

LAPORAN TUGAS AKHIR

PENANGGULANGAN GENANGAN DI HULU BENDUNG KALIALANG
SUNGAI GANGSA TEGAL - BREBES



BAB II STUDI PUSTAKA

PUTRI FITRIA SARI
YUNI RETNANINGSIH

L2AO 01 122
L2AO 01 176

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Pengendalian banjir pada umumnya meliputi kegiatan perencanaan, pelaksanaan kegiatan pengendalian banjir dan pemeliharaan yang pada dasarnya bertujuan untuk mengendalikan banjir, pengaturan daerah dataran banjir dan mengurangi atau mencegah adanya bahaya serta kerugian akibat banjir.

Dalam perencanaan penanggulangan genangan di hulu bendung Kali Alang sungai Gangsa di wilayah kabupaten Tegal ini perlu dilakukan tinjauan pustaka untuk mengetahui dasar-dasar teori yang digunakan dalam penanganan banjir. Tinjauan pustaka ini menguraikan tentang dasar-dasar pengolahan dan analisis data untuk perencanaan dan dasar-dasar perhitungan dalam perencanaan penanggulangan banjir yang meliputi :

1. Hidrologi

Hidrologi meliputi distribusi curah hujan rata-rata, curah hujan rencana, uji keselarasan distribusi, intensitas curah hujan, debit banjir rencana dan analisis debit andalan.

2. Analisis Hidrolis

Uraian mengenai analisis hidrolis meliputi kondisi sungai sebelum dibendung dan sesudah dibendung, perencanaan hidrolis bendung dan bangunan pelengkap seperti bangunan pengambilan dan kantong lumpur serta analisis back water.

3. Perencanaan Struktur Pintu

Perencanaan struktur pintu meliputi perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada pintu.

4. Analisis Stabilitas Bendung

Analisis stabilitas bendung berisi tentang analisis konstruksi bendung dalam menahan gaya-gaya yang bekerja baik dari luar maupun dari dalam.

2.2 Hidrologi

Faktor-faktor hidrologi yang mempengaruhi dalam perencanaan penanggulangan banjir di hulu bendung Kali Alang sungai Gangsa di kabupaten Tegal adalah curah hujan dan intensitasnya. Curah hujan pada daerah dataran tinggi merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya debit banjir yang akan terjadi pada daerah yang akan menerimanya.

Dengan diketahuinya besar curah hujan pada daerah itu maka dapat diketahui pula intensitas hujan pada daerah itu, sehingga dapat diketahui berapa besarnya debit banjir yang akan terjadi pada daerah genangan yang menjadi tujuan banjir tersebut.

2.2.1 Distribusi Curah Hujan Rata-Rata

Ada beberapa macam cara yang dapat digunakan untuk menghitung distribusi curah hujan DAS dari catatan hujan lokal pada stasiun-stasiun hujan diantaranya yaitu metode rata-rata aljabar, *poligon thiessen*, dan metode *ishohyet*.

Dalam perhitungan distribusi curah hujan rata-rata untuk penanggulangan genangan di hulu bendung Kalialang digunakan dengan metode *poligon thiessen* karena metode ini sesuai untuk digunakan pada daerah yang memiliki pos hujan minimal 3 tempat dan tidak tersebar merata (Suyono Sosrodarsono, Ir, 1993, "*Hidrologi Untuk Pengairan*").

Metode *poligon thiessen* dipakai apabila daerah pengaruh dan curah hujan rata-rata tiap stasiun berbeda-beda. Metode Thiessen ditentukan dengan cara membuat polygon antar pos hujan pada suatu wilayah DAS, kemudian tinggi hujan rata-rata dihitung dari jumlah perkalian antara tiap-tiap luas polygon dan tinggi hujannya dibagi dengan luas seluruh DAS.

$$\text{Rumus : } \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x R_i}{\Sigma A} \quad (2.1)$$

Di mana :

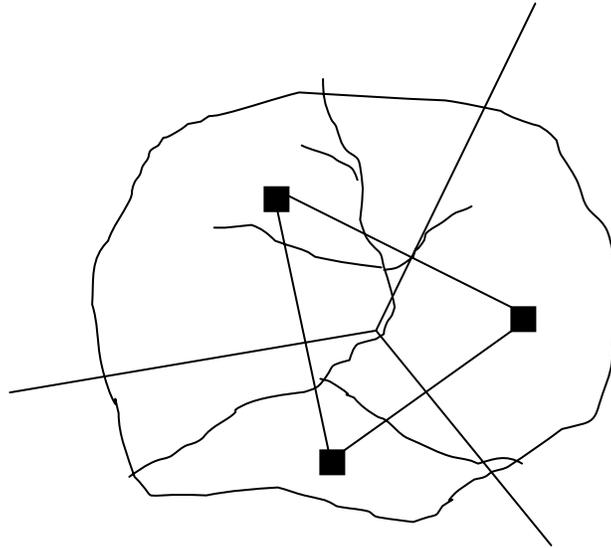
\bar{R} = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

A_i = luas DAS stasiun i (km^2)

R_i = curah hujan stasiun i (mm)

ΣA = luas DAS (km²)

(Suyono Sosrodarsono, Ir, 1993, “*Hidrologi Untuk Pengairan*”)



Gambar 2.2.1 Cara *Poligon Thiesen*

2.2.2 Curah Hujan Rencana

Setelah mendapatkan curah hujan rata-rata berbagai stasiun yang ada di daerah aliran sungai, selanjutnya dianalisis secara statistik untuk mendapatkan pola sebaran yang sesuai selanjutnya dihitung curah hujan rencana dalam beberapa periode ulang yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana.

Analisis statistik tersebut terdiri dari beberapa metode yaitu:

a. Metode Distribusi Normal

Data yang digunakan adalah data curah hujan selama periode tertentu

$$\text{Rumus : } R_t = \bar{R} + z.Sd \quad (2.2)$$

Di mana :

R_t = curah hujan rencana (mm).

\bar{R} = curah hujan maksimum rata-rata (mm).

Sd = standard deviasi

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

z = faktor frekuensi distribusi normal

(Suyono Sosrodarsono, Ir, 1993, “*Hidrologi Untuk Pengairan*”)

b. Metode *Gumbel*

$$\text{Rumus : } Rtr = \bar{R} + S.Kr \tag{2.3}$$

Di mana :

Rtr = curah hujan dengan periode ulang t tahun (mm).

\bar{R} = curah hujan maksimum rata-rata (mm).

S = standard deviasi

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

Kr = faktor frekuensi Gumbel

$$= 0,78(-\ln(1-1/Tr)) - 0,45$$

Tr = periode ulang (tahun).

(Suyono Sosrodarsono, Ir, 1993, “*Hidrologi Untuk Pengairan*”)

c. Metode *Distribusi Log Pearson III*

$$\text{Rumus : } Rt = \bar{R} + k.Sd^3 \tag{2.4}$$

R = curah hujan rencana (mm)

Sd³ = standar deviasi bentuk logaritma untuk *Pearson III*

$$Sd = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\ln x - \overline{\ln x})^3}$$

k = angka yang didapat dari Cs

- Koefisien *Skewness* (Cs)

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \tag{2.5}$$

- Koefisien *Kurtosis* (Ck)

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \quad (2.6)$$

- Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{Sd}{x} \quad (2.7)$$

(Soewarno, 1995, “*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisis data*” jilid I)

2.2.3 Uji Keselarasan Ditribusi

a. Metode *Chi Kuadrat*

Uji sebaran ini dimaksudkan untuk mengetahui distribusi-distribusi yang memenuhi syarat untuk dijadikan dasar dalam menentukan debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu. Salah satu metode yang digunakan adalah metode *Chi Kuadrat*.

Metode *Chi Kuadrat* ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Penggambaran distribusi curah hujan dilakukan untuk setiap metode distribusi
- Penggambaran distribusi ini dilakukan untuk mengetahui beda antara frekuensi yang diharapkan (Ef) dengan frekuensi yang terbaca.

Sebelum penggambaran terlebih dahulu dihitung peluang (P) masing-masing curah hujan rata-rata dengan rumus :

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (2.8)$$

Di mana :

- P = peluang terjadinya curah hujan tertentu
 m = nomor ranking curah hujan
 n = jumlah data

- Setelah plotting data selesai maka dibuat garis yang memotong daerah rata-rata titik tersebut, nilai titik-titik merupakan nilai frekuensi yang terbaca (O_f), dan nilai pada garis adalah frekuensi yang diharapkan (E_f)
- Menentukan parameter uji *Chi Kuadrat* hasil plotting data dengan rumus :

$$X^2 = \sum_i^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \quad (2.9)$$

- Menentukan parameter Uji Chi Kuadrat sesungguhnya berdasarkan nilai derajat kepercayaan sebesar 0,95 atau 95% ($\alpha = 0,05$ atau 5%) dan derajat kebebasan (D_k) di mana :

$$D_k = K - (p+1) \quad (2.10)$$

K = jumlah data

P = probabilitas

(CD. Soemarto, Ir, 1987, *Hidrologi Teknik.*)

b Metode *Smirnov-Kolmogorof*

Dikenal dengan uji kecocokan non parametric karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya dan tentukan peluangnya dari masing-masing data tersebut.
- Tentukan nilai variabel reduksi $\{f(t)\}$.

$$f(t) = \frac{(X - \bar{X})}{S} \quad (2.11)$$

- Tentukan peluang teoritis $\{P'(X_i)\}$ dari nilai $f(t)$ dengan tabel.
- Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih antara pengamatan dan peluang teoritis.

$$D_{maks} = \text{Maks} \{ P(X_i) - P'(X_i) \} \quad (2.12)$$

- Berdasarkan tabel nilai kritis *Smirnov- Kolmogorof* tentukan harga D_o .

(CD. Soemarto, Ir, 1987, *Hidrologi Teknik.*)

Tabel 2.2.1 Wilayah Luas di bawah Kurva Normal Uji *Smirnov-Kolmogorov* untuk $\alpha = 0,05$

<i>t</i>	$\alpha = 0,05$	<i>t</i>	$\alpha = 0,05$	<i>t</i>	$\alpha = 0,05$	<i>t</i>	$\alpha = 0,05$
-3,4	0,0003	-1,4	0,0735	0,5	0,7088	2,5	0,9946
-3,3	0,0004	-1,3	0,0885	0,6	0,7422	2,6	0,9960
-3,2	0,0006	-1,2	0,1056	0,7	0,7734	2,7	0,9970
-3,1	0,0008	-1,1	0,1251	0,8	0,8023	2,8	0,9978
-3,0	0,0011	-1,0	0,1469	0,9	0,8289	2,9	0,9984
-2,9	0,0016	-0,9	0,1711	1,0	0,8591	3,0	0,9989
-2,8	0,0022	-0,8	0,1977	1,1	0,8749	3,1	0,9992
-2,7	0,0030	-0,7	0,2266	1,2	0,8944	3,2	0,9994
-2,6	0,0040	-0,6	0,2578	1,3	0,9115	3,3	0,9996
-2,5	0,0054	-0,5	0,2912	1,4	0,9265	3,4	0,9997
-2,4	0,0071	-0,4	0,3264	1,5	0,9394		
-2,3	0,0094	-0,3	0,3632	1,6	0,9505		
-2,2	0,0122	-0,2	0,4013	1,7	0,959		
-2,1	0,0158	-0,1	0,4404	1,8	0,9678		

Tabel 2.2.2 Nilai Kritis (Do) *Smirnov – Kolmogorov*

N	α			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,546	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36

2.2.4 Intensitas Curah Hujan

Curah hujan jangka pendek biasanya dinyatakan dalam intensitas curah hujan. Hujan dalam intensitas yang besar pada umumnya terjadi dalam waktu yang pendek. Hubungan intensitas hujan dengan waktu hujan banyak dirumuskan oleh lamanya curah hujan dan frekwensi kejadiannya. Intensitas curah hujan rata-rata digunakan cara rasional atau storage function.

Ada banyak model untuk mengestimasi intensitas curah hujan rata-rata dari curah hujan harian yaitu menurut Dr. Mononobe, Talbot (1881) untuk hujan dengan waktu < 2 jam, Rumus Sherman untuk hujan dengan waktu > 2 jam dan Ishiguro (1953).

Dalam perhitungan intensitas curah hujan yang akan digunakan yaitu menurut Dr. Mononobe.

Rumus :

$$I = \{ R_{24}/24 \} * \{ 24/t \}^{0,667} \quad (2.13)$$

Di mana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam).

t = lamanya hujan (jam).

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm).

(Suyono Sosrodarsono, Ir, 1993, “*Hidrologi Untuk Pengairan*”)

2.2.5 Debit Banjir Rencana

Untuk merencanakan pengendalian banjir maka diperlukan besarnya debit banjir rencana yang dapat ditentukan dengan cara :

1) Metode Rasional

$$\text{Rumus} \quad = Q = \frac{C.I.A}{3,6} = 0,278.C.I.A \quad (2.14)$$

Di mana :

Q = debit rencana (m³/det)

A = luas daerah aliran sungai (km²)

C = koefisien *run off*

I = intensitas curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air berkonsentrasi. (mm)

(Sri Eko Wahyuni, Ir, “ *Hidrologi* ”)

Koefisien *run off* didapatkan melalui penelitian terhadap jenis lapisan permukaan tanah. Setelah melalui berbagai percobaan didapatkan *run off* yang disajikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.2.3 Harga Koefisien *Run Off* dari *Dr. Mononobe*

Kondisi Daerah Pengaliran dan Sungai	Harga C
Daerah Pegunungan yang curam	0,75-0,90
Daerah pegunungan tersier	0,70-0,80
Sungai dengan tanah dan hutan di bag. Atas dan bawahnya	0,50-0,75
Tanah datar yang ditanami	0,45-0,60
Sawah waktu diairi	0,70-0,80
Sungai bergunung	0,75-0,85
Sungai dataran	0,45-0,75

2) Metode *Melchior*, *Weduwen* dan *Hasper*

Metode *Melchior* digunakan pada daerah yang mempunyai luas DAS lebih besar dari 100 km².

Metode *Weduwen* digunakan untuk luas DAS kurang dari 100 km² dengan curah hujan sehari 240 mm

Persamaan dasar (2.28) di atas kemudian dikembangkan untuk daerah aliran sungai sebagai berikut :

$$\text{Rumus : } Q = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot f \quad (2.15)$$

Di mana :

- α = koefisien *run off*
- β = koefisien reduksi
- q = hujan maksimum (mm³/km²/det)
- f = luas DAS (km²)

- Koefisien *Run Off* (α)

Koefisien ini merupakan perbandingan antara *run off* dengan hujan.

Melchior : $0,42 \leq \alpha \leq 0,62$ (diambil 0,52)

Weduwen : $\alpha = 1 - (4,1 / (q+7))$

Hasper : $\alpha = (1+0,0172 \cdot A^{0,7}) / (1+0,075 \cdot A^{0,7})$

- Koefisien reduksi (β)

Koefisien ini diperlukan untuk mendapatkan hujan rata-rata dari hujan maksimum.

$$\text{Melchior} : A = (1979/(\beta-0,12)) - 3960 + 1720$$

$$\text{Weduwen} : \beta = \frac{120 + [(Tc + 1)(Tc + 90)]A}{120 + A}$$

$$\text{Hasper} : \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{Tc + 3,7 \times 10^{-0,41}}{Tc^2 + 15} \times \frac{A^{3/4}}{12}$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$\text{Melchior} : Tc = 1000 \cdot \frac{L}{3600} \cdot V$$

Di mana :

L = panjang sungai (m).

V = kecepatan rata-rata = 1,3 (Q/i²).

I = kemiringan sungai = H/0,9 L.

H = beda elevasi (m).

$$\text{Weduwen} : Tc = 0,125 \cdot L \cdot Q^{-0,125} \cdot I^{-0,25}$$

$$\text{Hasper} : Tc = 0,1 \cdot L^{0,8} \cdot I^{-0,3}$$

(Joesron Loebis, Ir, M.Eng, 1984, “Banjir Rencana Untuk Bangunan Air”)

3) Metode Jawa Sumatra

Data yang diperlukan untuk metode ini yaitu :

A = luas DAS (km²)

H = beda antara titik pengamatan dan ujung sungai tertinggi (m)

MSL = jarak terbesar dari tempat pengamatan sampai batas terjauh dari DAS (km)

PBAR = hujan maksimum rata-rata setahun selama 24 jam (mm)

LAKE = indeks danau (untuk bendung = 0)

ARF = faktor reduksi (*Area Reduction Factor*)

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\text{APBR} = \text{PBAR} \times \text{ARF}$$

SIMS = indeks kemiringan H/MSL

$$V = 1,02 - 0,0275 \log A$$

$$MAF = 8.10^{-6} \times A^V \times APBAR^{2,445} \times SIMS^{0,117} + (1+LAKE)^{-0,85}$$

$$QT (T.AREA) = GF \cdot (T..AREA) \times MAF \quad (2.16)$$

(DPU Pengairan, 1985, "Pedoman Pengantar petunjuk untuk Desain Banjir Jawa dan Sumatra")

Tabel 2.2.4 Area Reduction Factor

Luas DAS (km ²)	ARF
1-10	0,99
10-30	0,97
30-30.000	1,152 - 0,1233.log.(AREA)

Tabel 2.2.5 Growth Factor : GF (T AREA)

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

2.2.6 Analisis Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit minimum sungai yang dapat dipakai untuk keperluan irigasi dengan kemungkinan 80% terpenuhi. Perhitungan debit andalan bertujuan untuk menentukan areal persawahan yang dapat diairi.

Adapun data serta perhitungannya adalah sebagai berikut :

a. Data Hujan

- Curah hujan bulanan (P) dalam mm.

- Jumlah hari hujan (n) bulan yang bersangkutan.

Untuk keperluan perhitungan debit andalan dipakai curah hujan 20% kering (1 in 5 dry) dengan kemungkinan 5 tahun sekali tidak terpenuhi. Analisis data curah hujan tahunan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran hujan tahunan yang mewakili pada suatu tahun tertentu hasil analisis data curah hujan tersebut.

Curah hujan andalan 20% kering :

$$R_{(1/5)} = \left(\frac{n}{5} + 1 \right) \quad (2.17)$$

Dimana :

$R_{(1/5)}$ = curah hujan ranking ke 5+1 dari kecil ke besar

n = jumlah data hujan

- b. Temperatur / suhu udara rata-rata bulanan ($^{\circ}\text{C}$)

Temperatur di daerah ini tidak bervariasi, karena temperatur di daerah ini dipengaruhi oleh air laut di sekitar pulau Jawa.

- c. Kelembaban udara rata-rata bulanan (%)

Kelembaban nisbi di daerah studi hampir merata dan cukup tinggi.

- d. Penyinaran matahari

Rekaman penyinaran matahari di daerah studi.

- e. Kecepatan angin

Kecepatan angin diukur pada ketinggian 2 m di atas permukaan tanah. Jika satuan dalam pengukuran yang diinginkan *knots*, maka dikonversikan ke m/det dengan dikalikan 0,515, demikian pula jika satuannya dalam km/jam, maka dikonversi ke m/det dengan dikalikan 0,2775.

Perhitungan debit andalan menggunakan metode *FJ Mock* di mana metode ini dengan cara menghitung besarnya aliran sungai dari data curah hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran.

Prinsip perhitungan ini adalah bahwa hujan 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 tanah (*top soil*) yang kemudian perkolasi dan akhirnya keluar sampai ke sungai sebagai *base flow*.

$$\text{Rumus : } Q = \{ D(ro) + B(n) \} . A \quad (2.18)$$

Di mana :

$$\begin{aligned} Q &= \text{Debit andalan (m}^3\text{)}. \\ D(ro) &= \text{Direct run off (m}^3\text{)}. \\ &= W_s - I \\ B(n) &= \text{Base flow (m}^3\text{)}. \\ &= 1 - dV(n) \\ W_s &= \text{Water surplus (m}^3\text{)}. \\ dV_n &= \text{Perubahan volume of storage (m}^3\text{)}. \\ A &= \text{Luas catchment area (km}^2\text{)} \end{aligned}$$

Perhitungan debit andalan meliputi :

a. Data Curah hujan

R_s = curah hujan bulanan (mm)

n = jumlah hari hujan

b. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas dihitung dari evapotranspirasi potensial metode Penman.

$$dE/E_t = (m/20) \times (18 - n) \quad (2.19)$$

$$dE = (m/20) \times (18 - n) \times E_t$$

$$E_{t1} = E_t - dE$$

Di mana :

$$dE = \text{selisih evapotranspirasi (mm)}$$

$$E_t = \text{evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas (mm)}$$

- Eto = evapotranspirasi potensial (mm)
- Etl = evapotranspirasi terbatas (mm)
- m = Prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi
 - = 10- 40% untuk lahan tererosi
 - = 30 -5- % untuk lahan pertanian yang diolah

c. Keseimbangan air pada permukaan tanah

Rumus mengenai air yang mencapai permukaan tanah yaitu :

$$S = R_s - E_{tc} \quad (2.20)$$

$$SMC(n) = SMC(n-1) + IS(n) \quad (2.21)$$

$$WS = S - IS \quad (2.22)$$

Di mana :

- S = Kandungan air tanah (mm).
- R_s = Curah hujan bulanan (mm)
- E_{tl} = Evapotranspirasi terbatas (mm)
- IS = tampungan awal/*Soil storage* (mm)
- IS(n) = tampungan awal/*Soil storage* bulan ke-n(mm)
- SMC = Kelembaban tanah/*Soil storage moisture* (mm)
diambil antara 50-250 mm
- SMC(n) = Kelembaban tanah bulan ke-n (%)
- SMC(n-1) = Kelembaban tanah bulan ke- (n-1) (%)
- WS = *Water surplus*/volume air lebih (m³)

d. Limpasan (*run off*) dan tampunga air tanah (*ground water storage*)

$$V(n) = kV(n-1) + 0,5 (1-k). I(n) \quad (2.23)$$

$$dV_n = V(n) - V(n-1) \quad (2.24)$$

Di mana :

- V(n) = Volume air tanah bulan ke-n (m³)
- V(n-1) = Volume air tanah bulan ke (n-1) (m³)
- k = Faktor resesi aliran tanah diambil antara 0 -1,0
- I = Koefisien infiltrasi diambil 0 – 1,0

Harga k yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air.

Koefisien infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang porus mempunyai infiltrasi lebih tinggi dibanding tanah lempung berat. Lahan yang terjal menyebabkan air tidak sempat berinfiltrasi ke dalam tanah sehingga koefisien infiltrasi akan kecil.

e. Aliran sungai.

Aliran Dasar adalah infiltrasi dikurangi perubahan volume air dalam tanah.

$$B(n) = I - dV(n) \quad (2.25)$$

Aliran permukaan adalah volume air lebih dikurangi infiltrasi.

$$D(ro) = WS - I \quad (2.26)$$

Aliran sungai adalah aliran permukaan ditambah aliran dasar.

$$Q = D(ro) + B(n) \quad (2.27)$$

$$\text{Debit} = \frac{(\text{aliransungai}) \times (\text{luasDAS})}{(\text{satu})\text{bulan}(\text{detik})} \quad (2.28)$$

Kemudian hasil analisis tersebut dibandingkan dengan hasil analisis catatan debit aliran sungai yang ada.

Dari hasil perbandingan tersebut, maka debit andalan yang akan digunakan adalah catatan debit aliran sungai yang ada, karena hasil catatan tersebut lebih sesuai dengan keadaan di lapangan. Dalam hal ini perhitungan dengan metode *water balance* dari *Dr. FJ. Mock* hanya akan digunakan sebagai perbandingan.

(__, 1986, "Standar Perencanaan Irigasi")

2.3 Analisis Hidrolis

Analisis hidrolis dalam perencanaan penanggulangan banjir di hulu bendung Kalialang diperlukan untuk menganalisis kondisi sungai sebelum maupun sesudah dibendung, perencanaan hidrolis bendung dan bangunan pelengkap yang meliputi bangunan pengambilan dan kantong lumpur serta analisis back water.

2.3.1 Dimensi Sungai Sebelum Ada Bendung

Perhitungan dimensi sungai sebelum dibendung meliputi perhitungan tinggi muka air sungai dan dimensi sungai. Hal ini diperlukan untuk mengetahui kondisi awal sungai sebelum dibuat bendung baik ketinggian muka air maupun dimensinya. Tinggi muka air sebelum di bendung di hitung berdasarkan pada lebar bentang sungai rata-rata dan besarnya kemiringan rata-rata.

Rumus Manning :

$$V = k.R^{2/3}.S^{1/2} \quad (2.29)$$

$$Q = A * V \quad (2.30)$$

$$A = (B + m.h)h \quad (2.31)$$

$$P = B + 2h\sqrt{m^2 + 1} \quad (2.32)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.33)$$

Dimana :

V = kecepatan aliran (m/dt)

C = faktor hambatan Chezy

γ = berat jenis tanah (t/m³)

S = kemiringan energi

Q = debit (m³/dt)

A = luas penampang (m²)

B = lebar penampang (m)

m = koefisien kekasaran

h = tinggi muka air (m)

P = keliling basah

R = jari-jari hidrolis

(EV Nensi Rosalina, 1992, "Hidrolika Saluran Terbuka")

2.3.2 Bendung Tetap

Bendung tetap merupakan bendung yang terdiri dari ambang tetap sehingga muka air banjir tidak dapat diatur elevasinya. Penampang melintang tubuhnya mempunyai bidang vertikal atau mendekati vertikal pada lereng hulunya, tetapi lereng hilirnya landai dan memenuhi persyaratan stabilitas mekanis serta direncanakan sedemikian rupa sehingga aman terhadap guling dan gelincir.

Adanya pembuatan bendung tetap akan mengakibatkan kenaikan muka air di hulu sungai, untuk itu perlu dilakukan analisis agar bagian hulu sungai dapat menampung air akibat back water. Kondisi sungai setelah bendung perlu ditinjau agar tidak menimbulkan dampak yang negatif seperti banjir di bagian hulu.

1. Lebar Bendung

Lebar bendung tetap adalah jarak antara tembok tegak pangkal disatu sisi dengan tembok tegak pangkal sisi yang lain. Lebar bendung diambil sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang lurus dan stabil.

Agar pembuatan bangunan peredam energi tidak terlalu mahal, maka aliran per satuan lebar dibatasi sampai dengan $12 - 14 \text{ m}^3/\text{dt.m}'$, yang memberikan tinggi energi maksimum sebesar $3,5 - 4,5 \text{ m}$. (KP. 02 hal 38)

Rumus untuk lebar bendung:

$$B = 1,2 \times B_n \quad (2.34)$$

Di mana :

B = lebar bendung (m).

B_n = lebar rata-rata (m).

(__, 1986, "Standar Perencanaan Irigasi")

2. Elevasi Mercu

Untuk elevasi mercu bendung didasarkan pada analisis tujuan pemanfaatan bendung. Tinggi bendung didapat dari analisis kebutuhan air/muka air sawah tertinggi dan kehilangan energi selama pengambilan sampai ke sawah. Tinggi mercu

bendung sama dengan tinggi muka air sawah tertinggi ditambah kehilangan energi yang terjadi.

Standar perhitungan elevasi mercu bendung:

- a. Elevasi sawah tertinggi (m).
- b. Tinggi muka air sawah (genangan) (m).
- c. Jumlah kehilangan tinggi energi :
 - Kehilangan tinggi energi pada pengambilan
 - Kehilangan tinggi energi pada alat ukur
 - Kehilangan tinggi energi pada pengendap lumpur/pasir
 - Kehilangan tinggi energi pada bangunan pembilas
- d. Persediaan karena eksploitasi (m).
- e. Persediaan karena lain-lain (m).

3. Tinggi Air di Atas Mercu

Perhitungan tinggi air di atas mercu untuk bendung tetap menggunakan rumus :

$$Q = cd.2/3.\sqrt{2/3g}.Be.H_1^{3/2} \quad (2.35)$$

Dimana :

Q = debit (m³/dt)

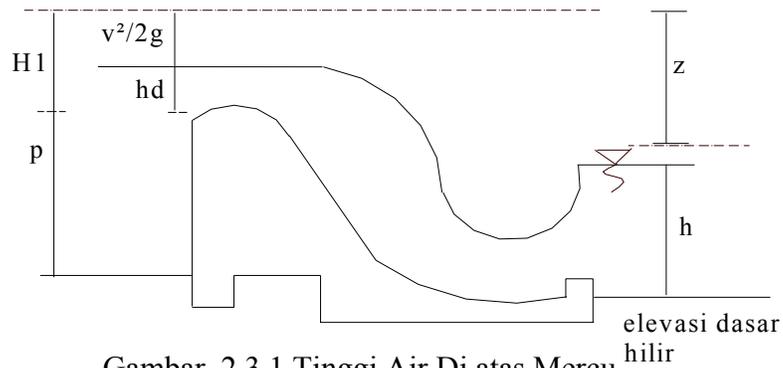
Cd = koefisien debit

g = gravitasi (m/dt²)

Be = lebar efektif bendung

H₁ = tinggi energi (m)

(Erman Mawardi, Drs, Dipl, AIT, “*Desain Hidrolik Bendung*”)



Gambar 2.3.1 Tinggi Air Di atas Mercu

4. Tinggi Air di Hilir Bendung

Muka air di hilir bendung di hitung dengan menggunakan rumus :

$$V = k.R^{2/3}.S^{1/2} \quad (2.36)$$

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

$$P = b + 2h\sqrt{m^2 + 1}, \quad R = \frac{A}{P}$$

Dimana :

V = kecepatan aliran (m/dt)

S = kemiringan energi

A = luas penampang (m^2)

b = lebar penampang (m)

m = koefisien kekasaran

h = tinggi muka air (perhitungan h dgn cara coba-coba) (m)

P = keliling basah

R = jari-jari hidrolis

K = koefisien (K=40)

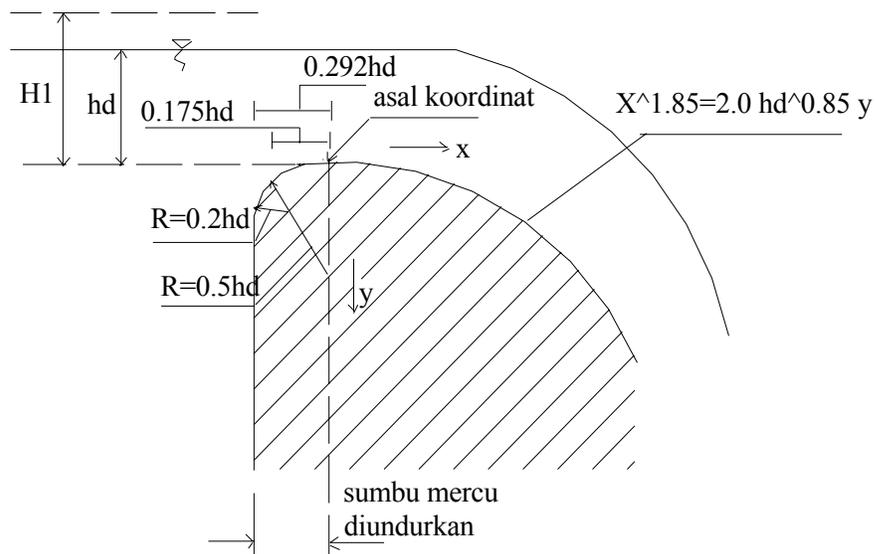
(Suripin, Dr, Ir, M.Eng, "Buku Kuliah Hidraulika II")

5. Mercu Bendung

Untuk tipe mercu bendung di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe yaitu tipe Ogee dan tipe bulat. Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai untuk

konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya. Hal ini dikarenakan :

- Bentuknya sederhana, sehingga mudah dalam pelaksanaan
- Mempunyai bentuk mercu yang besar, sehingga lebih tahan terhadap benturan batu bongkah
- Tahan terhadap goresan atau abrasi karena mercu bendung diperkuat oleh pasangan batu kali
- Pengaruh kavitasi hampir tidak ada atau tidak begitu besar
- Jari-jari mercu bendung pasangan batu harus memenuhi syarat minimum yaitu $0,3H_1 < R < 0,7H_2$



Gambar 2.3.2 Bentuk Mercu Ogee dengan Kemiringan Permukaan Hulu Tegak Lurus

Tabel 2.3.1 Harga-harga K dan n

Kemiringan permukaan hulu	K	n
Tegak lurus	2,000	1,850
3: 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
3 : 3	1,873	1,776

(Sangkawati, Ir, “ Diktat Kuliah Bangunan air I”)

6. Kolam Olak

Kolam olak adalah suatu bangunan berupa kolam di hilir bendung yang berfungsi untuk meredam energi yang timbul di dalam aliran air super kritis yang melewati pelimpah.

Ada beberapa tipe kolam olak, antara lain Vlughter, Schotlich dan tipe USBR. Kolam olak yang akan digunakan dalam perhitungan penanggulangan banjir adalah kolam olak tipe Vlughter.

Bentuk hidrolis kolam olak tipe Vlughter merupakan pertemuan suatu penampang miring, penampang melengkung dan penampang lurus. Tipe ini tidak banyak digunakan karena mempunyai dasar *aluvial* dan tidak banyak membawa sedimen yang berdiameter besar.

1) Bentuk hidrolis :

- Untuk : $\frac{4}{3} < \frac{z}{H} < 10$

Maka : $D = R = L = 1,1z + H$

$$a = 0,15 H \sqrt{\frac{H}{z}}$$

- Untuk : $\frac{1}{3} < \frac{z}{H} < \frac{4}{3}$

Maka : $D = R = L = 1,4z + 0,6 H$

$$a = 0,20 H \sqrt{\frac{H}{z}}$$

$$H = h_1 + k_1$$

$$z = E_1 - E_2$$

2) Batasan

- $D < 6 \text{ m}$
- $Z < 6 \text{ m}$
- Ruang olakan dapat digali.
- Gerusan *down stream* dianggap rata dengan *endsill*

Di mana :

h_1 = tinggi air di atas mercu (m)

k_1 = tinggi energi dari muka air (m)

H = tinggi energi dari mercu (m)

z = beda tinggi energi air hulu dan hilir (m)

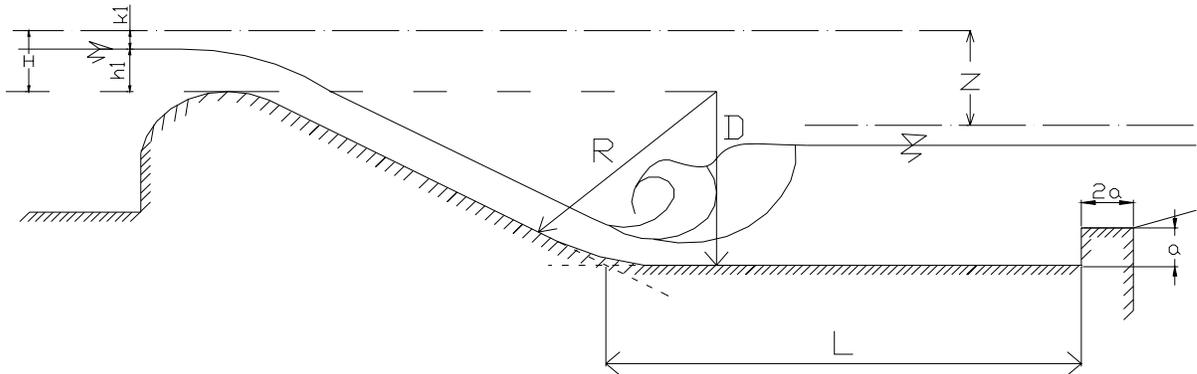
D = beda tinggi antara lantai kolam olak dengan mercu (m)

R = radius (jari-jari) kolam olak (m)

L = panjang lantai olak (m)

a = endsill (anggelan di akhir kolam olak) (m)

(__, 1986, "Standar Perencanaan Irigasi")



Gambar 2.3.3 Kolam Olak *Vlughter*.

7. Panjang Lantai Muka

Perencanaan lantai muka bendung tetap menggunakan garis kemiringan hidrolik. Garis gradien hidrolik ini digambar 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 di mana terjadi energi terbesar di mana terjadi pada saat muka banjir di hulu dan kosong di hilir. Garis hidrolik gradien akan membentuk sudut dengan bidang horisontal sebesar α ,

sehingga akan memotong muka air banjir di hulu. Proyeksi titik perpotongan tersebut ke arah horisontal (lantai hulu bendung) adalah titik ujung dari panjang lanatai depan minimum.

Rumus :

$$L_w = \Sigma L_v + 1/3 \Sigma L_h \quad (2.37)$$

Di mana :

L_w = panjang garis rembesan (m).

ΣL_v = panjang *Creep line* vertikal (m).

ΣL_h = panjang *creep line* horisontal (m).

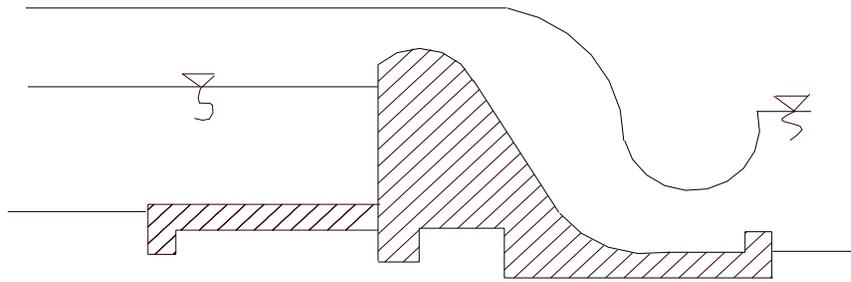
$$\text{Faktor rembesan / creep ratio } (C_w) = \frac{\Sigma L_w}{\Delta H_w}$$

Di mana : $C_w > C$ (aman)

(Suyono Sosrodarsono, Ir, “Perbaikan Dan Pengaturan Sungai”)

Tabel 2.3.2 Harga-harga Minimum Angka Rembesan *Lane* (CL)

Pasir sangat halus/lanau	8,5
Pasir halus	7
Pasir sedang	6
Pasir kasar	5
Kerikil halus	4
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3
Lempung sedang	2
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,6



Gambar 2.3.4 Panjang Lantai Muka Bendung Tetap

8. Back Water

Pada pengendalian banjir perlu memperhatikan muka air pada waktu banjir di sepanjang sungai dan muka air akibat pengempangan back water. Back water adalah indentik dengan aliran air yang berlawanan arah dengan aliran yang sebenarnya (aslinya). Peninjauan back water yang harus diperhatikan adalah :

- Back water akibat bangunan yang ada di sepanjang sungai
- Back water akibat adanya ambang alam di dasar sungai
- Back water akibat penyempitan alur sungai
- Back water akibat pasang surut di muara sungai

(Robert Kodotie, Ir, dan Sugiyanto, Ir, 2002, “*Banjir Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perpestitif Lingkungan*”)

Pada kondisi pengaruh adanya pengempangan / back water, maka dipakai pendekatan aliran berubah lambat laun gradually varied flow pada kondisi steady (lunak). Persamaan dasarnya adalah :

$$\frac{d\left(\frac{v^2}{2g} + y\right)}{dx} = S_o - S_f \quad (2.38)$$

Untuk perhitungan pengaruh back water pada perencanaan penanggulangan banjir menggunakan metode tahapan langsung.

- Energi spesifik $E = h + \frac{v^2}{2g} \quad (2.39)$

- $\frac{v_2^2}{2g} + h_2 + S_o \cdot \Delta x = \frac{v_1^2}{2g} + h_1 + S_f \cdot \Delta x$ (2.40)

- $E_2 + S_o \cdot \Delta x = E_1 + S_f \cdot \Delta x$ (2.41)

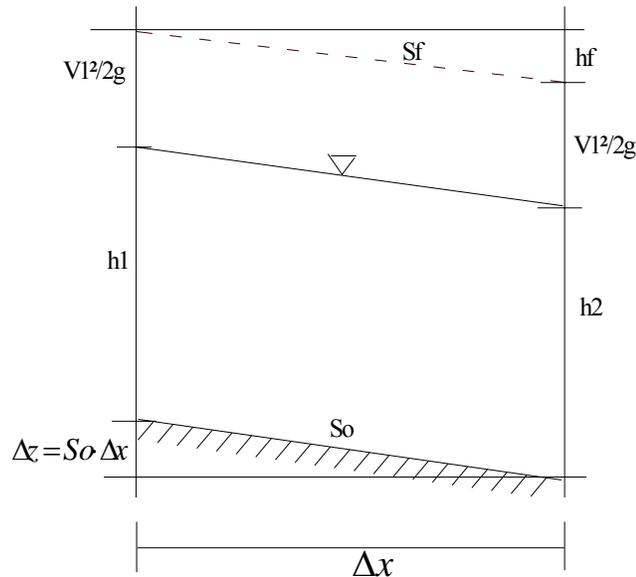
- $S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$ (2.42)

- $\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_f - S_o}$ (2.43)

Dimana :

- $S_f = \frac{n^2 * Q^2}{A^2 * R^{4/3}}$ (Manning) (2.44)

(EV Nensi Rosalina, 1992, “Hidrolika Saluran Terbuka”)



Gambar 2.3.5 Definisi perhitungan Profil Muka Air dengan Metode Tahapan Langsung

2.3.3 Bendung gerak

Merupakan bendung yang terdiri dari ambang tetap dilengkapi pintu bendung yang dapat digerakkan untuk mengatur muka air di hilirnya sehingga sungai dapat disadap sesuai dengan kebutuhan dan muka air banjir dapat diatur.

Merupakan bendung yang dapat mengatur muka air di sungai dengan pintu-pintunya. Bendung gerak dibangun pada daerah-daerah aluvial yang datar, di mana meningginya muka air di sungai mempunyai konsekuensi yang luas seperti tanggul banjir yang panjang. Karena menggunakan bagian-bagian yang bergerak seperti pintu dengan peralatan angkatnya, maka bendung tipe ini merupakan konstruksi yang mahal dan membutuhkan eksploitasi yang lebih teliti.

1. Lebar Bendung

Perhitungan lebar bendung gerak menggunakan rumus :

$$A = \frac{Q}{V} \quad (2.45)$$

$$B = \frac{A}{h} \quad (2.46)$$

Dimana :

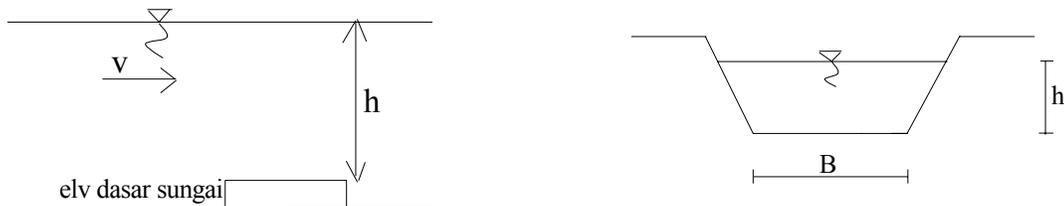
A = luas penampang sungai (m²)

Q = debit sungai (m³/dt)

V = kecepatan aliran sungai (m/dt)

B = lebar bendung gerak $\leq 1,2 B_n$ (lebar rata-rata sungai) (m)

h = tinggi muka air (m)



Gambar 2.3.6 Penampang Sungai

Pada bendung gerak terdapat perhitungan lebar efektif bendung karena adanya pilar, lebar efektif adalah lebar bendung yang bermanfaat untuk melewatkan air (debit).

Rumus :

$$Be = B - 2(n.Kp + Ka) \times H1 \quad (2.47)$$

Di mana :

- Be = lebar efektif bendung (m).
B = lebar total bendung (m).
N = jumlah pilar
Kp = koefisien kontraksi pilar
Ka = koefisien kontraksi pangkal bendung
H1 = tinggi energi di atas mercu (m).

(Sangkawati, Ir, “ *Diktat Kuliah Bangunan air 1*”)

Tabel 2.3.3 Harga-harga koefisien kontraksi pilar (Kp)

No	Macam konstruksi	Kp
1	Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
2	Untuk pilar berujung bulat	0,01
3	Untuk pilar berujung runcing	0,00

Tabel 2.3.4 Harga-harga koefisien kontraksi pangkal bendung (Ka)

No	Macam konstruksi	Ka
1	Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran	0,20
2	Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran dengan $0,5 H1 > r > 0,15 H1$	0,10
3	Untuk pangkal tembok bulat di mana $r > 0,5 H1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 45° ke arah	0,00

2. Elevasi Muka Air di Hulu Pintu

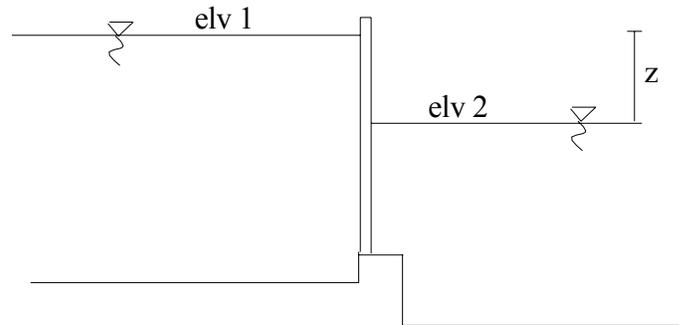
Untuk menghitung elevasi muka air di hulu pintu bendung gerak menggunakan rumus :

$$Q = \eta \cdot B_1 \cdot h \cdot \sqrt{(2gz)} \quad (2.48)$$

Dimana :

- Q = debit banjir rencana (m³/dt)
B₁ = lebar bendung rata-rata (m)
= B + mh

- h = tinggi muka air di hulu pintu (m)
- g = gravitasi (m/dt^2)
- z = tinggi enersi (m)



Gambar 2.3.7 Elevasi Muka Air Di Pintu

Elevasi muka air di hulu pintu (elv 1) = elevasi m.a di hilir pintu (elv 2) + z

3. Pintu Bendung

Pintu bendung berfungsi untuk mengatur tinggi muka air sungai dan mengatur masuk keluar debit banjir pada sungai yang dibendung.

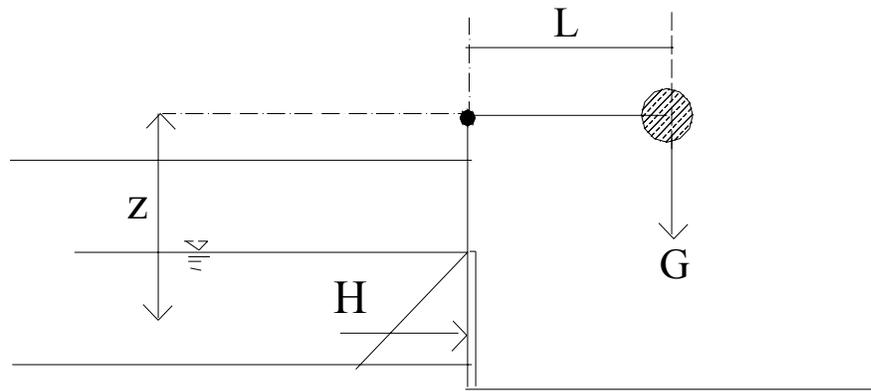
Perencanaan pintu bendung :

- **Pintu Klep**

Pintu klep adalah salah satu jenis pintu air yang dapat bergerak secara otomatis, berdasarkan tekanan air dengan ketinggian tertentu. Pintu dipasang melintang di sungai dengan elevasi lantai dasarnya 0,50 m di atas elevasi dasar sungai rata-rata. Pintu ini dilengkapi dengan beban penyeimbang yang memungkinkan pintu dapat membuka dan menutup sendiri sesuai dengan muka air yang terjadi.

- Pintu pada kondisi normal

Pada kondisi normal maka pintu dalam keadaan tertutup, pada kondisi ini $M_1 = M_2$. Dimana M_1 adalah momen akibat tekanan air dan M_2 adalah momen akibat berat pintu klep.



Gambar 2.3.8 Sketsa Gaya Pada Pintu klep

Keterangan :

H = gaya akibat tekanan air

G1 = gaya berat pintu (berat plat dan kerangka pintu)

G = gaya berat pada balas tetap

- Pintu pada kondisi banjir

Pada saat banjir, maka pintu harus secara otomatis terbuka. Pintu akan terbuka pada kondisi $M1 > M2$. Saat banjir terjadi gaya akibat tekanan air akan semakin besar dan mengakibatkan $M1$ menjadi besar sedangkan $M2$ akibat berat pintu tetap, sehingga $M1 > M2$.

- Pintu pada kondisi setelah banjir

Pada kondisi setelah banjir, maka pintu harus secara otomatis menutup kembali. Setelah banjir terjadi gaya akibat tekanan air menjadi berkurang karena air telah lewat melalui pintu dan gaya akibat berat pintu tetap, sehingga $M1 < M2$ dan menyebabkan pintu kembali tertutup.

- **Pintu Sorong**

Pintu ini menggunakan kerekan pintu dengan prinsip katrol sehingga memperingan beban pengangkatan. Pintu ini dibuka dan ditutup dengan cara manual.

4. Kolam Olak

Kolam olah berguna untuk meredam energi air yang jatuh di hilir bangunan pintu sehingga tidak merusak lantai sungai di bagian hilir bendung. Tipe kolam olah di sebelah hilir bangunan tergantung pada energi yang masuk, yang dinyatakan dengan bilangan Froud dan pada bahan konstruksi kolam olah itu sendiri. Berdasarkan bilangan Froud tipe kolam olah dikelompokkan menjadi :

- a Untuk $Fru \leq 1,7$ tidak diperlukan kolam olah tetapi di bagian hilir untuk saluran tanah harus dilindungi agar tidak erosi, sedangkan untuk saluran dengan pemasangan batu atau beton tidak diperlukan perlindungan khusus.
- b Untuk $1,7 < Fru \leq 2,5$, maka kolam olah diperlukan untuk meredam energi secara efektif dan menggunakan kolam olah dengan ambang ujung.
- c Untuk $2,5 < Fru \leq 4,5$ dipakai kolam olah USBR tipe IV
- d Untuk $Fru \geq 4,5$ dipakai kolam olah USBR tipe III
- e Pemilihan / penentuan jenis kolam olah dapat disesuaikan menurut bilangan Froud dan jika kolam olah tidak dibutuhkan karena bilangan Froud $\leq 1,7$, maka harus menggunakan kecepatan benturan (*Impact Velocity*) dengan formula :

$$Vu = \sqrt{2g \cdot \Delta z} \quad (2.49)$$

$$\text{Rumus bilangan Froud} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Y1}} \quad (2.50)$$

$$Y1 = \frac{q}{V} \quad (2.51)$$

$$q = \frac{Q}{Bef} \quad (2.52)$$

$$Y2 = 1/2 \times Y1 \sqrt{1 + (8 \cdot Fr^2)} - 1 \quad (2.53)$$

Rumus panjang kolam olah :

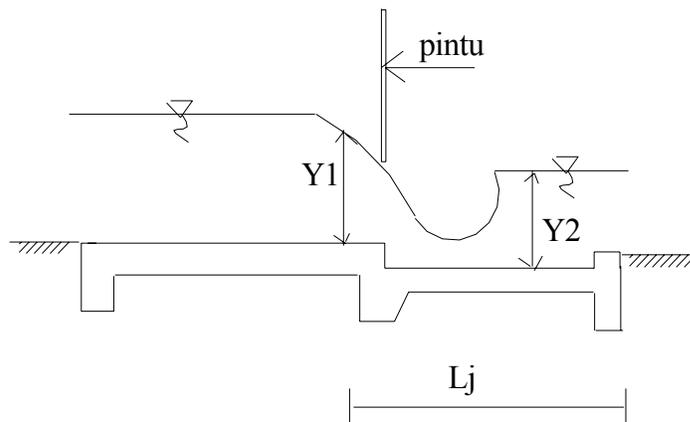
$$Lj = 5 (n + Y2) \quad (2.54)$$

Dimana :

Q = debit sungai (m^3/dt)

Bef = lebar efektif sungai (m)

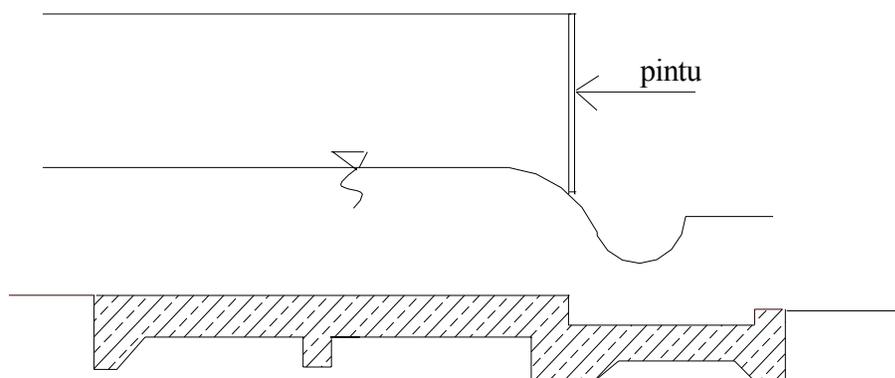
- q = debit per satuan ($\text{m}^3/\text{dt.m}'$)
- V = kecepatan (m/dt)
- Y1 = tinggi air awal loncat (m)
- g = gravitasi (m/dt^2)
- Y2 = tinggi air konjungsi (m)
- Lj = panjang kolam olak (m)
- n = tinggi ambang ujung ($n = 0$ jika tanpa end silt) (m)



Gambar 2.3.9 Panjang kolam Olak

5. Panjang Lantai Muka

Perhitungan panjang lantai muka pada bendung gerak sama dengan perhitungan pada bendung tetap.



Gambar 2.3.10 Panjang Lantai Depan Bendung Gerak

6. Back Water

Bendung gerak juga perlu ditinjau terhadap back water, untuk perhitungan back water juga menggunakan metode tahapan langsung.

2.3.4 Bangunan pengambilan

Bangunan pengambilan adalah sebuah bangunan berupa pintu air yang terletak di samping kanan atau kiri bendung. Fungsi bangunan ini adalah untuk mengelakkan air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan untuk kebutuhan irigasi. Pembilas pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir. Besarnya bukaan pintu tergantung dengan kecepatan aliran masuk yang diijinkan. Kecepatan ini tergantung pada ukuran butir bahan yang diangkut.

Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120 % dari kebutuhan pengambilan (*dimention requirement*), guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur bendung.

Dimensi saluran pengambilan:

$$v = m\sqrt{2gz} \quad (2.55)$$

$$Q = v.a.b \quad (2.56)$$

Dimana :

Q = debit = 1,2 Q pengambilan (m^3/dt)

m = koefisien debit (=0,8 pengambilan tenggelam)

a = tinggi bersih bukaan (m)

b = lebar bersih bukaan (m)

g = gravitasi (m/dt^2)

z = kehilangan energi

(__, 1986, “*Bagian Penunjang untuk Standar Perencanaan Irigasi*”)

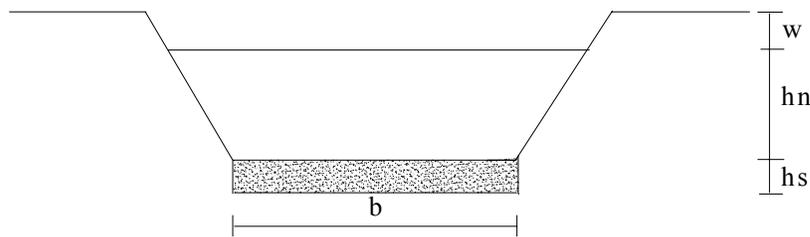
2.3.5 Kantong Lumpur

Kantong lumpur merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan memberi

kesempatan pada sedimen untuk mengendap. Untuk menampung endapan sedimen tersebut dasar bagian saluran tersebut diperdalam dan diperlebar. Tampungan ini dibersihkan setiap jangka waktu tertentu dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran konsentrasi yang berkecepatan tinggi. Kantong lumpur ditempatkan di bagian awal dari saluran primer tepat di bagian belakang pengambilan.

Kriteria saluran pengendap lumpur :

- Terdiri dari kolam dan kantong lumpur
- Penampang kolam pengendap berbentuk segi empat atau trapesium, sedangkan kantong lumpur berbentuk segi empat dengan dasar miring.
- Panjang kantong lumpur ditetapkan sedemikian rupa sehingga cukup waktu bagi butiran untuk mengendap.



Gambar 2.3.11 Penampang Melintang Kantong Lumpur

1. Perhitungan dimensi kantong lumpur selama eksploitasi normal atau dalam keadaan penuh

Rumus :

$$V_n = K_s \times R_n^{2/3} \times i_n^{1/2} \quad (2.57)$$

$$Q_n = V_n \times A_n \quad (2.58)$$

$$A_n = (B + mh)h_n \quad (2.59)$$

$$i_n = \frac{v_n^2}{(k * R_n^{2/3})^2} \quad (2.60)$$

Di mana :

V_n = Kecepatan rata –rata selama eksploitasi normal = 0,45 m/dt

- K = Koefesien kekasaran = 45
 R_n = Jari – jari hidrolis
 i_n = Kemiringan energi
 Q_n = Kebutuhan pengambilan rencana (m^3/det)
 A_n = Luas basah (m^2)

2. Perhitungan panjang kantong lumpur

$$\text{Rumus : } \frac{hn}{w} = \frac{L}{vn} \quad (2.61)$$

Dimana :

L = panjang kantong lumpur (m)

hn = tinggi saluran kantong lumpur (m)

w = kecepatan endapan partikel rencana diambil 0,004 m/dt

3. Perhitungan kemiringan dan keadaan kosong saluran kantong lumpur

Agar pembilasan dapat dilakukan dengan baik, maka kecepatan aliran harus tetap superkritis dimana $Fr > 1$.

Rumus :

$$\text{Kedalaman kritis } hcr = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (2.62)$$

$$\text{dimana } q = \frac{Q_s}{B}, \quad Q_s = 1,2Q_n$$

$$vcr = \sqrt{g * hcr} \quad (2.63)$$

$$Fr = \frac{vcr}{\sqrt{g * hcr}} \quad (2.64)$$

$$Q_s = 1,2Q_n$$

$$V_s = K_s \times R_n^{2/3} \times i_s^{1/2} \quad (2.65)$$

$$P_s = b + 2h \quad (2.66)$$

$$i_s = \frac{v_s^2}{(k_s * R_s^{2/3})^2} \quad (2.67)$$

Di mana :

V_s = Kecepatan rata-rata dalam keadaan kosong (m/dt)

K_s = Koefisien kekasaran = 45

R_s = Jari-jari hidrolis

i_s = Kemiringan energi

Q_s = Kebutuhan pengambilan rencana (m^3/det)

A_s = Luas basah (m^2)

(__, 1986, "Bagian Penunjang untuk Standar Perencanaan Irigasi")

2.4 Perencanaan Struktur Pintu

Perencanaan struktur pintu diperlukan untuk mengetahui kekuatan struktur pintu dalam menahan gaya-gaya yang terjadi baik gaya dari luar maupun gaya dari dalam.

2.4.1 Pintu Klep

- Perhitungan dimensi pintu klep

Perhitungan balok vertikal

Balok vertikal direncanakan terdiri dari dua balok yang ditempatkan pada sisi-sisi pintu klep.

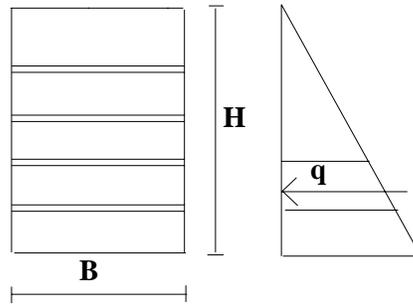
$$q_w = 1/2 \cdot \gamma_w \cdot H^2 \quad (2.68)$$

Dimana :

q_w = gaya akibat tekanan air (t/m)

γ_w = berat jenis air ($1t/m^3$)

H = tinggi pintu (m)



Gambar 2.4.1 Perletakan Balok Vertikal

M_{max} = momen yang bekerja pada batang q (yang terbesar) = $1/8 \cdot q \cdot L^2$

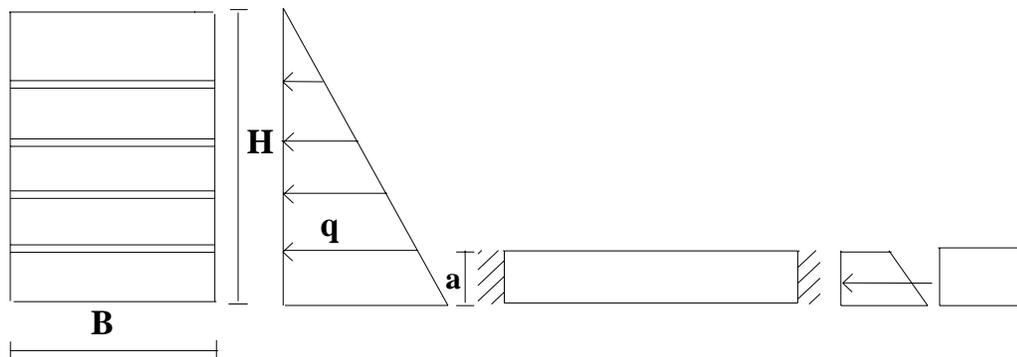
$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} < \bar{\sigma} \quad (2.69)$$

Perhitungan dimensi dengan cara coba-coba memakai salah satu profil baja yang memenuhi syarat.

Kontrol terhadap lendutan

$$\sigma = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 I_x} < \sigma = \frac{1}{250} \cdot L \quad (2.70)$$

Perhitungan balok horisontal



Gambar 2.4.2 Perletakan Balok Horisontal

$$M_x = 0.0244 \cdot q \cdot a^2 \quad (2.71)$$

$$M_y = 0.0332 \cdot q \cdot a^2 \quad (2.72)$$

Momen yang digunakan diambil yang terbesar.

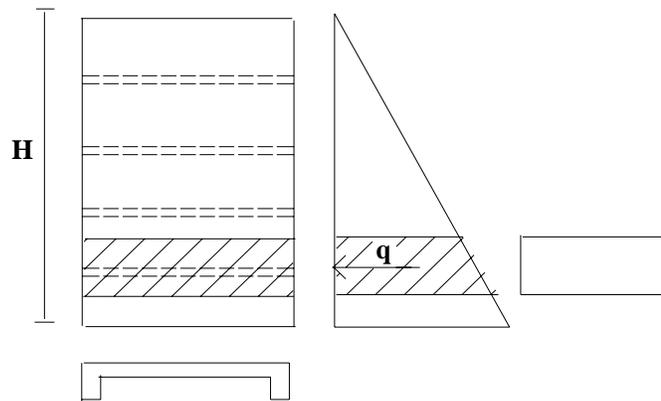
$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} < \bar{\sigma}$$

Perhitungan dimensi dengan cara coba-coba memakai salah satu profil baja yang memenuhi syarat.

Kontrol terhadap lendutan

$$\sigma = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 I_x} < \sigma = \frac{1}{250} \cdot L$$

- Perhitungan balok anak



Gambar 2.4.3 Menentukan Balok Anak

$$M_{\text{tump}} = 1/24 \cdot q \cdot L^2 \quad (2.73)$$

$$M_{\text{lap}} = 1/12 \cdot q \cdot L^2 \quad (2.74)$$

Momen yang digunakan diambil yang terbesar.

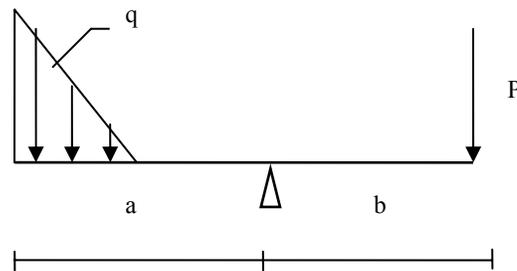
$$W = \frac{M}{\bar{\sigma}}$$

Perhitungan dimensi dengan cara coba-coba memakai salah satu profil baja yang memenuhi syarat.

Kontrol terhadap lendutan

$$\sigma = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 I_x} < \sigma = \frac{1}{250} \cdot L$$

- Keseimbangan pintu klep



Gambar 2.4.4 Perletakan Pada Pintu Klep

M1 = momen akibat gaya hidrostatis (q) pada pintu

M2 = momen akibat berat keseluruhan pintu

- Penentuan lengan pintu klep

$$q = AxZx(\gamma_w + \gamma_s) \quad (2.75)$$

Penentuan lengan pintu dengan cara coba-coba mempergunakan salah satu profil baja kemudian dicek apakah memenuhi syarat yang diijinkan.

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \bar{\sigma} \quad (2.76)$$

- Perhitungan engsel pintu

G = berat pintu keseluruhan

= berat plat+ kerangka pintu+ balas tetap+ balas gerak

$$\tau = \frac{S}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2} \leq I_s, \quad S = \frac{G}{2} \quad (2.77)$$

Rumus tebal plat engsel :

$$\sigma_s = \frac{S}{d \cdot t} \leq \bar{\sigma}_s \quad (2.78)$$

Dimana :

τ = tegangan geser (kg/cm²)

- S = gaya geser (ton)
- D = diameter baut (mm)
- I_s =tegangannya geser yang diijinkan (0,60 σ)
- σ = tegangannya geser ijin baut (kg/cm²)

2.4.2 Pintu Sorong

- Perhitungan dimensi balok pintu
Perhitungan balok pintu pada pintu sorong sama dengan perhitungan pada perhitungan dimensi balok pada pintu klep

- Pengangkatan pintu :

$$P = G + (f.H) \tag{2.79}$$

$$H = 1/2 \cdot \gamma_w \cdot H^2 \cdot B$$

Dimana :

G = berat pintu

f = faktor gesekan

P = gaya angkat pintu

H = gaya hidrostatik

- Ukuran stang pengangkat pintu

$$F_{stang} = 1/4 \times \pi \times d^2 \tag{2.80}$$

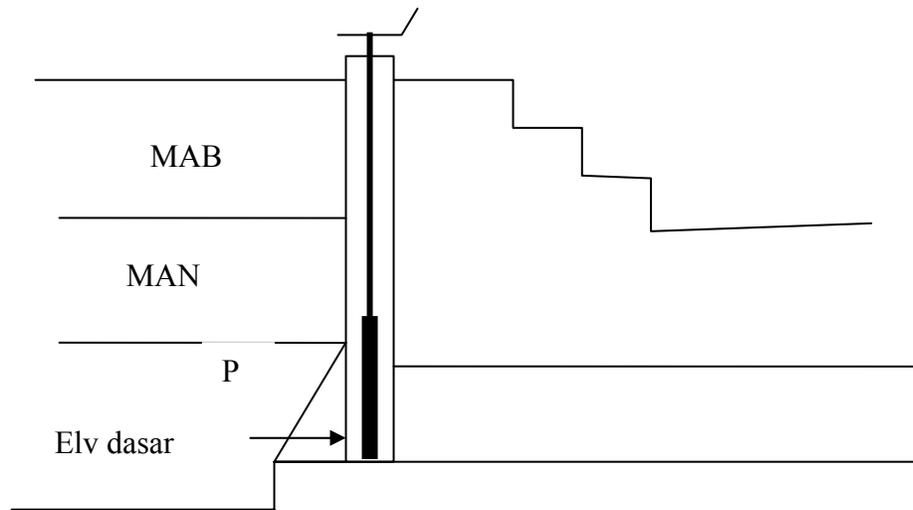
$$\text{Gaya gesek} = 0,4 \times \text{tekanan air} \tag{2.81}$$

Total gaya (G) = Gpintu + gaya gesek

Kontrol terhadap tegangannya (σ)

$$\sigma = \frac{G_{pintu}}{F_s \tan g} < \sigma_{baja} = 1400 \text{kg} / \text{cm}^2 \tag{2.82}$$

(Soedibyo, “Teknik Bendung”)



Gambar 2.4.5 Pintu Sorong

2.5 Analisis Stabilitas Bendung

Perencanaan struktur diperlukan untuk meninjau kekuatan struktur bendung terhadap gaya-gaya baik dari luar maupun dari dalam yang mempengaruhi stabilitas bendung. Stabilitas bendung dianalisis pada dua macam kondisi yaitu pada saat sungai normal dan pada saat sungai banjir.

2.5.1 Tinjauan terhadap Gerusan

Tinjauan terhadap gerusan diperlukan untuk mengantisipasi adanya gerusan lokal di ujung hilir bendung. Untuk mengantisipasi gerusan tersebut dipasang apron yang berupa pasangan batu kosong selimut lindung bagi tanah asli. Batu yang dipakai untuk apron harus keras, padat, awet serta mempunyai berat jenis $2,4 \text{ ton/m}^3$. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey.

Rumus :

$$R = 0,47 (Q/f)^{2/3} \quad (2.83)$$

$$f = 1,76 Dm^{0,5} \quad (2.84)$$

Di mana :

R = kedalaman gerusan, bila $R > H_2$ maka terjadi gerusan (m).

Dm = diameter rata-rata materil dasar sungai (m).

Q = debit yang melimpah di atas mercu (m^3/dt)

f =: faktor lumpur *Lacey*

Menurut *Lacey*, kedalaman gerusan bersifat empiris, maka dalam penggunaannya dikalikan dengan angka sebesar 1,5.

(__, 1986, “*Standar Perencanaan Irigasi*”)

2.5.2 Tebal Lantai Belakang

Penentuan tebal lantai belakang berdasarkan gaya tekan ke atas (*uplift pressure*).

Rumus :

$$Px = Hx - \frac{Hw}{L} \cdot Lx \quad (2.85)$$

$$dx \geq Sf \frac{Px - Wx}{\gamma_{pas}} \quad (2.86)$$

Di mana :

dx = tebal lantai pada titik x (m)

Px = gaya angkat pada titik x (ton/m²)

Wx = kedalaman air pada titik x (m)

Lx = panjang bidang kontak bangunan (m)

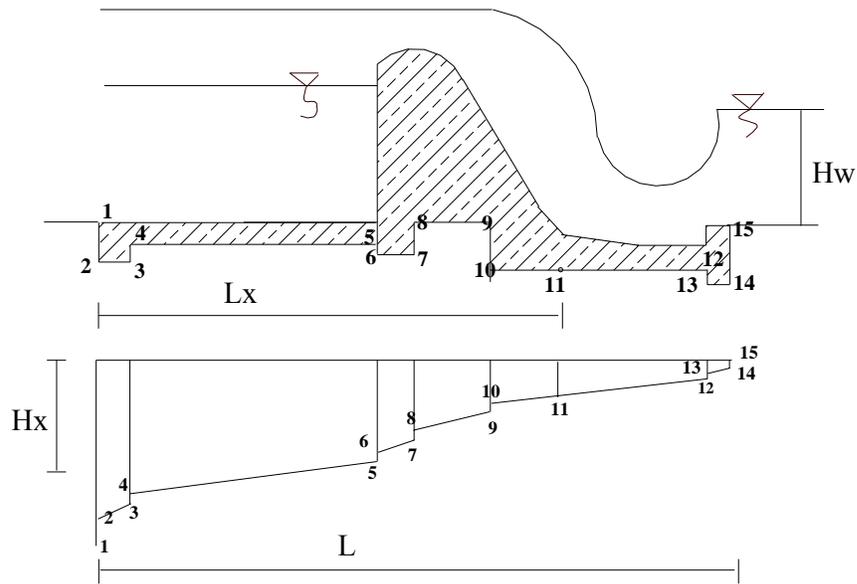
Hx = tinggi titik yang ditinjau ke muka air (m)

Hw = beda tinggi energi (m)

γ_{pas} = berat jenis bahan (pas. Batu) = 2,2 ton/m³

Sf = faktor keamanan = 1,5

(Suyono Sosrodarsono, Ir, “*Perbaikan Dan Pengaturan Sungai*”)



Gambar 2.5.1 Gaya Angkat Pada Bendung

2.5.3 Stabilitas Bendung

1. Gaya Horisontal

a Gaya gempa

$$\text{Rumus : } A_d = n (a_c \times z)^m \quad (2.87)$$

$$E = a_d/g \quad (2.88)$$

Di mana :

A_d = percepatan gempa rencana (cm/det^2)

$n.m$ = koefisien untuk masing-masing jenis tanah.

a_c = percepatan kejut dasar (cm/det^2).

z = faktor yang tergantung dari letak geografis / peta *zone seismik*

= untuk perencanaan bangunan air tahan gempa = 0,56

E = koefisien gempa.

g = percepatan gravitasi = $9,8 \text{ m}/\text{det}^2$.

Dari koefisien gempa di atas, kemudian dicari besarnya gaya gempa dan momen akibat gempa dengan rumus :

Gaya gempa :

$$K = E \times G \quad (2.89)$$

$$M = K \times \text{jarak (m)} \quad (2.90)$$

Di mana :

E = 0,10 (koefisien gempa)

K = gaya gempa (ton).

G = berat bangunan (ton)

(Soedibyo, "Teknik Bendung")

Tabel 2.5.1 Koefisien Jenis Tanah

No	Jenis	n	M
1	Batu	2,76	0,71
2	Diluvial	0,87	1,05
3	Aluvial	1,56	0,89
4	Aluvial lunak	0,29	1,32

Tabel 2.5.2 Periode Ulang dan Percepatan Gempa Dasar

Periode Ulang Tahunan	Ac (cm/det ²)
20	85
50	113,125
100	160
500	225
1000	275

b Gaya Akibat Tekanan Lumpur

$$\text{Rumus : } P_s = \frac{\gamma_s x h^2}{2} \left[\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right] \quad (2.91)$$

Di mana :

P_s = gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal (ton).

θ = sudut geser dalam (°)

γ_s = berat jenis lumpur (ton/m³) = 1,6 ton/m³

h = kedalam lumpur (m)

(Soedibyo, "Teknik Bendung")

c Tekanan Hidrostatik

$$\text{Rumus : } P_h = 0.50 \times \gamma_w \times h_w^2 \quad (2.92)$$

Di mana :

P_h = tekanan hidrostatik

γ_w = berat jenis air (t/m^3)

h_w = beda tinggi energi (m)

(Soedibyo, "Teknik Bendung")

d Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

- Tekanan tanah aktif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_a = \gamma_s \cdot K_a \cdot H - 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_a} \quad (2.93)$$

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

- Tekanan tanah pasif dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_p = \gamma_s \cdot K_p \cdot H + 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_p} \quad (2.94)$$

$$K_p = \tan^2 (45^\circ + \phi / 2) \quad (2.95)$$

Di mana :

P_a = tekanan tanah aktif (ton).

P_p = tekanan tanah pasif (ton).

ϕ = sudut geser dalam = 21°

g = gravitasi bumi = $9,8 \text{ m/det}^2$

H = kedalaman tanah aktif dan pasif (m)

γ_s = berat jenis tanah (ton/m^3)

γ_w = berat jenis air (ton/m^3)

(Braja M. Das, "Mekanika Tanah" jilid I)

2. Gaya Vertikal

a Akibat berat bendung

$$\text{Rumus : } G = V \times \gamma_{pas} \quad (2.96)$$

Di mana :

V = volume (m^3)

γ_{pas} = berat jenis bahan (pas batu) (ton/m^3)

(Soedibyo, "Teknik Bendung")

b Gaya Angkat (Uplift Pressure)

Rumus : $P_x = H_x - H$ (2.97)

$$= H_x - (L_x \times H_w/L)$$

Dimana :

P_x = tekanan air pada titik x (ton/m^2)

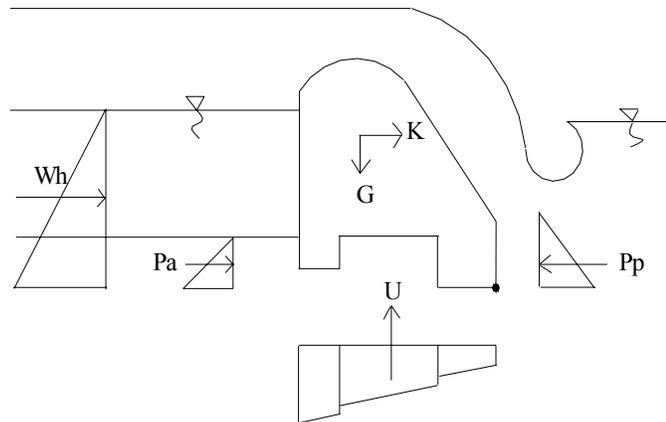
L_x = Jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = Panjang total jalur rembesan (m)

H_w = beda tinggi energi (m)

H_x = tinggi energi di hulu bendung (m)

(Soedibyo, "Teknik Bendung")



Gambar 2.5.2 Gaya-gaya yang Bekerja pada Bendung Tetap

Keterangan :

G = gaya akibat berat sendiri

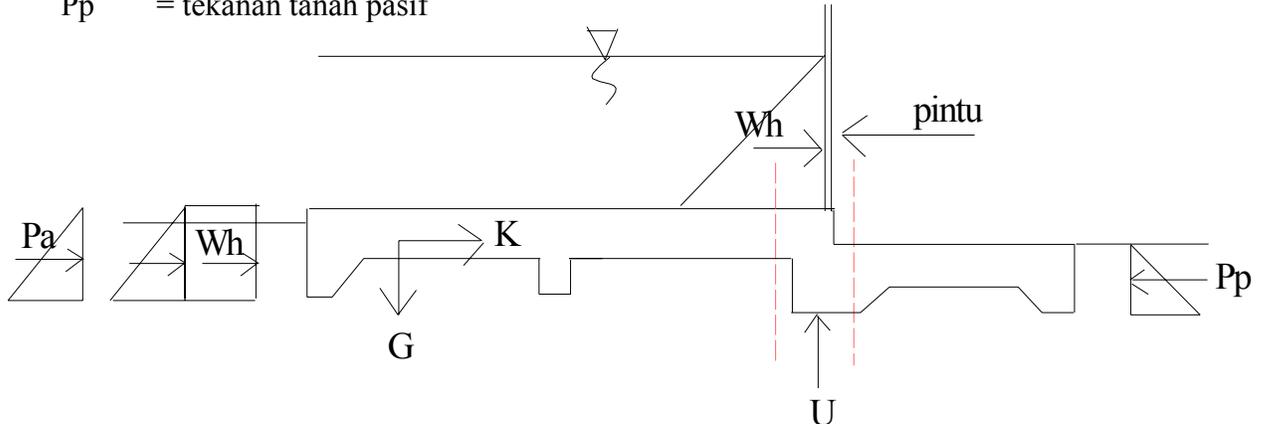
K = gaya gempa

U = gaya angkat

W_h = gaya hidrostatis

Pa = tekanan tanah aktif

Pp = tekanan tanah pasif



Gambar 2.5.3 Gaya-gaya yang Bekerja pada Bendung Gerak

2.5.4 Kontrol Terhadap Stabilitas

Setelah menganalisis gaya-gaya tersebut, kemudian diperiksa stabilitas bendung terhadap guling, geser, pecahnya struktur, erosi bawah tanah (*piping*) dan daya dukung tanah.

1. Terhadap Guling

$$Sf = \frac{\sum MV}{\sum MH} > 1,5 \quad (2.98)$$

Di mana :

Sf = faktor keamanan

$\sum MV$ = jumlah momen vertikal (ton.m)

$\sum MH$ = jumlah momen horisontal (ton.m)

(Soedibyo, "Teknik Bendung")

2. Terhadap Geser

$$Sf = f \times \frac{\sum RV}{\sum RH} > 1,5 \quad (2.99)$$

Di mana :

Sf = faktor keamanan

$\sum RV$ = jumlah gaya vertikal (ton)

ΣRH = jumlah gaya horisontal (ton)

f = koefisien gesekan = 0,75

(Soedibyo, "Teknik Bendung")

3. Terhadap Pecahnya Konstruksi

$$\sigma_{yt} = P/A < \sigma_{ijin} \quad (2.100)$$

Di mana :

σ_{ijin} = tegangan ijin pasangan batu kali (ton/m²)

σ_{yt} = tegangan yang timbul (ton/m²)

P = gaya yang bekerja pada tubuh bendung (ton)

A = luas penampang yang ditinjau 1m (m²)

(Soedibyo, "Teknik Bendung")

4. Terhadap eksentrisitas

$$d = \frac{MV - MH}{V} \quad (2.101)$$

$$e = \left(\frac{B}{2} \right) - d < \frac{B}{6} \quad (2.102)$$

Dimana :

E = eksentristas

B = lebar tapak bangunan

d = jarak titik kerja resultan

MH = jumlah momen horisontal

MV = jumlah momen vertikal

(Suyono Sosrodarsono, 1985, "Teknik Pondasi")

5. Terhadap Erosi Bawah Tanah (*piping*)

Harga keamanan terhadap erosi bawah tanah sekurang-kurangnya adalah 2

$$Sf = \frac{\delta(1 + a/\delta)}{hs} > 2 \quad (2.103)$$

Di mana :

Sf = faktor keamanan

δ = kedalaman dihitung dari bagian atas ambang ujung terhadap pangkal koperan hilir (m)

a = tebal lapisan pelindung (m)

hs = tekanan air pada titik O (m)

(__, 1986, "Standar Perencanaan Irigasi. KP-02")

6. Terhadap Daya Dukung Tanah

Rumus daya dukung tanah Terzaghi

$$Q_{ult} = c \cdot N_c + \gamma \cdot N_q + 0,5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.104)$$

$$\sigma_{ijin} = \frac{q_{ult}}{Sf} \quad (2.105)$$

Kontrol :

$$\sigma = \frac{RV}{L} \times \left[1 \pm \frac{6 \cdot e}{L} \right] < \sigma_{ijin} \quad (2.106)$$

Keterangan :

Sf = faktor keamanan

RV = gaya vertikal (ton)

L = panjang bendung (m)

σ_{ijin} = tegangan ijin (ton/m²)

σ = tegangan yang timbul (ton/m²)

(Braja M. Das, "Mekanika Tanah" jilid I)