

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Angka Kebutuhan Air di Sawah

Angka kebutuhan air di sawah adalah jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk dapat tumbuh secara normal, yang meliputi kebutuhan untuk pembasahan tanah, pengolahan tanah, tahapan tiap fase pertumbuhan tanaman dan pematangan butir/buah. Secara garis besar kebutuhan air irigasi ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut :

1. Penyiapan Lahan.
2. Penggunaan konsumtif.
3. Perkolasi.
4. Penggantian lapisan air (untuk padi)
5. Curah hujan efektif.
6. Efisiensi Irigasi.

2.2 Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*), seperti besarnya curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, dan konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu.

Analisis hidrologi dilakukan untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan sebagian data hidrologi yang dikumpulkan. Untuk perencanaan irigasi atau bendung, analisis hidrologi yang terpenting adalah menentukan debit andalan yaitu debit minimum sungai yang diperlukan untuk mengairi lahan.

2.2.1 Analisis Statistik

Dalam menganalisis data hidrologi seperti data hujan, data debit, data penguapan, dan lain-lain, seseorang harus menguasai perhitungan dasar statistik. Perhitungan-perhitungan tersebut meliputi:

1. Perhitungan nilai rata-rata data ($\bar{x}$).

Nilai rata-rata suatu data dirumuskan dengan:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

di mana:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata data

n = jumlah data

2. Perhitungan standar deviasi data (std(x)).

Nilai standar deviasi suatu data dirumuskan dengan:

$$std(x) = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

dimana:

std(x) = standar deviasi

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

N = jumlah data

3. Perhitungan koefisien kemencengan atau *skewness* (C_s)

Nilai koefisien skewness suatu data dirumuskan dengan:

$$C_s = \frac{n \sum (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)(std(x))^3}$$

dimana :

C_s = koefisien skewness

$std(x)$ = standar deviasi

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

n = jumlah data

2.2.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dalam hidrologi digunakan untuk memperkirakan curah hujan atau debit rancangan dengan kala ulang tertentu. Analisis frekuensi dalam hidrologi sendiri didefinisikan sebagai perhitungan atau peramalan suatu peristiwa hujan atau debit yang menggunakan data historis dan frekuensi kejadiannya.

1. Hujan Rancangan

Hujan rancangan adalah besarnya curah hujan dengan periode ulang tertentu. Memperhitungan hujan rancangan diperlukan untuk menentukan besarnya debit banjir rancangan. Hujan rancangan harus dibedakan pengertiannya dengan hujan terbesar. Hujan terbesar akan terjadi kapan saja dan tidak akan ada hujan yang lebih besar dari hujan terbesar. Hujan rancangan tidaklah sebesar hujan *absolute* maksimum, dan akan terjadi pada jangka waktu tertentu.

Metode yang sering digunakan untuk menghitung hujan rancangan adalah metode Gumbel, Log Pearson III, dan metode Log Normal.

A. Metode Gumbel

Metode Gumbel diciptakan oleh E.J. Gumbel pada tahun 1941. Metode ini banyak digunakan untuk analisis data maksimum. Dalam metode ini data yang akan diolah diasumsikan mempunyai sebaran tertentu yang disebut sebaran Gumbel. Langkah-langkah pengerjaan perhitungan hujan atau debit rancangan dengan metode Gumbel ini adalah:

1. Mengumpulkan hujan harian maksimum tahunan dan menyusunnya dalam suatu tabel data. Hujan harian maksimum tahunan adalah hujan harian tertinggi dalam tahun tertentu.
2. Mencari nilai rata-rata dan standar deviasi dari data
3. Menghitung reduced variates yang nilainya dihitung berdasarkan rumus:

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

dimana: T = kala ulang

4. Menghitung hujan rancangan dengan rumus:

$$R_T = X_{\text{rerata}} + \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n} \cdot Std$$

di mana:

R_T = curah hujan rencana dengan periode ulang T

X_{rerata} = rata-rata data

Y_T = reduced variates

T = kala ulang

Y_n = reduced mean yang nilainya berdasarkan jumlah data (tabel 1)

Std = standar deviasi dari data

S_n = reduced standard deviation yang nilainya berdasarkan jumlah data (tabel 2)

Tabel 1. Nilai Y_n Untuk Berbagai Jumlah Data (n)

n	Y_n	n	Y_n	n	Y_n	n	Y_n
10	0.4952	34	0.5396	58	0.5515	82	0.5572
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. Nilai Sn Untuk Berbagai Jumlah Data (n)

n	Sn	n	Sn	n	Sn	n	Sn
10	0.9496	34	1.1255	58	1.1721	82	1.1953
11	0.9676	35	1.1285	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	1.177	86	1.1980
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	1.148	67	1.1824	91	1.2013
20	1.0628	44	1.1499	68	1.1834	92	1.202
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	1.1863	95	1.2038
24	1.0864	48	1.1574	72	1.1873	96	1.2044
25	1.0915	49	1.159	73	1.1881	97	1.2049
26	1.0961	50	1.1607	74	1.189	98	1.2055
27	1.1004	51	1.1623	75	1.1998	99	1.206
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	1.193		
32	1.1193	56	1.1696	80	1.1938		
33	1.1226	57	1.1708	81	1.1945		

B. Metode Log Pearson Tipe III

Metode ini disebut Log Pearson Tipe III karena metode ini melibatkan tiga parameter dalam proses perhitungannya. Ketiga parameter tersebut adalah harga rata-rata data (Rearata logX), standar deviasi data (std), dan koefisien kemencengan (Cs), Langkah-langkah pengerjaan perhitungan hujan rancangan dengan metode Log Pearson III ini adalah:

1. Mengumpulkan hujan harian maksimum tahunan dan menyusunnya dalam suatu tabel data
2. Mencari nilai log dari masing-masing data
3. Mencari nilai rata-rata, standar deviasi, dan koefisien kemencengan dari log data
4. Menghitung log hujan rancangan dengan rumus:

$$\text{Log } X = \text{Rerata Log } X + G.\text{Std}$$

di mana:

$\log X$ = log dari curah hujan rencana dengan periode ulang T

Rerata Log X = log dari rata-rata data

Std = standar deviasi dari log(X)

G = koefisien Pearson yang nilainya didapat berdasarkan nilai Cs dan T (tabel 3 atau tabel 4)

5. Menghitung hujan rancangan dengan rumus:

$$R_T = 10^{\log(X)}$$

Tabel 3. Nilai G Untuk Berbagai Cs Positif dan T

Cs	Kala Ulang (T)						
	5	10	20	25	50	100	200
3,0	0,420	1,180	1,912	2,278	3,152	4,051	4,970
2,9	0,440	1,195	1,916	2,277	3,134	4,013	4,909
2,8	0,460	1,210	1,92	2,275	3,114	3,973	4,847
2,7	0,479	1,224	1,923	2,272	3,097	3,932	4,783
2,6	0,499	1,238	1,924	2,267	3,071	3,889	4,718
2,5	0,518	1,250	1,925	2,262	3,048	3,845	4,652
2,4	0,537	1,262	1,925	2,256	3,023	3,800	4,584
2,3	0,555	1,274	1,923	2,248	2,997	3,753	4,515
2,2	0,574	1,284	1,921	2,240	2,970	3,705	4,454
2,1	0,592	1,294	1,918	2,230	2,942	3,656	4,372
2,0	0,609	1,302	1,913	2,219	2,912	3,605	4,298
1,9	0,627	1,310	1,908	2,207	2,881	3,553	4,223
1,8	0,643	1,318	1,901	2,193	2,848	3,499	4,147
1,7	0,660	1,324	1,894	2,179	2,815	3,444	4,069
1,6	0,675	1,329	1,885	2,163	2,780	3,388	3,990
1,5	0,690	1,333	1,875	2,146	2,743	3,330	3,910
1,4	0,705	1,337	1,864	2,128	2,706	3,271	3,828
1,3	0,719	1,339	1,852	2,108	2,666	3,211	3,745
1,2	0,732	1,340	1,838	2,087	2,626	3,149	3,661
1,1	0,745	1,341	1,824	2,066	2,585	3,087	3,575
1,0	0,758	1,340	1,809	2,043	2,542	3,022	3,489
0,9	0,769	1,339	1,792	2,018	2,498	2,957	3,401
0,8	0,780	1,336	1,774	1,993	2,453	2,891	3,312
0,7	0,790	1,333	1,756	1,967	2,407	2,824	3,223
0,6	0,800	1,328	1,735	1,939	2,359	2,755	3,132
0,5	0,808	1,323	1,714	1,910	2,311	2,686	3,041
0,4	0,816	1,317	1,692	1,880	2,261	2,615	2,949
0,3	0,824	1,309	1,669	1,849	2,211	2,544	2,856
0,2	0,830	1,301	1,646	1,818	2,159	2,472	2,763
0,1	0,836	1,292	1,621	1,785	2,107	2,400	2,670
0,0	0,842	1,282	1,595	1,751	2,054	2,326	2,576

Tabel 4. Nilai G Untuk Berbagai Cs Negatif dan T

Cs	Kala Ulang (T)						
	5	10	20	25	50	100	200
0,0	0,842	1,282	1,595	1,751	2,064	2,326	2,576
-0,1	0,846	1,270	1,567	1,716	2,000	2,252	2,482
-0,2	0,850	1,258	1,539	1,680	1,945	2,178	2,388
-0,3	0,853	1,245	1,510	1,643	1,89	2,104	2,294
-0,4	0,855	1,231	1,481	1,606	1,834	2,029	2,201
-0,5	0,856	1,216	1,450	1,567	1,777	1,955	2,108
-0,6	0,857	1,200	1,418	1,528	1,720	1,880	2,016
-0,7	0,857	1,183	1,386	1,488	1,663	1,806	1,926
-0,8	0,856	1,166	1,354	1,448	1,606	1,733	1,837
-0,9	0,854	1,147	1,320	1,407	1,549	1,660	1,749
-1,0	0,852	1,128	1,287	1,366	1,492	1,588	1,664
-1,1	0,848	1,107	1,252	1,324	1,435	1,518	1,581
-1,2	0,844	1,086	1,217	1,282	1,379	1,449	1,501
-1,3	0,838	1,064	1,181	1,240	1,324	1,383	1,424
-1,4	0,832	1,041	1,146	1,198	1,270	1,318	1,351
-1,5	0,825	1,018	1,111	1,157	1,217	1,256	1,282
-1,6	0,817	0,994	1,075	1,116	1,166	1,197	1,216
-1,7	0,808	0,970	1,040	1,075	1,116	1,140	1,155
-1,8	0,799	0,945	1,005	1,035	1,069	1,087	1,097
-1,9	0,788	0,920	0,971	0,996	1,023	1,037	1,044
-2,0	0,777	0,896	0,945	0,969	0,980	0,990	0,996
-2,1	0,765	0,869	0,905	0,923	0,939	0,946	0,949
-2,2	0,752	0,844	0,873	0,888	0,900	0,906	0,907
-2,3	0,739	0,819	0,843	0,855	0,864	0,867	0,869
-2,4	0,725	0,796	0,814	0,823	0,830	0,832	0,833
-2,5	0,711	0,771	0,786	0,793	0,798	0,799	0,800
-2,6	0,696	0,747	0,758	0,764	0,768	0,769	0,769
-2,7	0,681	0,724	0,733	0,738	0,740	0,740	0,741
-2,8	0,666	0,702	0,709	0,712	0,714	0,714	0,714
-2,9	0,651	0,681	0,682	0,683	0,689	0,690	0,690
-3,0	0,636	0,660	0,664	0,666	0,666	0,667	0,667

C. Metode Log Normal

Metode Log Normal digunakan apabila nilai-nilai dari variabel random yang mengikuti distribusi normal, tetapi nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal. Langkah-langkah pengerjaan perhitungan hujan rancangan dengan metode Log Normal ini adalah:

1. Mengumpulkan hujan harian maksimum tahunan dan menyusunnya dalam suatu tabel data
2. Mencari nilai log dari masing-masing data
3. Mencari nilai rata-rata dan standar deviasi dari log data
4. Mencari koefisien variasi dari log data dengan rumus:

$$CV = \frac{Std}{rerata \log X}$$

5. Menghitung koefisien kemencengan dengan rumus:

$$Cs = (3 \times CV) + (CV^3)$$

6. Menghitung koefisien kurtosis dengan rumus:

$$Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$$

7. Menghitung log hujan rancangan dengan rumus:

$$\log X = \text{Rerata Log X} + k \cdot \text{Std}$$

di mana:

$$\log X = \log \text{ dari curah hujan rencana dengan periode ulang } T$$

$$\text{Rerata log X} = \log \text{ dari rata-rata data}$$

K = Faktor frekuensi sebagai fungsi dari nilai CV
(tabel 5)

Std = standar deviasi dari $\log(X)$

8. Menghitung hujan rancangan dengan rumus:

$$R_T = 10^{\log(X)}$$

Tabel 5. Nilai Faktor Frekuensi (k) Sebagai Fungsi Dari Nilai CV

Koefisien Variasi (CV)	Peluang Kumulatif P(%) : P(X≤X)					
	50	80	90	95	98	99
	Periode Ulang (Tahun)					
	2	5	10	20	50	100
0,05	-0,0250	0,8334	1,2965	1,6863	2,1341	2,4570
0,10	-0,0496	0,8222	1,3078	1,7247	2,2130	2,5489
0,15	-0,0738	0,8085	1,3156	1,7598	2,2899	2,2607
0,20	-0,0971	0,7926	1,3200	1,7911	2,3640	2,7716
0,25	-0,1194	0,7746	1,3209	1,8183	2,4318	2,8805
0,30	-0,1406	0,7647	1,3183	1,8414	2,5015	2,9866
0,35	-0,1604	0,7333	1,3126	1,8602	2,5638	3,0890
0,40	-0,1788	0,7100	1,3037	1,8746	2,6212	3,1870
0,45	-0,1957	0,6870	1,2920	1,8848	2,6731	3,2799
0,50	-0,2111	0,6626	1,2778	1,8909	2,7202	3,3673
0,55	-0,2251	0,6379	1,2613	1,8931	2,7613	3,4488
0,60	-0,2375	0,6129	1,2428	1,8915	2,7971	3,5211
0,65	-0,2185	0,5879	1,2226	1,8866	2,8279	3,3930
0,70	-0,2582	0,5631	1,2011	1,8786	2,8532	3,3663
0,75	-0,2667	0,5387	1,1784	1,8677	2,8735	3,7118
0,80	-0,2739	0,5118	1,1548	1,8543	2,8891	3,7617
0,85	-0,2801	0,4914	1,1306	1,8388	2,9002	3,8056
0,90	-0,2852	0,4686	1,1060	1,8212	2,9071	3,8137
0,95	-0,2895	0,4466	1,0810	1,8021	2,9103	3,8762
1,00	-0,2929	0,4254	1,0560	1,7815	2,9098	3,9035

2. Debit Rancangan

Debit rancangan adalah debit dengan periode ulang tertentu yang diperkirakan akan melalui suatu sungai atau bangunan air. Sedangkan periode ulang adalah waktu hipotetik dimana suatu kejadian dengan nilai tertentu, akan disamai atau dilampaui 1 kali dalam jangka waktu hipotetik tersebut. Hal ini tidak berarti bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap periode ulang tersebut.

Penetapan masing-masing metode dalam perhitungan debit rancangan, secara umum bergantung pada ketersediaan data. Data yang dimaksud antara lain data hujan, karakteristik daerah aliran, dan data debit.

Ditinjau dari ketersediaan data hujan, karakteristik daerah aliran, dan data debit. Metode yang sering digunakan untuk menghitung hujan rancangan adalah Metode Haspers dan Metode Nakayasu.

A. Metode Haspers

Langkah-langkah pengerjaan perhitungan debit rancangan dengan Metode Haspers ini adalah:

1. Mengumpulkan data Luas DAS, panjang sungai utama, dan tinggi elevasi sungai, dan data curah hujan maksimum (Metode Gumbel)
2. Menghitung kemiringan rerata sungai dengan rumus:

$$I = \frac{H1 - H2}{L \times 0,9}$$

dimana:

I = Kemiringan rerata sungai (m)

H = Tinggi Elevasi (m)

L = Panjang sungai utama (m)

3. Menghitung waktu konsentrasi dengan rumus:

$$t = 0,1 L^{0,8} I^{-0,3}$$

dimana:

t = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang sungai utama (m)

I = Kemiringan rerata sungai (m)

4. Menghitung koefisien runoff dengan rumus:

$$\alpha = \frac{1+0,012.A^{0,7}}{1+0,075.A^{0,7}}$$

dimana:

α = Koefisien runoff

A = Luas DAS (km²)

5. Menghitung koefisien reduksi dengan rumus:

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t+3.7 \times 10^{-0,4t}}{t^2+15} \times \frac{A^{3/4}}{12}$$

dimana:

β = Koefisien reduksi

t = Waktu konsentrasi (jam)

A = Luas DAS (km²)

6. Menghitung Debit per satuan luas dengan rumus:

$$Q_n = \frac{Rn}{3,6 \times t}$$

dimana:

Q_n = Debit persatuan luas ($m^3/dtk/km^2$)

R_n = Curah hujan maksimum (Metode Gumbel)

t = Waktu konsentrasi (jam)

7. Menghitung Debit Rancangan dengan rumus:

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

dimana:

Q_t = Debit Rancangan dengan periode T tahun (m^3/dtk)

α = Koefisien runoff

β = Koefisien reduksi

Q_n = Debit persatuan luas ($m^3/dtk/km^2$)

A = Luas DAS (km^2)

B. Metode Nakayasu

Hidograf satuan sintetis Nakayasu dikembangkan berdasar beberapa sungai di Jepang (Bambang Triatmodjo, 2008). Langkah-langkah pengerjaan perhitungan debit rancangan dengan Metode Nakayasu ini adalah:

1. Mengumpulkan data Luas DAS, panjang sungai utama, koefisien pengaliran, dan hujan efektif satuan.
2. Menghitung selang waktu dengan rumus:

$$\text{Time Lag (Tg)} = 0,21 \cdot L^{0,7} \quad (\text{jam})$$

3. Menghitung satuan waktu curah hujan dengan rumus:

$$T_r = 0,5 T_g \text{ sampai dengan } T_r = T_g \quad (\text{jam})$$

4. Menghitung waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidograf banjir dengan rumus:

$$\text{Time Peak } (T_p) = T_g + 0,8 T_r \quad (\text{jam})$$

5. Menghitung koefisien karakteristik DAS dengan rumus:

$$\alpha = \frac{0,47 \cdot ((A.L)^{0,25})}{T_g}$$

6. Menghitung waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir dengan rumus:

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g \quad (\text{jam})$$

7. Menghitung hidograf satuan sintetis Nakayasu dengan rumus:

- a. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \frac{t^{2,4}}{T_p}$$

- b. Pada kurva turun

$$\text{Interval : } T_p < t < T_{0,3}$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}}$$

$$\text{Interval : } T_{0,3} < t < T_{0,3}^2$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{((t-T_p)+(0,5 \cdot T_{0,3}))/((1,5 \cdot T_{0,3}))}$$

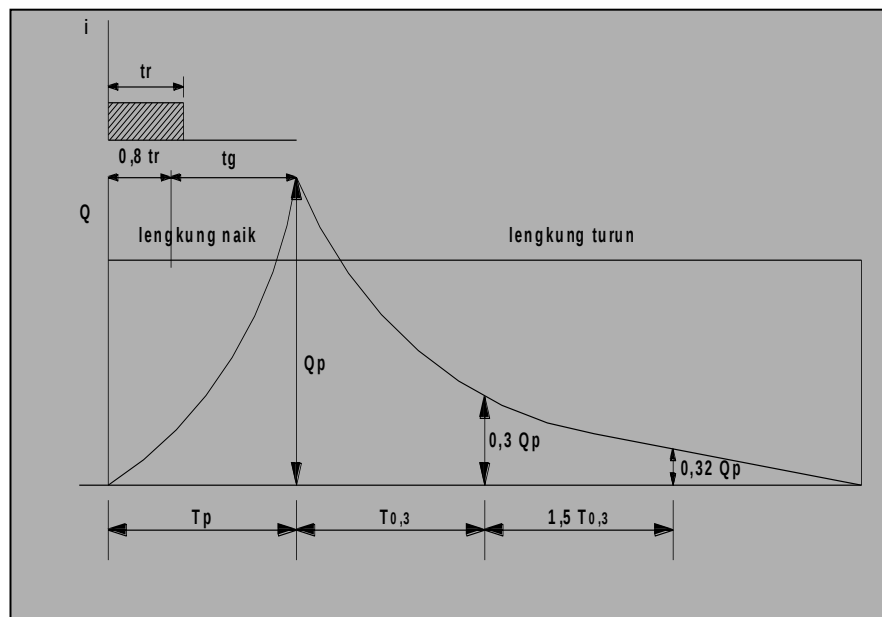
$$\text{Interval : } t > T_{0,3}^2$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{((t-T_p)+(1,5 \cdot T_{0,3}))/((2 \cdot T_{0,3}))}$$

dimana:

$$Q_p = \text{Debit puncak banjir}$$

$$A = \text{Luas DAS (km}^2\text{)}$$



Gambar 1. Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

2.2.3 Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada satu kurun waktu air hujan terkonsentrasi. Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas curah hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak luas. Hujan yang meliputi daerah luas jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Kombinasi dari intensitas yang tinggi dan dengan durasi yang panjang jarang terjadi.

1. Metode Mononobe

Jika data yang tersedia adalah data harian maka dapat dihitung dengan menggunakan metode Mononobe. Langkah-langkah pengerjaan perhitungan intensitas hujan dengan Metode Mononobe ini adalah:

1. Menentukan waktu konsentrasi hujan.
2. Menghitung curah hujan efektif dalam satu hari dengan rumus:

$$I = \frac{R_T}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^m$$

Dimana:

I = Intensitas Hujan (mm)

R_T = Hujan harian dengan kala ulang tertentu (mm)

t = Durasi hujan (jam)

m = Koefisien hujan

(Gatot Eko Susilo, 2014)

2.3 Bendung

Sungai mempunyai peranan yang penting bagi kehidupan manusia. Salah satunya adalah sebagai sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi, penyediaan air minum, kebutuhan industri dan lain lain. Kebutuhan air bagi kepentingan manusia semakin meningkat sehingga perlu dilakukan penelitian atau penyelidikan masalah ketersediaan air sungai dan kebutuhan area di sekelilingnya. Agar pemanfaatan dapat digunakan secara efektif dan efisien, maka dibangunlah bendung.

Bendung merupakan bangunan melintasi sungai yang berfungsi mempertinggi elevasi air sungai dan membelokkan air agar dapat mengalir secara gravitasi ke tempat yang membutuhkannya, sehingga air dapat dimanfaatkan secara efisien.

Adapun fungsi bendung adalah:

- 1) Untuk kebutuhan irigasi.
- 2) Untuk kebutuhan air minum.
- 3) Sebagai pembangkit energi.
- 4) Pembagi atau pengendali banjir.
- 5) Dan sebagai pembilas pada berbagai keadaan debit sungai.

(KP – 02 Kriteria Perencanaan Bendung, 1986)

2.3.1 Perencanaan Tubuh Bendung

Tubuh bendung merupakan struktur utama yang berfungsi untuk membendung laju aliran sungai dan menaikkan tinggi muka air sungai dari elevasi awal. Bagian ini biasanya terbuat dari beton. Tubuh bendung umumnya dibuat melintang pada aliran sungai. Tubuh bendung merupakan bagian yang selalu atau boleh dilewati air baik dalam keadaan normal maupun air banjir. Dan sebagaimana ketentuan dalam kriteria, maka perencanaan tubuh bendung harus dilakukan sedemikian rupa sehingga aman terhadap tekanan air, tekanan akibat perubahan debit yang mendadak, tekanan gempa, dan akibat berat sendiri.

Tipe bendung yang digunakan adalah Bendung Ambang/Mercu Tetap. Bendung tipe ini berfungsi untuk menaikkan permukaan air sungai agar air sungai dapat dialirkan ke daerah irigasi. Dan untuk menaikkan permukaan air sungai diatur dengan ambang tetap atau permanen.

Umumnya mercu bendung berbentuk bulat atau *Ogee*. Kedua bentuk ini cocok untuk beton atau pasangan batu kali. Mercu berbentuk *Ogee* adalah berbentuk lengkung memakai persamaan matematis, sedikit rumit dilaksanakan, tetapi memberikan sifat hiraulis yang baik, bentuk gemuk dan kekar, menambah stabilitas.

A. Bangunan Utama

Perhitungan hidrolis bangunan utama tergantung jenis bangunan yang akan digunakan sebagai bangunan pengambilan berupa bendung (*Weir*) atau bangunan pengambilan bebas (*Free Intake*), dan dengan kolam olak tipe *Vlughter*.

Kriteria perencanaan meliputi:

- Lokasi bendung dipilih pada bagian saluran yang lurus dengan penampang yang konstan, dimana perubahan kecepatan arus tidak terlalu drastis.
- Bangunan bendung dilengkapi dengan pintu bilas, yang sewaktu – waktu digunakan untuk pembilasan saluran dari sampah.
- Bangunan bendung harus aman terhadap gaya guling, gaya geser dan rembesan.

- Pelaksanaan kegiatan analisis data dalam hal ini mencakup analisis parameter iklim, curah hujan dan debit banjir rancangan, ketersediaan dan kebutuhan air serta laju sedimentasi.

Uraian dari studi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Menyediakan data hujan, debit, klimatologi dan karakteristik DAS
2. Menyediakan data ketersediaan air di lokasi bendung dan kebutuhan air irigasi. Kebutuhan air diperhitungkan terhadap ketersediaan air dan kebutuhan di pengambilan, yakni untuk irigasi. Kebutuhan untuk irigasi yaitu untuk stabilisasi pengairan lahan potensial sepanjang musim.
3. Menghitung debit banjir rancangan periode ulang 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.

Bertolak pada karakteristik fisik DAS dan ketersediaan data maka rangkaian analisis debit rancangan dalam studi ini meliputi:

- Menentukan curah hujan harian maksimum tiap-tiap tahun dan menghitung parameter statistik untuk memilih/menguji jenis distribusi yang ideal.
 - Analisis distribusi frekuensi untuk menentukan curah hujan rancangan dan menghitung distribusi jam-jaman.
4. Analisis hidrograf satuan dan hidrograf banjir untuk mendapatkan debit banjir rancangan. Analisis hidrograf pada DAS akan dicoba dengan menggunakan beberapa metode alih ragam (transformasi)

data hujan menjadi debit antara lain yaitu, hidrograf satuan Nakayasu.

5. Analisis Hidrolis Tubuh Bendung

a) Perhitungan Lebar Efektif Bendung

Lebar efektif bendung berkaitan dengan lebar total bendung, yaitu total bendung dikurangi lebar pintu pembilas dan pilar-pilarnya. Lebar total bendung diperhitungkan tidak lebih dari 1,2 lebar normal sungai. Lebar pintu pembilas sama dengan 1/10 kali lebar total bendung, dan untuk lebar pintu pembilas dianggap mampu melewati 80% dari lebar total pintu.

$$B = 1,2 \cdot B_n$$

$$B_{ef} = B - \sum t - \sum b$$

Dimana:

B_{ef} = Lebar efektif bendung (m)

B = Lebar total bendung (m)

B_n = Lebar sungai (m)

$\sum t$ = Jumlah lebar pilar pintu pembilas (m)

$\sum b$ = Jumlah lebar pintu pembilas (m)

b) Mercu Bendung

Bentuk mercu yang digunakan adalah tipe Ogee. Tipe mercu ini tidak akan memberikan tekanan sub atmosfer pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencananya. Untuk bagian hulu mercu bervariasi sesuai dengan kemiringan permukaan hilir. Salah satu alasan dalam

perencanaan digunakan tipe *ogee* adalah karena tanah disepanjang kolam olak dalam keadaan baik. Maka tipe mercu yang cocok adalah tipe mercu *ogee* karena memerlukan lantai muka untuk menahan penggerusan.

Menentukan Tinggi Mercu Bendung harus mempertimbangkan:

- Kebutuhan penyadap untuk memperoleh debit dan tinggi tekan.
- Kebutuhan tinggi energi untuk pembilas.
- Tinggi muka air genangan yang akan terjadi.
- Kesempurnaan aliran pada bendung.
- Kebutuhan pengendalian angkutan sedimen yang terjadi di bendung.

c) Perhitungan Tinggi Muka Air di Hulu Bendung

Tinggi muka air di hulu bendung adalah tinggi muka air banjir di bagian hulu bendung sebelum air mengalami penurunan. Perhitungan tinggi muka air di hulu bendung menggunakan cara *trial and error* atau menggunakan lengkung debit.

$$Q = m \cdot B_{ef} \cdot D^{3/2} \cdot g^{1/2}$$

$$D = 2/3 H$$

$$H = h + k$$

Harga m dan k dihitung dengan persamaan *Verwoerd*, dengan rumus:

$$m = 1,49 - 0,018 (5 - H_{\text{hulu}}/r)^2$$

$$k = \frac{4}{27} \cdot m^2 \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{h+p}\right)^2$$

Dimana:

Q = Debit banjir rencana (m³)

Bef = Lebar efektif bendung (m)

H = Tinggi air di hulu bendung (m)

K = Tinggi kecepatan di hulu bendung (m)

g = Percepatan gravitasi bumi

m = Koefisien pengaliran

p = Tinggi mercu bendung (m)

r = Jari-jari pembulat mercu bendung (m)

d) Perhitungan Tinggi Muka Air di Hulu Bendung

Tinggi muka air di hilir bendung adalah tinggi muka air di bagian hilir bendung setelah arus air normal atau setelah air melewati ruang olakan. Perhitungan tinggi muka air di hilir bendung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = F \cdot v$$

$$F = (Bn + m \cdot h) \cdot h$$

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

$$R = F/P$$

$$C = \frac{87}{1 + \tau \cdot \sqrt{R}}$$

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

Dimana:

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

F = Luas penampang sungai (m^2)

P = Keliling lingkaran basah

V = Kecepatan aliran sungai (m^3/dt)

R = Jari-jari hidrolis penampang sungai

τ = Berat jenis tanah (kg/cm^3)

i = Kemiringan rata-rata sungai

m = Kemiringan talud sungai

b = Tinggi muka air di hilir bendung

e) Ruang Olakan

Sebelum aliran yang melintasi bangunan pelimpah tersebut kembali ke sungai, maka aliran berkecepatan tinggi dengan kondisi aliran super-kritis perlu diubah menjadi aliran sub-kritis, sehingga energi dengan daya penggerus yang sangat kuat dapat diredusir dan kembali ke sungai tanpa membahayakan kestabilan alur sungai tersebut. Tipe kolam olakan yang digunakan pada kondisi topografi di lokasi tersebut adalah tipe *Vlughter*. Perhitungan hidrolis ruang olakan tipe *Vlughter* dipengaruhi oleh tinggi muka air di hulu dan perbedaan tinggi muka air di hulu dengan di hilir, serta dikategorikan menjadi dua alternatif, yaitu:

Alternatif I

$$D = R = (1,1 Z + H)$$

$$a = 0,15 H \sqrt{H/Z}$$

Alternatif II

$$D = R = (0,6 H + 1,4 Z)$$

$$a = 0,2 H \sqrt{H/Z}$$

Perhitungan Panjang Lantai Ruang Olakan:

$$L = (1,0 \sim 2) (p + H_{\text{hulu}}) - 0,2 \cdot H_{\text{hulu}}$$

Keterangan:

D = Kedalaman lantai ruang olakan di ukur dari puncak
mercu bendung (m)

L = Panjang lantai ruang olakan (m)

R = Jari-jari ruang olakan (m)

H = Tinggi muka air di hulu bendung ditambah tinggi
kecepatan

a = Tinggi di rempel (m)

z = Beda tinggi muka air di bagian hulu dengan hilir
bendung (m)

f) Kontrol Ruang Olakan

Kontrol ruang olakan diperhitungkan dengan memperhatikan keadaan aliran air yang menimbulkan loncat air di bagian hilir bendung. Dalam perencanaan sebaiknya kedalaman air akibat loncat air maksimal sama dengan kedalaman muka air di hilir. Karena apabila lebih maka air akan menghempas ke bagian

sungai yang tidak terlindungi dan akan terjadi penggerusan sungai. Besaran-besaran hidrolis yang digunakan untuk jenis kolam olak tersebut adalah sebagai berikut :

$$V1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (0,5H + Z)}$$

$$Y1 = \frac{Q}{V1 \cdot B_{ef}}$$

$$Fr = \frac{V1}{\sqrt{g \cdot Y1}}$$

$$Y2 = Y1/2(\sqrt{1 + 8 \cdot (Fr) \cdot 2}) - 1$$

Dimana :

Q = Debit Rencana (m³/dtk)

H = Tinggi muka air di hulu bendung ditambah tinggi kecepatan

z = Beda tinggi muka air di bagian hulu dengan hilir bendung (m)

Fr = Bilangan Froude

V1 = Kecepatan awal loncatan (m/dtk)

Y1 = Kedalaman air di awal loncat air (m)

Y2 = Kedalaman air di atas ambang ujung

g = Percepatan gravitasi = 9,81 m/dtk²

g) Perhitungan *Local Scouring*

Perhitungan akibat adanya gerusan pada ujung lantai ruang olakan digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir bendung.

Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey.

Persamaan:

$$t = 0,473 \left(\frac{Q}{f}\right)^{1/3}$$

$$f = 1,76 \sqrt{Mr}$$

Dimana:

t = dalam gerusan di muka hilir (m)

Q = debit banjir rencana ($m^3/detik$)

f = *Lacey's factor*

Mr = diameter butiran tanah (0,01 – 0,05)

h) Lantai Muka

Perencanaan lantai muka bendung menggunakan garis kemiringan hidrolik. Garis gradien hidrolik ini digamhar dari hilir ke arah hulu dengan titik ujung hilir bendung sebagai permukaan dengan tekanan sebesar nol. Kemiringan garis hidrolik gradien disesuaikan dengan kemiringan yang diijinkan untuk suatu tanah dasar tertentu, yaitu menggunakan Creep Ratio (C). Untuk mencari panjang lantai depan hulu yang menentukan adalah beda tinggi energi terbesar dimana terjadi pada saat muka banjir di hulu dan kosong di hilir. Garis hidrolik gradien akan membentuk sudut dengan bidang horizontal sebesar α , sehingga akan memotong muka air banjir di hulu.

Proyeksi titik perpotongan tersebut ke arah horizontal (lantai hulu bendung) adalah titik ujung dari panjang lantai depan minimum.

Persamaan :

$$C_L = \frac{\sum Lv + \sum (\frac{1}{3}Lh)}{H}$$

Dimana :

CL = Koefisien Lane

LV = Panjang creep line vertikal (m)

LH = Panjang creep line horizontal (m)

(KP 86 – PU, dalam Nur Arifaini. 2012)

i) Tinjauan Stabilitas Konstruksi Bendung

Tinjauan stabilitas konstruksi dalam hal ini mencakup konstruksi bangunan pelimpah, dinding penahan dan kolam olakan.

(i) Dinding Penahan Tanah

Perencanaan dinding penahan tanah diperlukan untuk menjaga stabilitas konstruksi bendung. Pada dinding penahan tanah ini gaya tekanan pasif dari air dianggap tidak ada, agar stabilitas tetap terjaga saat air tidak ada.

Tekanan tanah aktif pada dinding penahan tanah adalah:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

Dimana:

P_a = Tekanan tanah aktif (t/m^2)

K_a = Koef. tekanan aktif

H = Tinggi tekanan tanah aktif

γ = Berat jenis air

(ii) Gaya Akibat Berat Sendiri

Perhitungan gaya akibat beban sendiri diperlukan untuk mengetahui aman atau tidaknya stabilitas bendung yang direncanakan.

Persamaan :

$$G = A \times \gamma b$$

$$S_Y = G \times \text{Jarak dari Y}$$

$$S_X = G \times \text{Jarak dari X}$$

Dimana :

G = gaya akibat berat sendiri (tm)

F = Luas (m^2)

γb = berat jenis = $2,4 t/m^2$

(iii) Tekanan Tanah

Tekanan tanah merupakan beban yang bekerja pada dinding penahan, khususnya pada bagian peluncur.

Dalam hal ini dapat digunakan persamaan Runkine sebagai berikut :

$$P_a = \gamma s \cdot K_a \cdot H_1 - 2 \cdot C \sqrt{K_a}$$

$$P_p = \gamma s \cdot K_p \cdot H_2 + 2 \cdot C \sqrt{K_p}$$

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \Phi/2)$$

$$K_p = \tan^2 (45^\circ + \Phi/2)$$

Dimana :

$$P_a = \text{tekanan tanah aktif (t/m}^2\text{)}$$

$$P_p = \text{tekanan tanah pasif (t/m}^2\text{)}$$

$$K_a = \text{koef. tekanan aktif}$$

$$K_p = \text{koef. tekanan pasif}$$

$$H_1 = \text{tinggi tekanan tanah aktif}$$

$$H_2 = \text{tinggi tekanan tanah pasif}$$

$$c = \text{cohesif tanah (t/m}^2\text{)}$$

$$\gamma_s = \text{berat jenis tanah jenuh air}$$

(iv) Gaya Gempa

Gaya Gempa diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$K = f * G$$

$$e = (L/2) - (M/R_v)$$

Dimana :

$$K = \text{Gaya akibat gempa (ton)}$$

$$f = \text{Koefisien gempa}$$

$$G = \text{Gaya berat bangunan (ton)}$$

(v) Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik dihitung dengan persamaan sebagai

berikut :

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{air}} \cdot h^2$$

Dimana :

P_w = tekanan air hidrostatik (t/m^2)

γ air = berat isi air (t/m^3)

h = tinggi air (m)

(vi) Tekanan *Uplift*

Tekanan ini akan diperhitungkan terhadap konstruksi yang terletak dibawah muka air. Tekanan *uplift* terjadi pada lantai dengan arah vertikal ke atas, dan dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_u = (H_1 - H_2) \cdot B/2$$

Dimana :

P_u = Tekanan air ke atas (t/m^2)

H_1 = Tinggi muka air hulu bangunan (m)

H_2 = Tinggi muka air hilir bangunan (m)

B = Lebar lantai pondasi bangunan (m)

(vii) Gaya Akibat Tekanan Lumpur

Gaya yang diakibatkan oleh tekanan lumpur yang diperhitungkan untuk mengetahui sejauh mana tekanan lumpur yang ada terjadi pada tubuh bendung.

Endapan lumpur diperhitungkan setinggi mercu, tekanan lumpur yang bekerja pada muka hulu pelimpah dapat dihitung sebagai berikut :

$$P = \frac{\gamma_s \times h^2}{2} \cdot \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

Dimana :

P_s = Gaya yang bekerja secara normal

h = Tinggi mercu (m)

$\emptyset$ = Sudut geser dalam (40°)

γ_s = Berat jenis lumpur

j) Daya Dukung Tanah

Kapasitas/daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja padanya yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Kapasitas/daya dukung tanah batas ($q_u = q_{ult} = \text{ultimate bearing capacity}$) adalah tekanan maksimum yang dapat diterima oleh tanah akibat beban yang bekerja tanpa menimbulkan kelongsoran geser pada tanah pendukung tepat di bawah dan sekeliling pondasi. Menurut Terzaghi (1943), analisis kapasitas dukung didasarkan pada kondisi tanah dengan keruntuhan geser umum (*general shear failure*), dengan rumus:

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Dimana:

q_u = daya dukung maksimum

c = kohesi tanah

γ = berat isi tanah

B = lebar pondasi

L = panjang pondasi

D_f = kedalaman pondasi

N_c ; N_q ; N_γ adalah faktor daya dukung yang besarnya berdasarkan nilai ϕ , yang dapat ditentukan dari Tabel 6.

Tabel 6 . Faktor Daya Dukung Terzaghi

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5.7	1.0	0.0	5.7	1	0
5	7.3	1.6	0.5	6.7	1.4	0.2
10	9.6	2.7	1.2	8	1.9	0.5
15	12.9	4.4	2.5	9.7	2.7	0.9
20	17.7	7.4	5.0	11.8	3.9	1.7
25	25.1	12.7	9.7	14.8	5.6	3.2
30	37.2	22.5	19.7	19	8.3	5.7
34	52.6	36.5	35.0	23.7	11.7	9
35	57.8	41.4	42.4	25.2	12.6	10.1
40	95.7	81.3	100.4	34.9	20.5	18.8
45	172.3	173.3	297.5	51.2	35.1	37.7
48	258.3	287.9	780.1	66.8	50.5	60.4
50	347.6	415.1	1153.2	81.3	65.6	87.1

k) Tinjauan Stabilitas

- Keamanan Terhadap Geser

Persamaan yang digunakan :

$$M = 1/\Delta H \cdot f (\Delta V + c \cdot A) \geq M_i$$

Dimana :

M = faktor keamanan

ΔH = resultan gaya vertikal (t)

f = koefisien geser antara tanah dengan beton/pasangan

V = resultan gaya horizontal (t)

c = kohesif tanah (t/m^2)

A = luas bidang geser yang ditinjau (m^2)

M_i = angka keamanan yang diizinkan

- Keamanan Terhadap Guling

Persamaan yang digunakan :

$$e = \frac{1}{2} b - \frac{\Sigma M}{\Sigma V}$$

$$f_k = \frac{\Sigma M_T}{\Sigma M_G} \geq f_s$$

Dimana :

F_k = faktor keamanan terhadap guling

M_T = jumlah momen penahan guling (tm)

ΣM_G = jumlah momen penyebab guling (tm)

e = eksentrisitas (m),

e harus $< 1/3 L$, untuk kondisi normal, dan

e harus $< 1/6 L$, untuk kondisi gempa.

b = lebar bangunan (m)

ΣM = jumlah momen pada titik yang ditinjau (tm)

ΣV = jumlah gaya vertikal (t)

L = panjang dasar bangunan (m)

- Keamanan Terhadap Daya Dukung Izin

Apabila tidak terdapat tegangan tarik pada dasar pondasi

atau nilai $6e/b < 1$ maka :

$$q = \frac{V}{b} \cdot \left(1 + \frac{6e}{b} \right) < q_a$$

Apabila terjadi tegangan tarik pada dasar pondasi atau nilai

$6e/b > 1$ maka :

$$q = \frac{1}{3} (b - 2e) \cdot V < q_a$$

Dimana :

- q = reaksi daya dukung ke atas (t/m^2)
- q_a = daya dukung yang di izinkan (t/m^2)
- e = eksentrisitas (m)
- b = lebar bangunan (m)
- V = jumlah gaya vertikal yang bekerja (t)

- Faktor Keamanan

Untuk menyediakan provisi keamanan konstruksi terhadap kemungkinan gangguan stabilitas yang mungkin terjadi khususnya terhadap geser dan guling, maka perlu diberikan standar besaran angka keamanan.

Berdasarkan standar SNI T-15, diberikan angka keamanan sebagai berikut :

Tabel 7. Standar Angka Keamanan

Kondisi Beban	Angka Keamanan Geser	Angka Keamanan Guling
Normal	1,5	1,5
Sementara	1,1	1,1

B. Pintu Pengambilan (*Intake*)

Pintu pengambilan (*intake*) pada bendung ini berfungsi untuk menyadap, mengatur sejumlah air dari sungai dan melepas kembali ke sungai (fungsi suplesi) sesuai dengan kebutuhan irigasi. Lokasi dan tipe pintu pengambilan harus didasarkan pada kondisi topografi dan geologi teknis serta pertimbangan ekonomisnya.

Kriteria perencanaan :

- Kebutuhan debit rencana pengambilan/sadap harus memperhitungkan faktor adanya hambatan lumpur sebesar 20%.
- Kecepatan aliran pada saluran pengambilan 0,50 – 1,00 m/det.
- Elevasi mercu bendung direncana 0,10 di atas elevasi pengambilan yang dibutuhkan untuk mencegah kehilangan air pada bendung akibat gelombang.
- Elevasi ambang bangunan pengambilan ditentukan dari tinggi dasar sungai. Ambang direncana di atas dasar dengan ketentuan berikut:
 - 0,50 m jika sungai hanya mengangkut lanau
 - 1,00 m bila sungai juga mengangkut pasir dan kerikil
 - 1,50 m kalau sungai mengangkut batu-batu bongkah.
- Rumus yang digunakan :

$$Q_n = K \cdot \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

Dimana :

Q_n = debit rencana (m^3/dtk)

K = Faktor aliran

μ = koefisien debit

a = tinggi bukaan (m)

b = lebar bukaan (m)

z = kehilangan energi pada bukaan (m)

g = percepatan gravitasi $9,81 m/dtk^2$

(KP – 02 Kriteria Perencanaan Bendung, 1986)

C. Pintu Penguras

Berfungsi untuk mengendapkan sedimen kasar agar tidak masuk ke pengambilan dan secara berkala sedimen tersebut dibuang ke hilir melalui pintu penguras.

Untuk menentukan lebar pembilas yaitu dengan menambahkan lebar pembilas dengan tebal pilar pembagi, dan hasilnya sebaiknya sama dengan $1/6 - 1/10$ dari lebar bersih bendung (jarak antara pangkal-pangkalnya), untuk sungai-sungai yang lebarnya kurang dari 100 m. (KP – 02 Kriteria Perencanaan Bendung, 1986)

$$Q_n = m \cdot b \cdot h_{kr} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h_{kr}}$$

$$h_{kr} = 2/3 H$$

$$\Delta h_{kr} = 1/3 H$$

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

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

$$R = A/P$$

$$V = Q/A$$

$$V = (1/n) \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Dimana:

$$Q_n = \text{Debit rencana (m}^3/\text{dtk)}$$

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

$$H = \text{tinggi pintu (m)}$$

$$b = \text{lebar pintu (m)}$$

$$m = \text{koefisien bukaan pintu (m)}$$

g = percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/dtk}^2$

V = kecepatan aliran (m^3/dt)

(Ikhbal Muttakin, 2014)

2.4 Analisis Pembiayaan

Setiap proyek konstruksi selalu dimulai dengan proses perencanaan. Analisis pembiayaan merupakan salah satu proses yang harus dilakukan dalam perencanaan proyek konstruksi.

Tahap-tahap yang sebaiknya dilakukan untuk menyusun anggaran biaya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengumpulan data tentang jenis, harga serta kemampuan pasar menyediakan bahan/material konstruksi secara kontinu.
2. Melakukan pengumpulan data tentang upah kerja yang berlaku di daerah lokasi proyek dan atau upah pada umumnya jika pekerja didatangkan dari luar daerah lokasi proyek.
3. Melakukan perhitungan analisa bahan dan upah dengan menggunakan analisa yang diyakini baik oleh si pembuat anggaran. Dalam penelitian ini, digunakan perhitungan berdasarkan analisa standar harga satuan pekerjaan (AHSP).
4. Melakukan perhitungan harga satuan pekerjaan dengan memanfaatkan hasil analisa satuan pekerjaan dengan memanfaatkan hasil analisa satuan pekerjaan dan daftar kuantitas pekerjaan.
5. Membuat rekapitulasi.

2.4.1 Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) bidang pekerjaan umum meliputi kegiatan pekerjaan Sumber Daya Air (bendung, pintu air dan hidromekanik, terowongan air, bangunan sungai, jaringan irigasi, bangunan lepas pantai, dll), Bina Marga (jalan jembatan, jalan layang, terowongan jalan, saluran tepi jalan, bahu jalan, trotoar, dll), dan Cipta Karya (bangunan gedung, perumahan, bangunan bawah tanah, dll). (AHSP, 2013)

2.4.2 Pembuatan Volume Pekerjaan (*Bill Of Quantity*)

Lembar perhitungan volume pekerjaan (*Bill Of Quantity*) dirinci untuk seluruh usulan paket pekerjaan rehabilitasi dan sesuai dengan hasil diskusi *System Planning*. Kemudian dibuat daftar rekapitulasi pada masing-masing rincian tersebut antara lain volume galian dan timbunan (m^3), volume pasangan batu (m^3), luas plesteran (m^2), dan sebagainya. Prosedur sistematis akan diikuti untuk mempermudah perhitungan dan pengontrolan volume. Untuk pekerjaan bangunan air disediakan sketsa yang jelas untuk *mutual check* berikutnya antara pihak Pemilik Pekerjaan dan kontraktor.

2.4.3 Pembuatan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Pembuatan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan konstruksi akan didasarkan atas harga bahan dan upah tenaga kerja yang berlaku di lokasi pekerjaan. Hal ini dapat diperoleh dari daftar PITB (Pusat Informasi Teknik Bangunan DPU Cipta Karya) dan

informasi dari DPU Pengairan Kabupaten dan survey harga / upah nyata dilapangan. Upah tenaga kerja mengacu pada UMR yang dikeluarkan Menaker dan Gubernur.

Pembuatan Analisa Harga Satuan Pekerjaan menggunakan format dari Menteri PU, dengan referensi B.O.W, SNI dan P5 (penggunaan alat berat) serta disesuaikan dengan kebutuhan dilapangan. Format RAB mengacu pada Surat Edaran Menteri PU, perihal pengelompokan jenis pekerjaan.