. sebagian berumput	0,10
Kebun :	
a. kebun-talun	0,02
b. kebun-pekarangan	0,20
Perkebunan :	
a. penutupan tanah sempurna	0,01
b. penutupan tanah sebagian	0,07
Perumputan :	
a. penutupan tanah sempurna	0,01
b. penutupan tanah sebagian; ditumbuhi alang-alang	0,02
c. alang-alang : pembakaran sekali setahun	0,06
d. serai wangi	0,65
Tanaman pertanian :	
a. umbi-umbian	0,51
b. biji-bijian	0,51
c. kacang-kacangan	0,36

d. campuran	0,43
e. padi irigasi	0,02
Perladangan :	
a. 1 tahun tanam - 1 tahun bero	0,28
b. 1 tahun tanam - 2 tahun bero	0,19
Pertanian dengan konservasi :	
a. mulsa	0,14
b. teras bangku	0,04
c. <i>contour cropping</i>	0,14

5. Pendugaan Laju Erosi Potensial (E-Pot)

Erosi potensial adalah erosi maksimum yang mungkin terjadi di suatu tempat dengan keadaan permukaan tanah gundul sempurna, sehingga terjadinya proses erosi hanya disebabkan oleh faktor alam (tanpa keterlibatan manusia, tumbuhan, dan sebagainya), yaitu iklim, khususnya curah hujan, sifat-sifat internal tanah dan keadaan topografi tanah. Pendugaan erosi potensial dapat dihitung dengan pendekatan rumus berikut :

$$E-Pot = R \times K \times LS \times A$$

di mana :

E-Pot = erosi potensial (ton/tahun)

R = indeks erosivitas hujan

K = erodibilitas tanah

LS = faktor panjang dan kemiringan lereng

A = luas daerah aliran sungai (Ha)

6. Pendugaan Laju Erosi Aktual (E-Akt)

Erosi aktual terjadi karena adanya campur tangan manusia dalam kegiatannya sehari-hari, misalnya pengolahan tanah untuk pertanian dan adanya unsur-unsur penutup tanah. Penutupan permukaan tanah gundul dengan tanaman akan memperkecil terjadinya erosi, sehingga dapat dikatakan bahwa laju erosi aktual selalu lebih kecil dari pada laju erosi potensial. Ini berarti bahwa adanya keterlibatan manusia akan memperkecil laju erosi potensial. Dapat dikatakan bahwa erosi aktual adalah hasil ganda antara erosi potensial dengan pola penggunaan lahan tertentu, sehingga dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E\text{-Akt} = E\text{-Pot} \times CP$$

di mana :

E-Akt = erosi aktual di DAS (ton/ha/tahun)

E-Pot = erosi potensial (ton/ha/th)

CP = faktor tanaman dan pengawetan tanah

7. Pendugaan Laju Sedimentasi Potensial

Sedimentasi potensial adalah proses pengangkutan sedimen hasil dari proses erosi potensial untuk diendapkan di jaringan irigasi dan lahan persawahan atau tempat-tempat tertentu. Tidak semua sedimen yang dihasilkan erosi aktual menjadi sedimen, dan hal ini tergantung dari perbandingan antara volume sedimen hasil erosi aktual yang mampu mencapai aliran sungai dengan volume sedimen yang bisa diendapkan dari lahan di atasnya (SDR = *Sedimen Delivery Ratio*). Nilai SDR tergantung dari luas DPS, yang erat hubungannya dengan pola penggunaan lahan. Dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SDR = \frac{S (1 - 0,8683 A^{-0,2018})}{2 (S + 50n)} + 0,8683 A^{-0,2018}$$

di mana :

SDR = rasio pelepasan sedimen, nilainya $0 < SDR < 1$

A = luas DAS (Ha)

S = kemiringan lereng rata-rata permukaan DAS (%)

N = koefisien keksaran manning

Pendugaan laju sedimentasi potensial yang terjadi di suatu DAS dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S\text{-Pot} = E\text{-Akt} \times SDR$$

di mana :

SDR = sedimen delivery ratio

S-Pot = sedimentasi potensial

E-Akt = erosi aktual

2.2.5 Analisis Kebutuhan Air

2.2.5.1 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah besarnya debit air yang akan dipakai untuk mengairi lahan di daerah irigasi. Menurut jenisnya ada dua macam pengertian kebutuhan air, yaitu :

1. Kebutuhan air bagi tanaman (*Consumtif 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 :

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

di mana :

I_r = kebutuhan air (mm/hari)

E = evaporasi (mm/hari)

T_c = transpirasi (mm)

P = perkolasi (mm)

R = infiltrasi (mm)

W = tinggi genangan (mm)

R_e = hujan efektif (mm/hari)

(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan)

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 sepanjang saluran pembawa, dari bangunan pengambilan sampai dengan petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan penyadapan secara liar.

2.2.5.1.1 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 perhitungsn *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 :

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

di mana :

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

$$\begin{aligned} H_{sh}^{ne} &= \text{Jaringan radiasi gelombang pendek (longley/day)} \\ &= \{ 1,75 \{ 0,29 \cos \Omega + 0,52 r \times 10^{-2} \} \} \times \alpha a^h_{sh} \times 10^{-2} \\ &= \{ a_{ah} \times f(r) \} \times \alpha a^h_{sh} \times 10^{-2} \\ &= a_{ah} \times f(r) \text{ (Tabel Penman 5)} \end{aligned}$$

A = albedo (koefisien reaksi), tergantung pada lapisan permukaan yang ada. Untuk rumput = 0,25

$$\begin{aligned} R_a &= \alpha a^h \times 10^{-2} \\ &= \text{Radiasi gelombang pendek maksimum secara teori (Longley/day)} \\ &= \text{jaringan radiasi gelombang panjang (Longley/day)} \\ &= 0,97 \alpha T_{ai}^4 \times (0,47 - 0,770 \sqrt{ed} x \{ 1 - 8/10(1 - r) \}) \end{aligned}$$

$$H_{sh}^{ne} = f(T_{ai}) \times f(T_{dp}) \times f(m)$$

$$f(T_{ai}) = \alpha T_{ai}^4 \text{ (Tabel Penman 1)}$$

= efek dari temperatur radiasi gelombang panjang

$$m = 8(1 - r)$$

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

= efek dari angka nyata dan jam penyinaran matahari terang maksimum pada radiasi gelombang panjang

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 di atas tanah
(Tabel Penman 3)

PZ^{wa} = e_a = tekanan uap jenuh (mmHg) (Tabel Penman 3)

= e_d = tekanan uap yang terjadi (mmHg) (Tabel Penman 3)

L = panas laten dari penguapan (*longley/minutes*)

Δ = kemiringan tekanan uap air jenuh yang berlawanan dengan dengan kurva temperatur pada temperatur udara (mmHg⁰C)

δ = konstanta Bowen (0,49 mmHg⁰C), kemudian dihitung Eto.

catatan : 1 *longley/day* = 1 kal/cm²hari

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 :

a. Berdasarkan kemiringan :

1. lahan datar = 1 mm/hari

2. lahan miring > 5% = 2 – 5 mm/hari

b. 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 Paras diambil sebesar 2 mm/hari.

3. Koefisien Tanaman (Kc)

Besarnya koefisien tanaman (Kc) tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhan. Pada perhitungan ini digunakan koefisien tanaman untuk padi dengan varietas unggul mengikuti ketentuan Nedeco/Prosida. Harga-harga koefisien tanaman padi dan palawija disajikan pada Tabel 2.10 sebagai berikut ini.

Tabel 2.10 Koefisien Tanaman Untuk Padi dan Palawija Menurut Nedeco/Prosida (Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985)

Bulan	Padi		Palawija	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Jagung	Kacang Tanah
0,50	1,20	1,20	0,50	0,50
1,00	1,20	1,27	0,59	0,51
1,50	1,32	1,33	0,96	0,66
2,00	1,40	1,30	1,05	0,85
2,50	1,35	1,15	1,02	0,95
3,00	1,24	0,00	0,95	0,95
3,50	1,12			0,95
4,00	0,00			0,55
4,50				0,55

4. 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% kemungkinan curah hujan bulanan rata-rata tak terpenuhi.

b. Koefisien Curah Hujan Efektif

Besarnya koefisien curah hujan efektif untuk tanaman padi berdasarkan Tabel 2.11 :

Tabel 2.11 Koefisien Curah Hujan Untuk Padi (Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 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	0,20	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 2.12

Tabel 2.12 Koefisien Curah Hujan Rata-rata Bulanan dengan ET Tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Mean Bulanan (FAO, 1977)

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 Rata-rata Bulanan/mm	25	8	16	24	Curah Hujan rata-rata bulanan/mm												
	50	8	17	25	32	39	46										
	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					

5. Kebutuhan Air Untuk Pengolahan Lahan

a. Pengolahan Lahan Untuk Padi

Kebutuhan air untuk pengolahan atau penyiraman lahan akan menentukan kebutuhan maksimum air irigasi. Faktor-faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah, yaitu besarnya penjemuran, lamanya pengolahan (periode pengolahan) dan besarnya evaporasi dan perkolasi yang terjadi.

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 2.13 berikut ini.

Tabel 2.13 Koefisien Kebutuhan Selama Penyiapan Lahan Air (Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, 1986)

Eo + P mm/hari	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	12,1
9,5	14,0	15,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

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 persemaian yang baru tumbuh.

6. 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 padi tanaman apabila terjadi pengurangan air (sampai tingkat tertentu) pada petak sawah sebelum pemberian pupuk.

2.2.5.1.2 Kebutuhan Air Untuk Irigasi

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.

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 = $100/80 = 1,25$

Analisis Kebutuhan Air Baku

Kebutuhan air baku di sini dititik beratkan pada penyediaan air baku untuk diolah menjadi air bersih (Ditjen Cipta Karya, 2000).

Menurut Ditjen Cipta Karya (2000) standar kebutuhan air ada dua, yaitu :

a. Standar kebutuhan air domestik

Standar kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air yang digunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan sehari-hari seperti ; memasak, minum, mencuci dan keperluan rumah tangga lainnya. Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari.

b. Standar kebutuhan air non domestik

Standar kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih diluar keperluan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik terdiri dari penggunaan komersil dan industri, yaitu penggunaan air oleh badan-badan komersil dan industri. Dan penggunaan umum, yaitu penggunaan air untuk bangunan-bangunan pemerintah, rumah sakit, sekolah-sekolah dan tempat-tempat ibadah.

Proyeksi kebutuhan air bersih dapat ditentukan dengan memperhatikan pertumbuhan penduduk untuk diproyeksikan terhadap kebutuhan air bersih sampai dengan lima puluh tahun mendatang atau tergantung dari proyeksi yang

dikehendaki (Soemarto, 1999). Hal yang berkaitan dengan proyeksi kebutuhan tersebut adalah :

a. Angka Pertumbuhan Penduduk

Angka pertumbuhan penduduk dihitung dengan prosentase memakai rumus :

$$\text{Angka Pertumbuhan (\%)} = \frac{\sum \text{AngkaPertumbuhan(\%)}}{\sum \text{Data}}$$

b. Proyeksi Jumlah Penduduk

Dari angka pertumbuhan penduduk di atas dalam prosen digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk sampai dengan lima puluh tahun mendatang. Meskipun pada kenyataannya tidak selalu tepat tetapi perkiraan ini dapat dijadikan sebagai dasar perhitungan volume kebutuhan air dimasa mendatang. Ada beberapa metode yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk antara lain yaitu:

1. Metode *Geometrical Increase*

Rumus yang digunakan (Soemarto, 1999) :

$$P_n = P_o + (1 + r)^n$$

di mana :

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun

r = prosentase pertumbuhan geometrical penduduk tiap tahun

n = periode waktu yang ditinjau

2. Metode *Arithmetical Increase*

Rumus yang digunakan (Soemarto, 1999) :

$$P_n = P_o + n.r$$

$$r = \frac{P_o - P_t}{t}$$

di mana :

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n
 P_o = jumlah penduduk pada awal tahun proyeksi
 r = angka pertumbuhan penduduk tiap tahun
 n = periode waktu yang ditinjau
 t = banyak tahun sebelum tahun analisis

3. Metode Proyeksi *Least Square*

Rumus yang digunakan (Soemarto, 1999) :

$$Y = a + b.x$$

$$a = \frac{\sum Y_i}{n}$$

$$b = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i Y_i}$$

di mana :

- Y = jumlah penduduk pada tahun proyeksi ke-n
 a = jumlah penduduk pada awal tahun
 b = penambahan penduduk tiap tahun
 n = jumlah tahun proyeksi dasar
 x = jumlah tahun proyeksi mendatang
 X_i = *Variable Coding*
 Y_i = data jumlah penduduk awal

2.2.6 Analisis Debit Andalan

Debit andalan adalah debit yang berhubungan dengan probabilitas atau nilai kemungkinan terjadinya. Debit andalan merupakan debit yang kemungkinannya sama atau melampaui yang diharapkan. Debit andalan yang dimaksud disini adalah debit yang mengalir pada suatu penampang sungai dalam suatu daerah aliran sungai (DAS)

Debit andalan merupakan debit minimal yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan air. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr.F.J. Mock berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran.

Prinsip perhitungan ini adalah bahwa hujan yang jatuh di atas tanah (presipitasi) sebagian akan hilang karena penguapan (evaporasi), sebagian akan hilang menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian akan masuk tanah (infiltrasi). Infiltrasi mula-mula menjenuhkan permukaan (*top soil*) yang kemudian menjadi perkolasi dan akhirnya keluar ke sungai sebagai *base flow*.

2.2.7 Neraca Air

Perhitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi atau tidak. Perhitungan neraca air ini pada akhirnya akan menghasilkan kesimpulan mengenai :

- a. Pola tanam akhir yang akan dipakai untuk jaringan irigasi yang sedang di rencanakan
- b. Penggambaran akhir daerah proyek irigasi.

Ada tiga unsur pokok dalam perhitungan Neraca Air yaitu:

- a. Kebutuhan Air
- b. Tersedianya Air
- c. Neraca Air

Embung

Embung adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menampung kelebihan air pada saat debit tinggi dan melepaskannya pada saat dibutuhkan.

Faktor yang menentukan didalam pemilihan tipe embung adalah:

1. Keadaan klimatologi setempat
2. Keadaan hidrologi setempat
3. Keadaan geologi setempat
4. Tersedianya bahan bangunan
5. Keadaan lingkungan setempat

Karakteristik secara umum bendungan urugan dan bendungan beton :

Tabel 2.14 Karakteristik Bendungan Beton dan Urugan (Soedibyo, 1993)

Bendungan Urugan	Bendungan Beton
1. Untuk lembah yang lebar	1. Untuk lembah yang sempit.
2. Alas lebar (beban/luas alas)kecil	2. Alas sempit (beban/luas alas) besar.
3. Daya dukung pondasi tidak perlu terlalu kuat.	3. Daya dukung pondasi harus kuat.
4. Material timbunan dapat diambil disekitar lokasi.	4. Bahan belum tentu ada di sekitar calon bendungan dan membutuhkan semen PC dalam jumlah besar.
5. Harga konstruksi relatif murah	5. Harga konstruksi relatif mahal.
6. Adanya bahaya rembesan, memungkinkan terjadinya longsor.	6. Diperlukan bangunan yang kokoh dan stabil.
7. Bangunan pengelak banjir tidak terletak pada satu lokasi	7. Bangunan pengelak banjir dapat menjadi satu dengan tubuh bendungan

2.3.1 Tipe Embung

Tipe embung dapat dikelompokkan menjadi empat keadaan yaitu :

1. Tipe Embung Berdasar Tujuan Pembangunannya

Ada dua tipe embung dengan tujuan tunggal dan embung serbaguna (Sudibyo, 1993) :

- (1). Embung dengan tujuan tunggal (*single purpose dams*) adalah embung yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk kebutuhan air baku atau irigasi (pengairan) atau perikanan darat atau tujuan lainnya tetapi hanya satu tujuan saja.
- (2). Embung serbaguna (*multipurpose dams*) adalah embung yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan misalnya : irigasi (pengairan), air minum dan PLTA, pariwisata dan irigasi dan lain-lain.

2. Tipe Embung Berdasar Penggunaannya (Sudiby, 1993).

- (1). Embung penampung air (*storage dams*) adalah embung yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan. Termasuk dalam embung penampung air adalah untuk tujuan rekreasi, perikanan, pengendalian banjir dan lain-lain.
- (2). Embung pembelok (*diversion dams*) adalah embung yang digunakan untuk meninggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air ke dalam sistem aliran menuju ke tempat yang memerlukan.
- (3). Embung penahan (*detention dams*) adalah embung yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seoptimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Air ditampung secara berkala/ sementara, dialirkan melalui pelepasan (*outlet*). Air ditahan selama mungkin dan dibiarkan meresap ke daerah sekitarnya.

3. Tipe Embung Berdasar Letaknya Terhadap Aliran Air

Ada dua tipe yaitu embung yaitu embung pada aliran (*on stream*) dan embung di luar aliran air (*off stream*) (Sudiby, 1993).

- (1). Embung pada aliran air (*on stream*) adalah embung yang dibangun untuk menampung air misalnya pada bangunan pelimpah (*spillway*).
- (2). Embung di luar aliran air (*off stream*) adalah embung yang umumnya tidak dilengkapi *spillway*, karena biasanya air dibendung terlebih dahulu di *on stream*-nya baru disuplesi ke tampungan. Kedua tipe ini biasanya dibangun berbatasan dan dibuat dari beton, pasangan batu atau pasangan bata.

4. Material Pembentuk Embung

Tubuh embung yang didesain menurut material pembentuk embung terbagi dalam beberapa tipe (Pedoman Kriteria Desain Embung, DPU, 1994), yaitu :

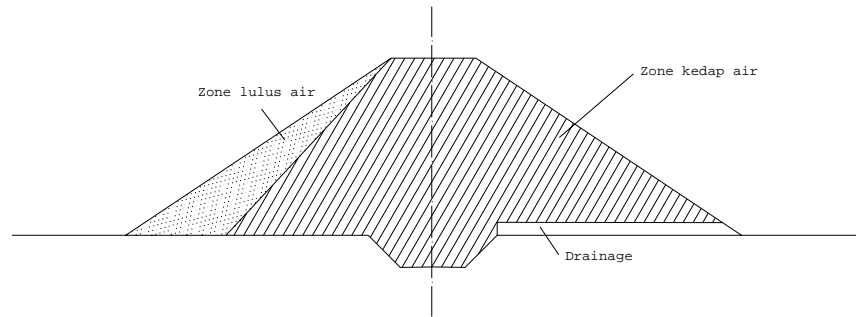
1. Tipe Urugan
2. Tipe Beton / pasangan batu
3. Tipe Komposit

1) Tipe urugan

Embung urugan (*fill dams, embankment dams*) adalah embung yang dibangun dari hasil penggalian bahan (material) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimia, jadi betul-betul bahan pembentuk embung asli. Embung ini masih dapat dibagi menjadi tiga yaitu embung urugan serba sama (*homogeneous dams*). Yang kedua adalah embung urugan zonal / majemuk. Yang ketiga adalah embung urugan bersekat.

a Tipe Urugan Homogen

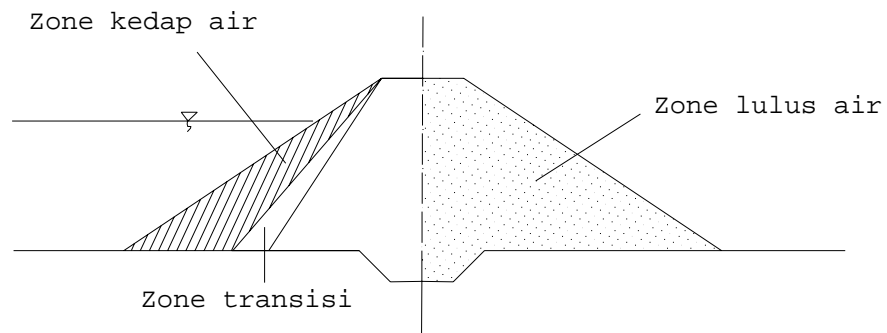
Tubuh embung dapat didesain sebagai urugan homogen, di mana bahan urugan seluruhnya atau sebagian besar hanya menggunakan satu macam material saja yaitu lempung atau tanah berlempung. Tubuh embung yang didesain dengan tipe ini harus memperhatikan kemiringan lereng dan muka garis preatik atau rembesan. Kemiringan lereng umumnya cukup landai terutama untuk menghindari terjadinya longsoran di lereng hulu pada kondisi surut cepat serta menjaga stabilitas lereng hilir pada kondisi rembesan langgeng. Untuk mengontrol rembesan diperlukan pembuatan system penyalir di kaki hilir urugan.



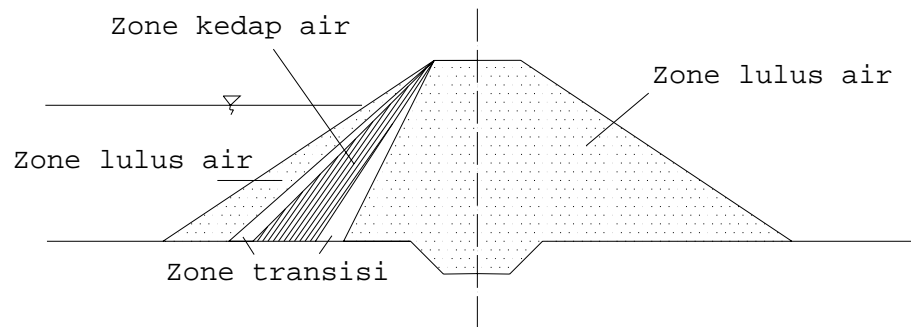
Gambar 2.7 Skema Embung Homogen

b Tipe Urugan Zonal / Majemuk

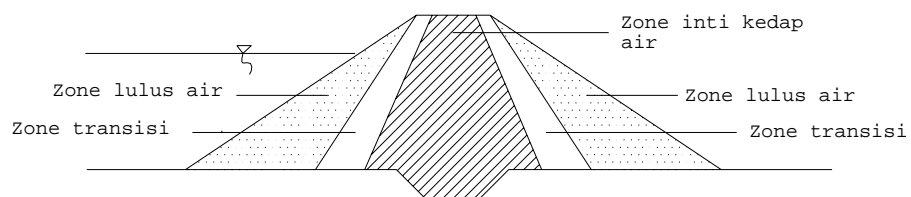
Tubuh embung dapat didesain sebagai urugan majemuk apabila tersedia material urugan lebih dari satu macam. Urugan terdiri dari urugan kedap air, urugan semi kedap air (transisi), dan urugan lulus air. Urugan kedap air atau inti kedap air umumnya dari lempung atau tanah berlempung, dan ditempatkan vertikal didesain di bagian tengah. Tanah bahan urugan inti harus mengandung lempung minimal 25% (perbandingan berat). Bagian inti tanah ini dilindungi dengan urugan semi kedap air di bagian hulu dan hilirnya. Sedangkan bagian paling luar terdiri dari urugan lulus air. Dengan susunan seperti itu koefisien kelulusan air dan gradasi material berubah secara bertahap, makin ke luar makin besar. Untuk mencegah terangkutnya butiran halus material urugan inti ke dalam urugan paling luar yang lulus air oleh aliran rembesan, maka urugan semi kedap air di hulu dan di hilir inti kedap air harus dapat berfungsi sebagai *filter* dan transisi. Apabila tanah bahan inti tidak dapat diperoleh di tempat, maka inti dapat dibuat dari bahan substitusi, misal : beton atau semen tanah. Bila bahan substitusi dipakai maka inti menjadi relatif tipis, tebal minimal 0,60 m, dan disebut dinding diafragma.



Gambar 2.8 Skema Embung Zonal Tirai



Gambar 2.9 Skema Embung Zonal Inti Miring

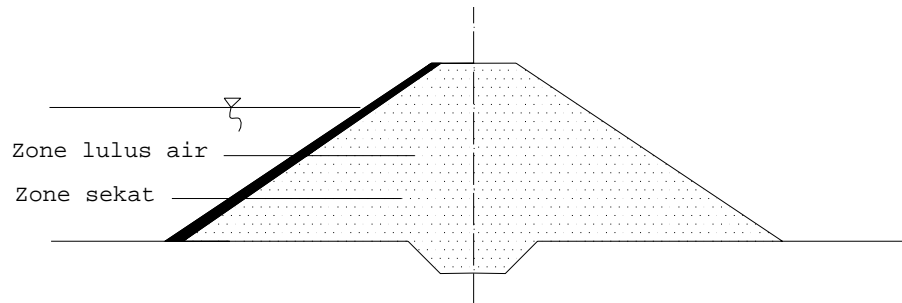


Gambar 2.10 Skema Embung Zonal Inti Vertikal

c Tipe Urugan Bersekat

Tubuh embung dapat didesain sebagai urugan bersekat apabila di lereng hulu tubuh embung dilapisi dengan sekat tidak lulus air (dengan kekedapan yang tinggi) seperti lembaran baja

tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, hamparan plastic, susunan beton blok dan lain-lain.



Gambar 2.11 Skema Embung Urugan Bersekat

2) Tipe Beton / Pasangan Batu

Embung beton (*concrete dam*) adalah embung yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya bagian hilir lebih landai dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya lebih ramping. Embung ini masih dibagi lagi menjadi : embung beton berdasar berat sendiri stabilitas tergantung pada massanya, embung beton dengan penyangga (*buttress dam*) permukaan hulu menerus dan dihilirnya pada jarak tertentu ditahan, embung beton berbentuk lengkung dan embung beton kombinasi.

3) Tipe Komposit

Tipe komposit dibangun pada fondasi yang terdiri dari satuan batu, dengan lembah yang cukup panjang. Bangunan pelimpah dibangun menjadi satu dengan tubuh embung. Bangunan pelimpah didesain sebagai pelimpah dari pasangan batu atau beton, sedang tubuh embung dibangun di kiri kanan pelimpah yang dapat didesain sebagai urugan homogen atau urugan majemuk.

Yang perlu diperhatikan di sini yaitu hubungan antara pelimpah dengan urugan tubuh embung, karena bagian kontak ini merupakan tempat yang kritis terhadap rembesan. Di bidang kontak antara pasangan batu / beton dengan urugan inti perlu diberi

tanah lempung yang sangat plastik dan dipadatkan dalam keadaan basah

2.3.2 Pemilihan Lokasi Embung

Embung merupakan salah satu bagian dari proyek secara keseluruhan maka letaknya juga dipengaruhi oleh bangunan-bangunan lain seperti bangunan pelimpah, bangunan penyadap bangunan pengeluaran, bangunan untuk pembelokan sungai dan lain-lain (Soedibyo, 1993).

Untuk menentukan lokasi dan denah embung harus memperhatikan beberapa faktor yaitu (Soedibyo,1993) :

1. Tempat embung merupakan cekungan yang cukup untuk menampung air, terutama pada lokasi yang keadaan geotekniknya tidak lurus air, sehingga kehilangan airnya hanya sedikit.
2. Lokasinya terletak di daerah manfaat yang memerlukan air sehingga jaringan distribusinya tidak begitu panjang dan tidak banyak kehilangan energi.
3. Lokasi embung terletak di dekat jalan, sehingga jalan masuk (*access road*) tidak begitu panjang dan lebih mudah ditempuh.

2.3.3 Rencana Teknis Pondasi

Keadaan geologi pada pondasi embung sangat mempengaruhi pemilihan tipe embung, oleh karena itu penelitian dan penyelidikan geologi perlu dilaksanakan dengan baik. Pondasi suatu embung harus memenuhi tiga persyaratan penting yaitu :

1. Mempunyai daya dukung yang mampu menahan bahan dari tubuh embung dalam berbagai kondisi.
2. Mempunyai kemampuan penghambat aliran filtrasi yang memadai, sesuai dengan fungsinya sebagai penahan air.
3. Mempunyai ketahanan terhadap gejala-gejala sufosi (*piping*) dan sembulan (*boiling*) yang disebabkan oleh aliran filtrasi yang melalui lapisan-lapisan pondasi tersebut.

Sesuai dengan jenis batuan yang membentuk lapisan pondasi, maka secara umum pondasi embung dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu :

1. Pondasi batuan (*rock foundation*)
2. Pondasi pasir atau kerikil
3. Pondasi tanah

Daya dukung (*bearing capacity*) tanah adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser.

Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah mendukung beban dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan.

Besarnya daya dukung batas terutama ditentukan oleh :

1. Parameter kekuatan geser tanah yang terdiri dari kohesi (C) dan sudut geser dalam (Φ)
2. Berat isi tanah (γ)
3. Kedalaman pondasi (Z_f)
4. Lebar dasar pondasi (B)

Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan dan dapat dirumuskan sebagai berikut (Braja, 1997)

$$qa = \frac{q_{ult}}{FK}$$

Perhitungan daya dukung batas untuk pondasi dangkal pada kondisi umum:

1. Pondasi menerus

$$q_{ult} = c \times N_c + \gamma \times D_f \times N_q + 0,5B \gamma \times N_\gamma$$

2. Pondasi persegi

$$q_{ult} = 1,3c \times N_c + \gamma \times D_f \times N_q + 0,4B \gamma \times N_\gamma$$

di mana :

qa = kapasitas daya dukung ijin

q_{ult} = kapasitas daya dukung maximum

FK = faktor keamanan (*safety factor*)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas daya dukung Terzaghi

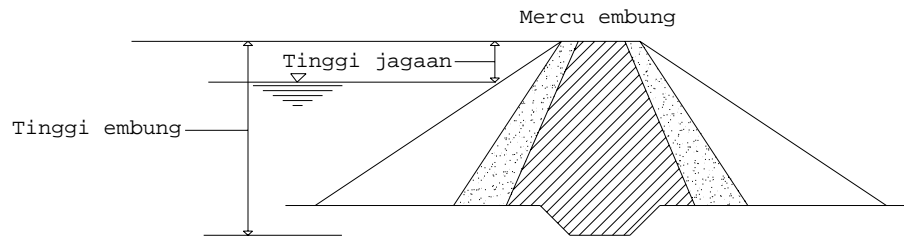
- c = kohesi tanah
 γ = berat isi tanah
 B = dimensi untuk pondasi menerus dan persegi (m)

2.3.4 Perencanaan Tubuh Embung

Beberapa istilah penting mengenai tubuh embung :

1. Tinggi Embung

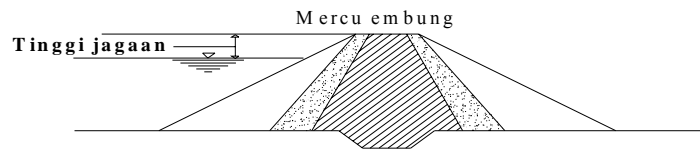
Tinggi embung adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu embung. Apabila pada embung dasar dinding kedap air atau zona kedap air, maka yang dianggap permukaan pondasi adalah garis perpotongan antara bidang vertikal yang melalui hulu mercu embung dengan permukaan pondasi alas embung tersebut. Tinggi maksimal untuk embung adalah 20 m (Loebis, 1984).



Gambar 2.12 Tinggi Embung (Loebis, 1984)

2. Tinggi Jagaan (*free board*)

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



Gambar 2.13 Tinggi Jagaan Pada Mercu Embung (Soedibyo, 1993)

Tinggi jagaan dimaksudkan untuk menghindari terjadinya peristiwa pelimpasan air melewati puncak bendungan sebagai akibat diantaranya dari

- a. Debit banjir yang masuk waduk.
- b. Gelombang akibat angin.
- c. Pengaruh pelongsoran tebing-tebing di sekeliling embung.
- d. Gempa.
- e. Penurunan tubuh bendungan.
- f. Kesalahan di dalam pengoperasian pintu.

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal antara puncak bendungan dengan permukaan air reservoir. Tinggi jagaan normal diperoleh sebagai perbedaan antara elevasi puncak bendungan dengan elevasi tinggi muka air normal di embung.

Tinggi jagaan minimum diperoleh sebagai perbedaan antara elevasi puncak bendungan dengan elevasi tinggi muka air maksimum di reservoir yang disebabkan oleh debit banjir rencana saat pelimpah bekerja normal.

Tinggi tambahan adalah sebagai perbedaan antara tinggi jagaan normal dengan tinggi jagaan minimum.

Tinggi jagaan diperoleh dari persamaan sebagai berikut ini.

Kriteria I :

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

Kriteria II :

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

dengan :

H_f = tinggi jagaan (m)

h_w = tinggi ombak akibat tiupan angin (m)

h_e = tinggi ombak akibat gempa (m)

h_a = perkiraan tambahan tinggi akibat penurunan tubuh bendungan (m)

h_i = tinggi tambahan (m)

Tambahan tinggi akibat gelombang (H_w) dihitung berdasarkan pada kecepatan angin, jarak seret gelombang (*fetch*) dan sudut lereng hulu dari bendungan.

Apabila didasarkan pada tinggi embung yang direncanakan, maka standar tinggi jagaan embung urugan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.15 Tinggi Jagaan (Soedibyo, 1993)

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 Puncak

Lebar puncak dari embung tipe urugan ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut ini.

- Bahan timbunan asli (alam) dan jarak minimum garis rembesan melalui timbunan pada elevasi muka air normal.
- Pengaruh tekanan gelombang di bagian permukaan lereng hulu.
- Tinggi dan tingkat kepentingan dari konstruksi bendungan.
- Kemungkinan puncak bendungan untuk jalan penghubung.
- Pertimbangan praktis dalam pelaksanaan konstruksi.

Formula yang digunakan untuk menentukan lebar puncak pada bendungan urugan sebagai berikut (USBR, 1987) :

$$w = \frac{z}{5} + 10$$

dengan :

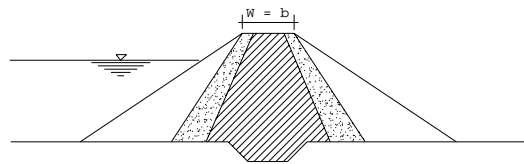
- w : lebar puncak bendungan (*feet*),
 z : tinggi bendungan di atas dasar sungai (*feet*).

Atau dengan menggunakan persamaan (Sosrodarsono, 1977) :

$$b = 3,6H^{\frac{1}{3}} - 3,0$$

dengan :

- b : lebar puncak (meter),
 H : tinggi bendungan (meter).



Gambar 2.14 Lebar Puncak Pada Embung

Untuk bendungan-bendungan kecil (Embung), yang di atasnya akan dimanfaatkan untuk jalan raya, lebar minimumnya adalah 4 meter, sementara untuk jalan biasa cukup 2,5 meter. Lebar bendungan kecil dapat digunakan pedoman sebagai berikut :

Tabel 2.16 Lebar Puncak Bendungan Kecil (Embung) yang Dianjurkan.
 (Sosrodarsono, 1977)

Tinggi Embung, m	Lebar Puncak, m
2,0 - 4,5	2,50
4,5 - 6,0	2,75
6,0 - 7,5	3,00
7,5 - 9,0	4,00

4. Panjang Embung

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

ujung-ujung mercu, maka lebar bangunan-bangunan pelimpah tersebut diperhitungkan pula dalam menentukan panjang embung.

5. *Flood Routing*

Dengan menggunakan cara penelusuran banjir, besarnya hidrograf disetiap titik di sungai dapat dihitung berdasarkan dari titik (disebelah hulunya) yang diketahui. Pada bagian hulu, debit hidrograf disebut dengan *Inflow* (I) sedang di hilir atau dititik yang ditinjau debit hidrograf disebut dengan *Outflow* (O).

Dalam masalah routing ini, rumus dasar yang dipakai adalah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1993) :

$$I - O = \frac{dS}{dt}$$

di mana :

$$I = \text{inflow}$$

$$O = \text{outflow}$$

$$S = \text{timbunan disetiap pangsa}$$

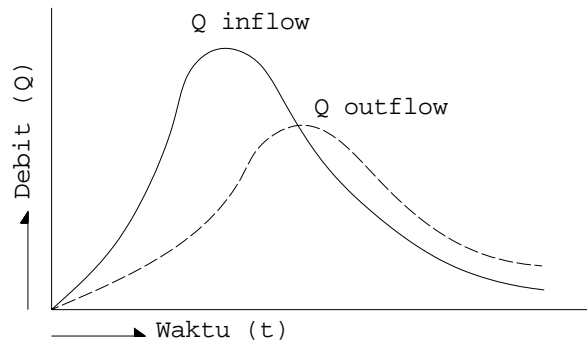
$$\Delta t = \text{waktu}$$

Rumus tersebut dapat dimodifikasi menjadi :

$$\frac{I_1 - I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 - O_2}{2} \Delta t = S_2 - S_1$$

di mana :

$$\Delta t = t_2 - t_1 \text{ (yang disebut } \textit{interval routing})$$



Gambar 2.15 Grafik Hidrograf

6. Kemiringan Lereng (*Slope gradient*)

Kemiringan rata-rata lereng embung (lereng hulu dan lereng hilir) adalah perbandingan antara panjang garis vertikal yang melalui tumit masing-masing lereng tersebut. Drainase prisma biasanya dimasukkan dalam perhitungan penentuan kemiringan lereng, akan tetapi alas kedap air biasanya diabaikan. Kestabilan urugan harus diperhitungkan terhadap frekuensi naik turun muka air, rembesan, dan harus tahan terhadap gempa.

Tabel 2.17 Kemiringan Lereng Urugan (Sosrodarsono, 1977)

Material Urugan	Material Utama	Kemiringan Lereng Vertikal : Horisontal	
		Hulu	Hilir
a. Urugan homogen	CH CL SC GC GM SM	1 : 3	1 : 2,25
b. Urugan majemuk			
1. Urugan batu dengan inti lempung atau dinding diafragma	Pecahan batu	1 : 1,50	1 : 1,25
2. Kerikil-kerakal dengan inti lempung atau dinding diafragma	Kerikil-kerakal	1 : 2,50	1 : 1,75

7. Penimbunan Ekstra (*Extra Banking*)

Sehubungan dengan terjadinya gejala konsolidasi tubuh embung, yang prosesnya berjalan lama sesudah pembangunan embung tersebut 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 embung.

2.3.5 Stabilitas Embung

Merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran (dimensi) embung agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam keadaan apapun juga. Konstruksi harus aman terhadap geseran, penurunan embung, terhadap rembesan dan keadaan embung kosong, penuh air maupun permukaan air turun tiba-tiba (*rapid draw-down*).

Salah satu tinjauan keamanan embung adalah menentukan apakah embung dalam kondisi stabil, sehingga beberapa faktor yang harus ditentukan adalah sebagai berikut.

- Kondisi beban yang dialami oleh embung.
- Karakteristik bahan / material tubuh embung termasuk tegangan dan *density*.
- Besar dan variasi tegangan air pori pada tubuh embung dan di dasar embung.
- Angka aman minimum (SF) yang diperbolehkan untuk setiap kondisi beban yang digunakan.

Kemiringan timbunan embung pada dasarnya tergantung pada stabilitas bahan timbunan. Semakin besar stabilitas bahannya, maka kemiringan timbunan dapat makin terjal. Bahan yang kurang stabil memerlukan kemiringan yang lebih landai. Sebagai acuan dapat disebutkan bahwa kemiringan lereng depan (*upstream*) berkisar antara 1: 2,5 sampai 1 : 3,5 , sedangkan bagian belakang (*downstream*) antara 1: 2 sampai 1: 3.

Kemiringan lereng yang efisien untuk bagian hulu maupun bagian hilir masing-masing dapat ditentukan dengan rumus berikut (Sosrodarsono, 1977) :

$$S_f = \left[\frac{m - k \cdot \gamma''}{m + k \cdot m \cdot \gamma''} \right] \tan \phi$$

$$S_f = \left[\frac{n - k}{n + k \cdot n} \right] \tan \phi$$

di mana :

S_f = faktor keamanan (dapat diambil 1,1)
 m dan n masing-masing kemiringan lereng hulu dan hilir.

k = koefisien gempa dan $\gamma'' = \gamma_{sat}/\gamma_{sub}$.

Angka aman stabilitas lereng embung di bagian lereng hulu dan hilir dengan variasi beban yang digunakan, diperhitungkan berdasarkan pada analisis keseimbangan batas (*limit equilibrium analysis*). Geometri lereng tubuh embung disesuaikan dengan hasil analisis tersebut, sehingga diperoleh angka aman (SF) yang sama atau lebih besar dari angka aman minimum yang persyaratkan.

Kemiringan lereng baik di sisi hilir maupun di sisi hulu embung harus cukup stabil baik pada saat konstruksi, pengoperasian yaitu pada saat waduk kosong, waduk penuh, saat waduk mengalami rapid draw down, dan ditinjau saat ada pengaruh gempa. Sehingga, kondisi beban harus diperhitungkan berdasarkan rencana konstruksi, pengoperasian *reservoir*, menjaga elevasi muka air normal di dalam *reservoir* dan kondisi *emergency*, *flood storage* dan rencana melepas air dalam *reservoir*, antisipasi pengaruh tekanan air pori dalam tubuh bendungan dan tanah dasar fondasi. Tinjauan stabilitas bendungan dilakukan dalam berbagai kondisi sebagai berikut :

- *Steady-state seepage*

Stabilitas lereng di bagian hulu di analisis pada kondisi muka air di reservoir yang menimbulkan terjadinya aliran rembesan melalui tubuh embung. Elevasi muka air pada kondisi ini, umumnya dinyatakan sebagai elevasi muka air normal (*Normal High Water Level*).

- *Operation*

Pada kondisi ini, muka air dalam reservoir maksimum (penuh - lebih tinggi dari elevasi muka air normal). Stabilitas lereng di sebelah hulu dianalisis dengan kondisi muka air tertinggi di mana dalam masa operasi muka air mengalami turun dengan tiba-tiba (*sudden draw down*) dari elevasi dari muka air maksimum (tertinggi) menjadi muka air terendah (LWL).

Angka aman yang digunakan untuk tinjauan stabilitas lereng embung dengan berbagai kondisi beban dan tegangan geser yang

digunakan seperti dalam Tabel 2.18 Secara umum, kemiringan minimum untuk lereng hilir dan lereng hulu juga dicantumkan pada Tabel 2.19.

Tabel 2.18 Angka Aman Minimum Dalam Tinjauan Stabilitas Lereng Sebagai Fungsi dari Tegangan Geser. (*)

Kriteria	Kondisi Tinjauan	Lereng	Tegangan Geser	Koef. Gempa	SF min.
I	<i>Rapid drawdown</i>	Hulu	CU	0%	1,50
		Hulu	CU	100%	1,20
II	Muka air penuh (banjir)	Hulu	CU	0%	1,50
		Hulu	CU	100%	1,20
III	<i>Steady State Seepage</i>	Hilir	CU	0%	1,50
		Hilir	CU	100%	1,20

Catatan : CU : Consolidated Undrained Test

(*) : Engineering and Design Stability of Earth and Rock-fill Dams, EM 1110-2-1902, 1970, p. 25.

Tabel 2.19 Angka Aman Minimum Untuk Analisis Stabilitas Lereng. (Sosrodarsono, 1977)

Keadaan Rancangan/ Tinjauan	Angka Aman Minimum	
	Lereng hilir (D/S)	Lereng Hulu (U/S)
1. Saat Konstruksi dan akhir konstruksi	1,25	1,25
2. Saat pengoperasian Waduk dan saat waduk Penuh	1,50	1,50
3. <i>Rapid Draw Down</i>	-	1,20
4. Saat Gempa	1,10	1,10

Secara prinsip, analisis kestabilan lereng didasarkan pada keseimbangan antara masa tanah aktif (potensial runtuh) dengan gaya-gaya penahan runtuh di bidang runtuh. Perbandingan gaya-gaya di atas menghasilkan faktor aman, S_f yang didefinisikan sebagai berikut:

$$S_f = \frac{\sum \eta}{\sum \tau}$$

di mana :

η = gaya-gaya penahan,

τ = gaya-gaya aktif penyebab runtuh

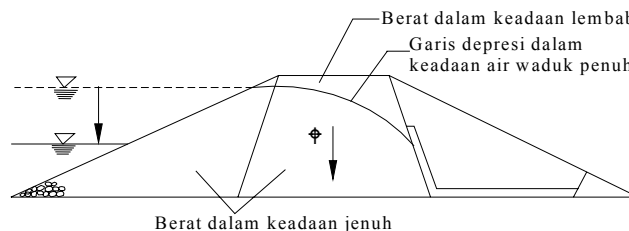
Analisis ini dilakukan pada segala kemungkinan bidang permukaan runtuh dan pada berbagai keadaan waduk di atas. Nilai angka aman hasil perhitungan (SF hitungan) tersebut di atas harus lebih besar dari nilai angka aman minimum (SF minimum) seperti tertera pada Tabel 2.18 dan 2.19.

Gaya-gaya yang bekerja pada embung urugan :

1. Berat Tubuh Embung Sendiri

Berat tubuh embung dihitung dalam beberapa kondisi yang tidak menguntungkan yaitu :

- Pada kondisi lembab segera setelah tubuh pondasi selesai dibangun.
- Pada kondisi sesudah permukaan waduk mencapai elevasi penuh, di mana bagian embung yang terletak disebelah atas garis depresi dalam keadaan jenuh.
- Pada kondisi di mana terjadi gejala penurunan mendadak (*Rapid draw - down*) permukaan air waduk, sehingga semua bagian embung yang semula terletak di sebelah bawah garis depresi tetap dianggap jenuh.



Gambar 2. 16 Berat bahan yang terletak dibawah garis depresi

Gaya-gaya atau beban-beban utama yang bekerja pada embung urugan yang akan mempengaruhi stabilitas tubuh embung dan pondasi dari embung tersebut adalah :

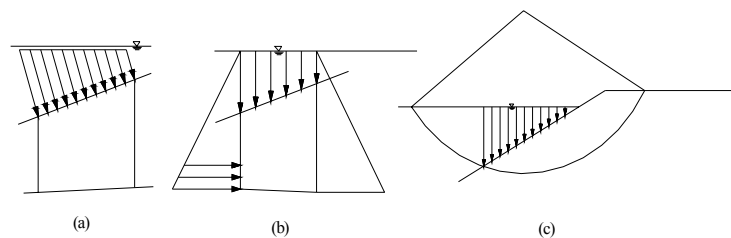
- Berat tubuh embung itu sendiri yang membebani lapisan-lapisan yang lebih bawah dari tubuh embung dan membebani pondasi.

- Tekanan hidrostatik yang akan membebani tubuh embung dan pondasinya, baik dari air yang terdapat didalam waduk di hulu embung maupun dari air didalam sungai di hilirnya.
- Tekanan air pori yang terkandung diantara butiran dari zone-zone tubuh embung.
- Gaya seismik yang menimbulkan beban-beban dinamika baik yang bekerja pada tubuh embung maupun pondasinya.

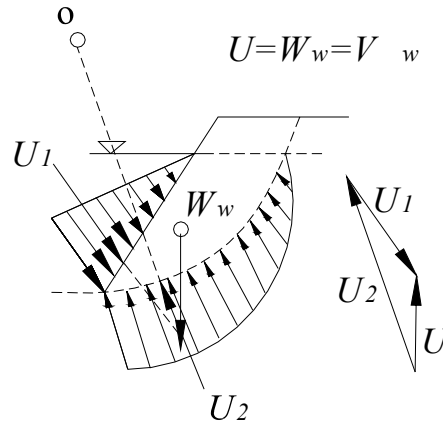
2. Tekanan Hidrostatik

Pada perhitungan stabilitas embung dengan metode irisan (*slice methode*) biasanya beban hidrostatik yang bekerja pada lereng sebelah hulu embung dapat digambarkan dalam tiga cara pembebanan. Pemilihan cara pembebanan yang cocok untuk suatu perhitungan, harus disesuaikan dengan semua pola gaya – gaya yang bekerja pada embung, yang akan diikuti sertakan dalam perhitungan.

Pada kondisi di mana garis depresi mendekati bentuk horizontal, maka dalam perhitungan langsung dapat dianggap horizontal dan berat bagian tubuh embung yang terletak dibawah garis depresi tersebut diperhitungkan sebagai berat bahan yang terletak dalam air. Tetapi dalam kondisi perhitungan yang berhubungan dengan gempa, biasanya berat bagian ini dianggap dalam kondisi jenuh.



Gambar 2.17 Gaya tekanan hidrostatik pada bidang luncur



Gambar 2.18 Skema pembebanan yang disebabkan oleh tekanan hidrostatis

yang bekerja pada bidang luncur (Sosrodarsono, 1977)

3. Tekanan Air Pori

Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori di embung terhadap lingkaran bidang luncur.

Tekanan air pori dihitung dengan beberapa kondisi yaitu :

- Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi tubuh embung baru dibangun
- Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi waduk telah terisi penuh dan permukaan air sedang menurun secara berangsur-angsur.
- Gaya-gaya yang timbul dari tekanan air pori dalam kondisi terjadinya penurunan mendadak permukaan waduk hingga mencapai permukaan terendah, sehingga besarnya tekanan air pori dalam tubuh embung masih dalam kondisi waduk terisi penuh.

4. Beban Seismis (*seismic force*)

Beban seismis akan timbul pada saat terjadinya gempa bumi dan penetapan suatu kapasitas beban seismis secara pasti sangat sukar. Faktor-faktor yang menentukan besarnya beban seismis pada embung urugan adalah :

- Karakteristik, lamanya dan kekuatan gempa yang terjadi.
- Karakteristik dari pondasi embung.
- Karakteristik bahan pembentuk tubuh embung.
- Tipe embung.

Komponen horizontal beban seismis dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Sosrodarsono, 1977) :

$$M \cdot \alpha = e (M \cdot g)$$

di mana :

M = massa tubuh embung (ton)

α = percepatan horizontal (m/s^2)

e = intensitas seismis horizontal (0,10-0,25)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

Tabel 2.20 Percepatan gempa horizontal (Sosrodarsono, 1977)

Intensitas seismis	gal	Jenis Pondasi		
		Batuan	Tanah	
Luar biasa	7	400	0,20 g	0,25 g
Sangat kuat	6	400-200	0,15 g	0,20 g
Kuat	5	200-100	0,12 g	0,15 g
Sedang	4	100	0,10 g	0,12 g

(ket : 1 gal = 1 cm/det^2)

5. Stabilitas Lereng Embung Urugan Menggunakan Metode Irisan Bidang Luncur Bundar

Metode analisis stabilitas lereng untuk embung tipe tanah urugan (*earth fill type dam*) dan timbunan batu (*rock fill type dam*) didasarkan pada bidang longsor bentuk lingkaran. Faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsor dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut :