

BAB V

ANALISIS HIDROLIS DAN SRUKTUR BENDUNG

5.1 Uraian Umum

Analisis hidrolis bertujuan untuk menentukan elevasi mercu bendung yang meliputi penentuan elevasi muka air di saluran primer, beda tinggi energi di kantong lumpur, beda tinggi energi di saluran pembilas dan elevasi intake, sehingga didapatkan desain yang sesuai dengan data – data yang ada dan memenuhi syarat. Analisis struktur bendung bertujuan untuk mendapatkan desain bangunan utama bendung yang meliputi dimensi mercu bendung, lebar bendung, kolam olak serta tebal dan panjang lantai muka.

5.2 Data Teknis Perencanaan

Adapun data teknis yang diperlukan untuk mendesain bendung dan bangunan pelengkap secara umum adalah sebagai berikut:

Lokasi rencana BM.1 Bendung, ditetapkan dari peta situasi berada pada koordinat:

$$X = +451229,269$$

$$Y = +9212787,803$$

$$Z = +40,150$$

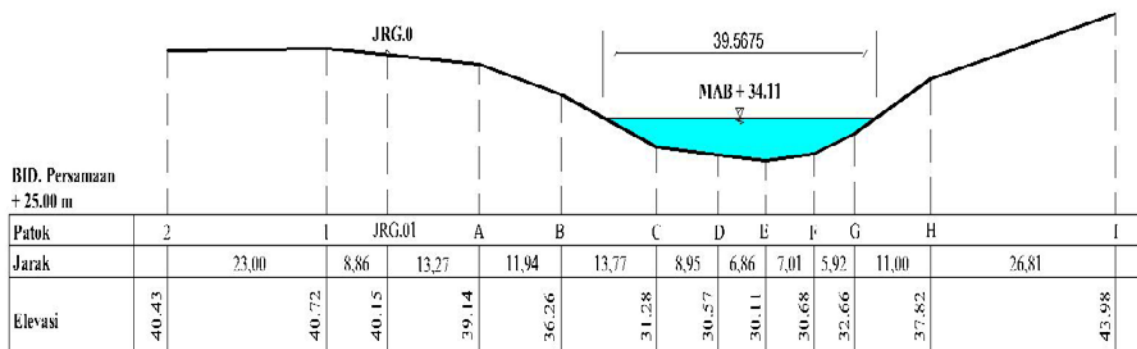
Titik BM (*Bench Mark*) bendung digunakan sebagai titik acuan perencanaan bendung dan bangunan pelengkapnya. Titik tersebut dinamakan Patok JRG.0, untuk perencanaan bendung diperlukan potongan melintang titik Patok JRG.0 tersebut. Potongan melintang titik Patok JRG.0 dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Dari Gambar 5.1 dapat ditentukan data sebagai berikut:

- Elevasi dasar sungai pada bendung = +30,11 m
- Lebar muka air sungai saat banjir = 39,57 m
- Lebar dasar sungai = 22,82 m

Sedangkan data lain untuk perencanaan struktur bendung adalah sebagai berikut:

- Kemiringan sungai rata – rata = 0,00253
- Debit banjir rencana Q_{50} = 231,157 m³/det



POTONGAN MELINTANG PATOK JRG.0
SKALA: V = 1 : 100, H = 1 : 100

Gambar 5.1 Potongan Melintang Sungai di As Bendung

(Sumber: Consultant Engineering – PT. Cahaya Persada Maspatiana)

5.3 Analisis Hidrolis dan Desain Bangunan Pelengkap

5.3.1 Desain Saluran Primer

Saluran primer adalah saluran yang terhubung langsung dengan intake bendung dan memanjang sampai bangunan bagi yang merupakan pertemuan saluran primer dengan saluran sekunder. Saluran primer dilengkapi dengan pintu yang berfungsi untuk mengukur dan mengatur debit yang masuk ke saluran primer. Pintu tersebut juga berfungsi mencegah air yang mengandung sedimen masuk ke saluran primer disaat proses pembilasan.

Data yang diperlukan untuk perencanaan saluran primer adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan air irigasi dan luas area yang akan dialiri.
 - Kebutuhan air irigasi (Tabel 4.49) = 1,428 lt/det
 - Luas daerah yang dialiri = 475 Ha
 - Panjang saluran primer = 5375 m
 - Panjang saluran sekunder = 2052 m
 - Debit saluran (Q)

$$Q = \text{Kebutuhan air} \times \text{Luas daerah}$$

$$Q = 1,428 \times 475 = 678,3 \text{ lt/det} = 0,6783 \text{ m}^3/\text{det}$$

Diketahui:

- Q = 0,6783 m³/det
- m = 1
- V_{rencana} = 1,00 m/det

- Nilai Koefesien *Stickler* untuk pasangan batu seluruhnya = 60
- Misalkan $b = 2h$
- Perhitungan dimensi saluran:

$$Q = V * A$$

$$A = (b + m.h)h = (2h + 1.h)h = 3h^2$$

$$0,6783 = 1 * 3h^2$$

$$h = 0,475 \text{ m}$$

$$b = 2h = 2 \times 0,475 = 0,950 \approx 1,00 \text{ m}$$

$$A = 3h^2 = 3 \times 0,475^2 = 0,678 \text{ m}^2$$

$$P = b \times 2 * h \sqrt{m * m + 1} = 2h + 2 * h \sqrt{1 * 1 + 1} = 4,828h$$

$$P = 4,828h = 4,828 \times 0,475 = 2,293 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0,678}{2,293} = 0,296 \text{ m}$$

$$Q = k * R^{2/3} * I^{1/2} * A$$

$$Q = 60 * 0,296^{2/3} * I^{1/2} * 0,678$$

$$I^{1/2} = \frac{V}{k * R^{2/3}}$$

$$I^{1/2} = \frac{1}{60 * 0,296^{2/3}}$$

$$I = 0,00141$$

2. Muka air rencana

- Elevasi sawah tertinggi = + 25,67
- Tinggi genangan air di sawah = + 0,10
- Kehilangan energi saluran tersier ke sawah (diambil) = + 0,10
- Kehilangan energi di saluran sekunder = + 2,89
- Elevasi muka air di hilir saluran primer = + 28,76 m

Debit yang direncanakan akan melewati saluran sebesar $0,6783 \text{ m}^3/\text{det}$ maka sesuai dengan Tabel 2.15 pada saluran dengan $Q = 0,5 \sim 1,50 \text{ m}^3/\text{det}$ digunakan tinggi jagaan sebesar 0,50 m.

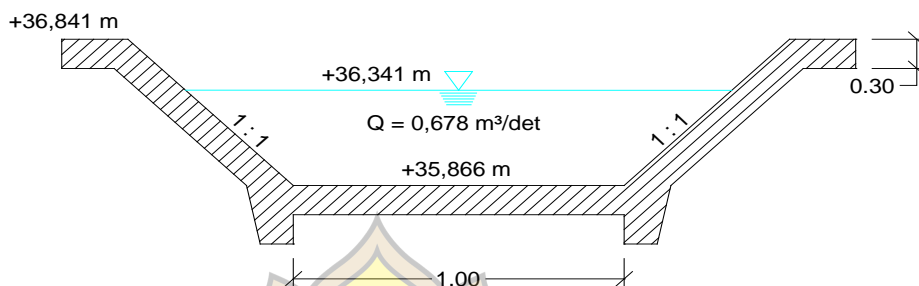
Jadi elevasi tanggul di hilir saluran primer = $+28,76 + 0,5 = +29,26 \text{ m}$.

3. Desain saluran primer.

Elevasi muka air saluran primer = Elevasi muka air di hilir saluran primer +

Kemiringan saluran \times Panjang saluran = $+28,76 + 0,00141 \times 5375 = +36,341$ m

Elevasi dasar saluran di hulu saluran primer = Elevasi muka air di hulu saluran primer – tinggi air di saluran = $+36,341 - 0,475 = +35,866$ m.



Gambar 5.2 Dimensi Saluran Primer Pada Bagian Hulu

(Sumber: Hasil Perhitungan)

5.3.2 Ambang Lebar

Ambang lebar merupakan alat ukur yang memerlukan alat pengatur, alat pengatur, alat pengatur ini berupa pintu sorong. Sebetulnya pintu sorong juga dapat digunakan sebagai alat ukur, namun bukaan pintu ini dibawah sehingga sering tertutup oleh sampah atau kotoran sehingga menjadi tidak akurat ukurannya. Jika digunakan sebagai pengatur bukaan saja. Alat ukur ambang lebar ini sangat baik untuk mengukur debit dan dianjurkan untuk dipakai karena konstruksinya kokoh dan mudah dibuat.

$$Q = 1,71 B.H^{3/2}$$

Dimana:

$$Q = \text{Debit yang lewat pintu (m}^3/\text{det)} = 0,678 \text{ (m}^3/\text{det)}$$

$$B = \text{Lebar ambang (m)} = 1,00 \text{ m}$$

$$H = \text{Tinggi air diatas ambang (m)}$$

Sehingga:

$$Q = 1,71 \times B \times H^{3/2}$$

$$0,678 = 1,71 \times 1,00 \times H^{3/2}$$

$$H^{3/2} = \frac{0,678}{1,71 \times 1,00} = 0,396 \text{ m}$$

$$H = 0,63 \text{ m} \approx 0,65 \text{ m}$$

- Elevasi muka air di hulu saluran primer
= +36,341 m
- Elevasi dasar saluran primer di hulu
= +35,866 m
- Elevasi ambang lebar / *Romijn*
= +35,866 + tinggi ambang
= +35,866 + 0,20
= +36,066 m
- Elevasi muka air diatas ambang
= +36,066 + h
= +36,066 + 0,65
= +36,716 m

5.3.3 Desain Kantong Lumpur

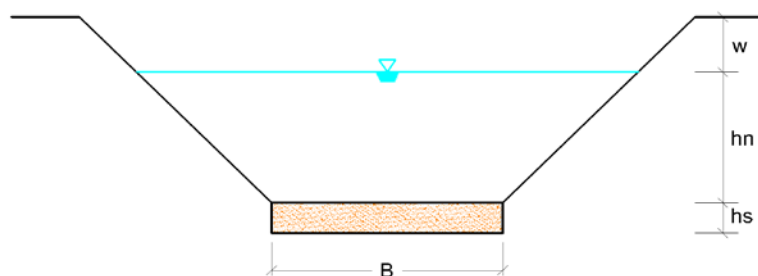
Dalam perencanaan kantong lumpur pada Jaringan Irigasi Jragung ini, kebutuhan pengambilan rencana (Q_n) adalah $0,678 \text{ m}^3/\text{det}$. Sedangkan debit untuk pembilasan kantong lumpur (Q_s) yaitu 120% dari kebutuhan pengambilan pelaksanaan.

$$Q_n = 0,678 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_s = 120\% \times Q_n = 120\% \times 0,678 = 0,814 \text{ m}^3/\text{det}$$

Saluran kantong lumpur direncanakan sebagai berikut:

- Kemiringan talud = 1 : 1



Gambar 5.3 Sketsa Potongan Melintang Kantong Lumpur

Rumus:

$$V_n = k \times R_n^{2/3} \times I_n^{1/2}$$

$$Q_n = V_n \times A_n$$

Dimana:

V_n = Kecepatan rata-rata selama eksploitasi normal = 0,40 m/det.

k = Koefesien *strickler* untuk pasangan batu seluruhnya = 50

Maka:

- Luas penampang basah (A_n)

$$A_n = \frac{Q_n}{V_n} = \frac{0,678}{0,40} = 1,695$$

$$A_n = (b + m \cdot h_n) h_n = (2h_n + 1 \cdot h_n) h_n = 3h_n^2$$

$$1,695 = 3h_n^2$$

$$h_n = 0,752 \text{ m}$$

$$B = 2h_n = 2 \times 0,752 = 1,5 \text{ m}$$

- Keliling basah (P_n)

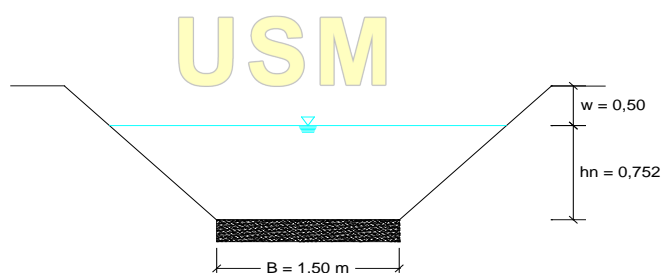
$$\begin{aligned} P_n &= B + 2 \cdot h_n \sqrt{m \times m + 1} \\ &= 1,5 + 2 \cdot 0,752 \sqrt{1 \times 1 + 1} \\ &= 3,627 \text{ m} \end{aligned}$$

- Jari – jari hidrolis (R_n)

$$R_n = \frac{A_n}{P_n} = \frac{1,695}{3,627} = 0,4673 \text{ m}$$

- Kemiringan energi (I_n)

$$I_n = \left(\frac{V_n}{R_n^{\frac{2}{3}} \times k} \right)^2 = \left(\frac{0,40}{0,4673^{\frac{2}{3}} \times 50} \right)^2 = 0,000176$$



Gambar 5.4 Potongan Melintang Kantong Lumpur dalam keadaan penuh pada Q_n .

(Sumber: Hasil Perhitungan)

- Perhitungan I_s , kemiringan energi saat pembilasan (Kantong lumpur kosong)
 - a. Nilai kecepatan saat pembilasan (V_s) diambil sebesar 1,5 m/det, karena dianggap sedimen berupa pasir kasar.

b. Koefisien *Strickler* (k) untuk pasangan batu di kedua sisi = 45. Digunakan pasangan batu di kedua sisi dengan menganggap bagian bawah saluran terisi lumpur.

c. Debit pembilasan (Q_s) = 0,814 m³/det

d. Luas kantong lumpur saat kosong

$$A_s = \frac{Q_s}{V_s} = \frac{0,814}{1,5} = 0,543 \text{ m}^2$$

e. Tinggi endapan kantong lumpur (h_s)

$$h_s = \frac{A_s}{B} = \frac{0,543}{1,5} = 0,362 \text{ m}$$

f. Keliling basah dalam keadaan kosong (P_s)

$$P_s = B + 2 h_s$$

$$P_s = 1,5 + 2 \times 0,362 = 2,224 \text{ m}$$

g. Jari – jari hidrolis dalam keadaan kosong (R_s)

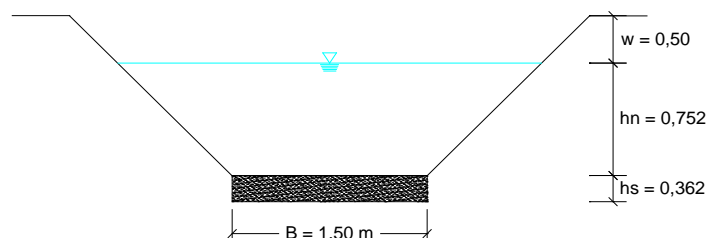
$$R_s = \frac{A_s}{P_s} = \frac{0,543}{2,224} = 0,244 \text{ m}$$

h. Kemiringan energi dalam keadaan kosong

$$I_s = \left(\frac{V_s}{R_s^2} \right)^2 = \left(\frac{1,5}{0,244^2} \right)^2 = 0,00431$$

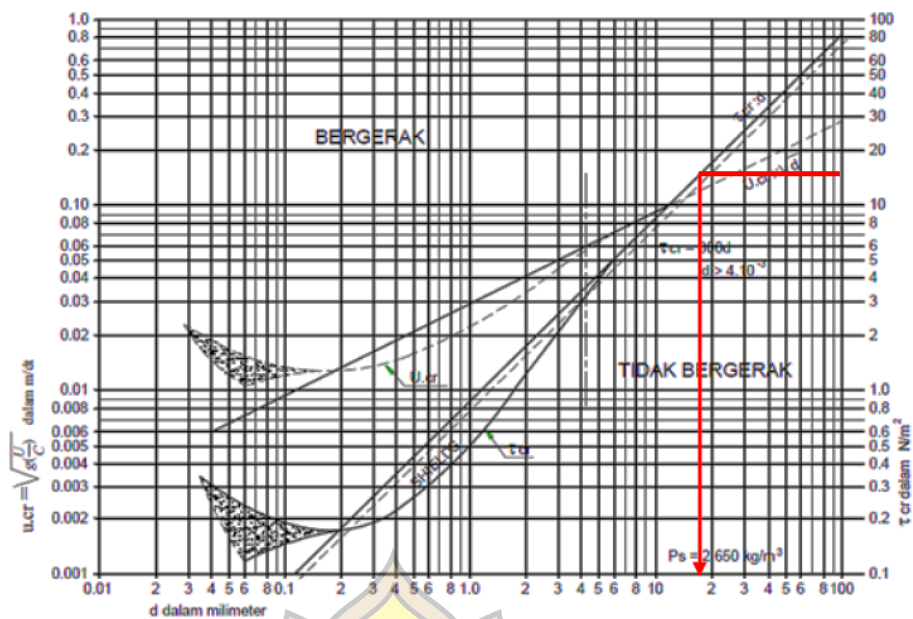
i. Agar pembilasan dapat dilakukan dengan baik, v aliran harus dijaga agar tetap subkritis atau $Fr < 1$

$$Fr = \frac{V_s}{\sqrt{g \times h_s}} = \frac{1,5}{\sqrt{9,81 \times 0,362}} = 0,796 \blacktriangleright \text{OK}$$



Gambar 5.5 Potongan Melintang Kantong Lumpur dalam keadaan penuh pada Q_s .

(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 5.6 Diagram Shield

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Diameter yang dapat terbilas.

$$\tau = \rho g h_s I_s = 1 \times 9,81 \times 0,362 \times 0,00431 = 15,31 \text{ N/m}^2.$$

Menurut gambar 5.6 dengan $\tau = 15,31 \text{ N/m}^2$, diperoleh diameter partikel < 17 mm dapat terbilas.

- Perhitungan panjang kantong lumpur

$$\frac{h_n}{w} = \frac{L}{V_n}$$

$$h_n = 0,752 \text{ m}$$

$$V_n = 0,40 \text{ m/det}$$

Di Indonesia dipakai suhu air 20^0 C dan dengan mengasumsikan partikel sebesar $70 \mu\text{m}$ ($70 \times 10^{-6} \text{ m}$), dengan memakai grafik Shields didapat kecepatan endap $w = 0,004 \text{ m/det}$.

Sehingga:

$$L = \frac{h_n \times V_n}{w} = \frac{0,752 \times 0,40}{0,004} = 75,2 \text{ m}$$

- Volume kantong lumpur (V)

$$V = 0,0005 \times Q_n \times T$$

$$V = 0,0005 \times 0,678 \times 7 \times 24 \times 3600$$

$$V = 205,027 \text{ m}^3$$

$$V = 0,50 \times B \times L + 0,50 (i_s - i_n) L^2 B$$

$$205,027 = 0,50 \times 1,5 \times L + 0,50 \times (0,00431 - 0,000176)L^2 \times 1,5$$

$$205,027 = 0,75L + 0.0031L^2; \text{ dengan cara coba - coba diperoleh nilai } L$$

$$L = 163,30 \text{ m} > 75,20 \text{ m} \blacktriangleright \text{OK}$$

Elevasi di saluran kantong lumpur

- Elevasi muka air di hilir saluran kantong lumpur

$$= +36,716 \text{ m}$$

- Elevasi muka air di hulu saluran kantong lumpur

$$= +36,716 + (L \times i_n)$$

$$= +36,716 + (163,30 \times 0,000176)$$

$$= +36,745 \text{ m}$$

- Elevasi lumpur di hulu saluran (saat penuh)

$$= +36,745 - h_n$$

$$= +36,745 - 0,752$$

$$= +35,993 \text{ m}$$

- Elevasi hulu dasar saluran kantong lumpur

$$= +35,993 - h_s$$

$$= +35,993 - 0,362$$

$$= +35,631 \text{ m}$$

- Elevasi lumpur di hilir saluran (saat penuh)

$$= +35,993 - (L \times i_n)$$

$$= +35,993 - (163,30 \times 0,000176)$$

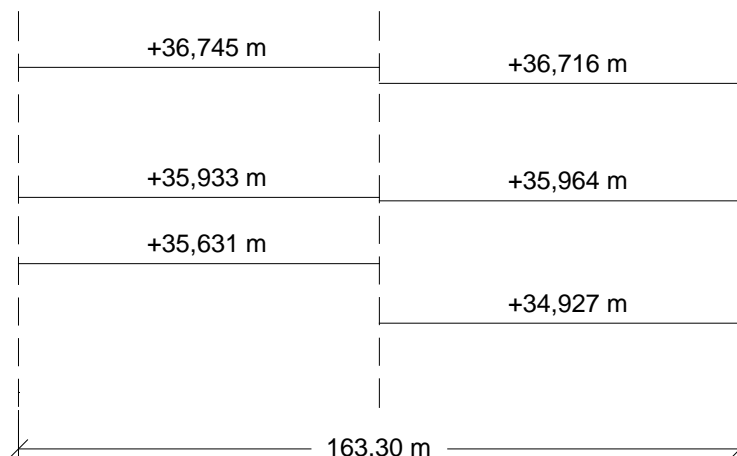
$$= +35,964 \text{ m}$$

- Elevasi hilir dasar saluran kantong lumpur

$$= +35,631 - (L \times i_s)$$

$$= +35,631 - (163,30 \times 0,00431)$$

$$= +34,927 \text{ m}$$



Gambar 5.7 Potongan Memanjang Kantong Lumpur
(Sumber: Hasil Perhitungan)

5.3.4 Desain Bangunan Penguras

Bangunan penguras merupakan bangunan yang digunakan untuk mengalirkan endapan yang tertampung di dalam kantong lumpur. Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bangunan penguras adalah sebagai berikut:

- Pintu penguras tidak boleh mengalami gangguan pada saat pengurasan, oleh karena pintu penguras tidak boleh tertutup sedimen.
- Tidak diperbolehkan terjadi penurunan kecepatan aliran saat pengurasan, oleh karena itu kemiringan saluran dibuat sedemikian rupa sehingga tidak terjadi pengurangan kecepatan aliran.
- Lebar total bangunan sama dengan lebar dasar kantong lumpur.

1. Data perencanaan bangunan penguras

- $Q_s = 0,814 \text{ m}^3/\text{det}$
- $h_s = 0,362 \text{ m}$
- $b = 1,50 \text{ m}$
- Direncanakan pintu penguras dengan lebar dibuat sama dengan lebar saluran yaitu 1,50 meter.
- Kecepatan saat pengurasan (V_f) diambil sebesar 1,5 m/det (karena dianggap sedimen berupa pasir kasar)
- Untuk mengurangi besarnya pertambahan kecepatan yang mengakibatkan efek penggenangan maka perlu ditambah luas basah pada pintu penguras dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Rumus: } b \times h_s = b_{nf} \times h_{nf}$$

Dimana:

$$b_{nf} = \text{Lebar bersih bukaan pintu (m)}$$

$$b_{nf} = \text{Jumlah pintu penguras} \times \text{Lebar pintu}$$

$$= 1 \times 1,50$$

$$= 1,50 \text{ m}$$

$$h_{nf} = \text{Kedalaman air pada bukaan penguras (m)}$$

$$\rightarrow b \times h_s = b_{nf} \times h_{nf}$$

$$1,50 \times 0,362 = 1,50 \times h_{nf}$$

$$\rightarrow h_{nf} = 0,362 \text{ m}$$

2. Dimensi saluran penguras

$$- B/H (n) = 1,4$$

$$- \text{Talud (m)} = 1:1$$

$$- \text{Jagaan (W)} = 0,5$$

- Lebar dasar saluran:

$$\text{Luas bukaan pintu (Af)} = \text{Luas saluran penguras}$$

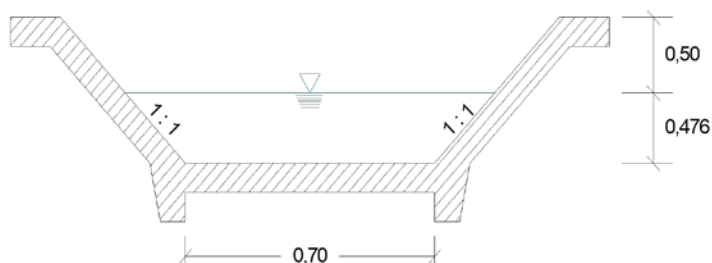
$$b_{nf} \times h_{nf} = (B + H) H$$

$$1,50 \times 0,362 = (1,4H + H) H$$

$$0,543 = 2,4H^2$$

$$H = 0,476 \text{ m}$$

$$B = 1,4 H = 1,4 \times 0,476 = 0,666 \approx 0,70 \text{ m}$$



Gambar 5.8 Potongan Melintang Saluran Penguras

(Sumber: Hasil Perhitungan)

- Kemiringan saluran penguras

$$V_f = k_s \times R_f^{2/3} \times I_f^{1/2}$$

k = Koefisien *Strickler* untuk saluran penguras = 33

$$A_f = (B + H)H = (0,70 + 0,476) \times 0,476 = 0,56 \text{ m}^2$$

$$P_f = B + 2 \times H \sqrt{m \times m + 1} = 0,70 + 2 \times 0,476 \sqrt{1 \times 1 + 1} \\ = 2,046 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{A_f}{P_f} = \frac{0,56}{2,046} = 0,274 \text{ m}$$

$$V_f = k_s \times R_f^{2/3} \times I_f^{1/2}$$

$$1,50 = 33 \times 0,274^{2/3} \times I_f^{1/2}$$

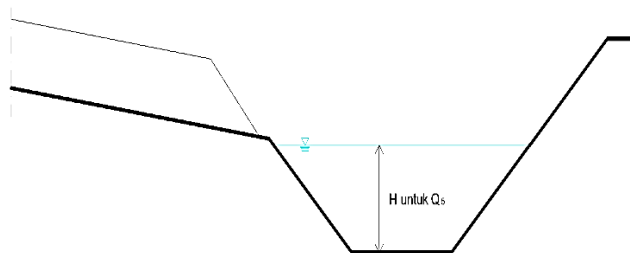
$$I_f = 0,0116$$

Panjang saluran penguras sampai ke sungai direncanakan 20 m

- Elevasi dasar di hulu pintu penguras
= +34,927 m
- Elevasi dasar pintu penguras
= +34,927 m
- Elevasi muka air di hilir saluran kantong lumpur
= +36,716 m
- Elevasi muka air di hulu saluran penguras
= +34,927 + 0,476
= +35,403 m
- Elevasi muka air di hilir saluran penguras
= +35,403 - (L × I_f)
= +35,403 - (20 × 0,0116)
= +35,171 m
- Elevasi dasar di hilir saluran penguras
= +35,171 - 0,476
= +34,695 m

3. Elevasi saluran penguras

Untuk menjamin terjaminnya pengurasan dan agar air sungai tidak masuk ke kantong lumpur menurut KP-02 diisyaratkan elevasi dasar saluran pembilas di pertemuan dengan sungai harus lebih tinggi dari elevasi air banjir sungai dengan debit rencana lima tahunan (Q_5).



Gambar 5.9 Sketsa Pertemuan Sungai dengan Saluran Bilas
(Sumber: Salamun, 2007)

$$Q_5 \text{ tahun} = 134,923 \text{ m}^3/\text{det} \text{ (Tabel 4.42)}$$

$$R = 98.692 \text{ mm} \\ = 0,098 \text{ m}$$

$$B_{\text{eff}} = 29,00 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$q = \frac{Q_5}{B_{\text{eff}}} = \frac{134,923}{29} = 4,623$$

$$Q = A \cdot V$$

Mencari nilai V

$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$$

$$= \frac{87}{1 + \frac{1,00}{\sqrt{0,098}}} = 20,74 \text{ m/dt}$$

$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

$$= 20,74 \times \sqrt{0,098 \times 0,00253} = 0,327 \text{ m/det}$$

$$Q = A \times V$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{4,623}{0,327} = 14,138 \text{ m}^2$$

$$A = (b + mh) h$$

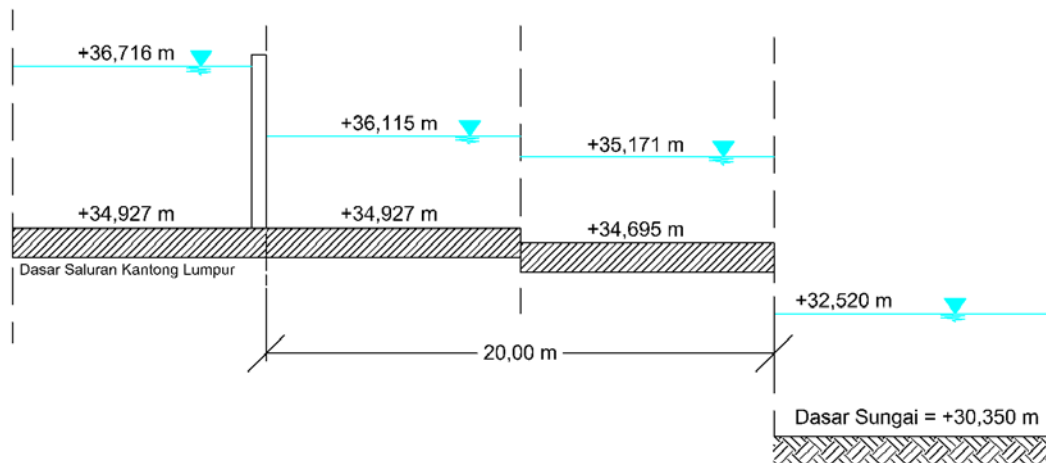
$$A = (2h + mh) h$$

$$14,138 = (2h + h) h$$

$$14,138 = 3h^2$$

$$h = 2,60 \text{ m}$$





Gambar 5.10 Potongan Memanjang Saluran Penguras

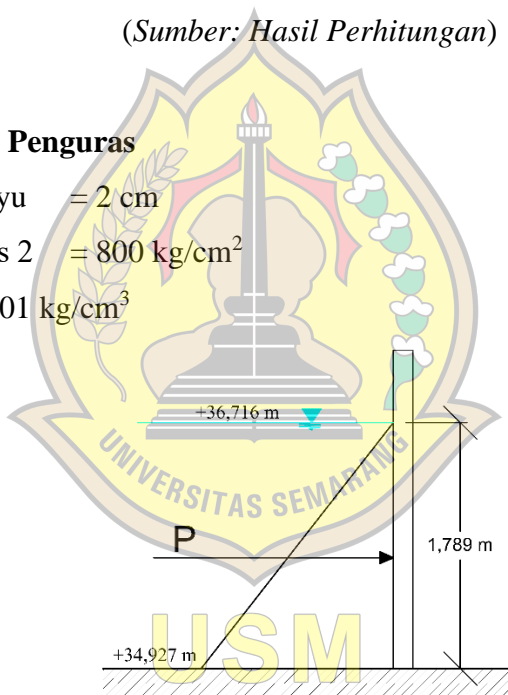
(Sumber: Hasil Perhitungan)

5.3.4.1 Dimensi Balok Penguras

Tebal papan kayu = 2 cm

σ kayu jati kelas 2 = 800 kg/cm²

$\gamma = 1 \text{ t/m}^3 = 0,001 \text{ kg/cm}^3$



Gambar 5.11 Sket Pintu Penguras untuk Perhitungan Tekanan pada Balok Kayu

(Sumber: Hasil Perhitungan)

$$\begin{aligned}
 P \text{ (tekanan)} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma w \cdot H^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \cdot (0,2 \text{ m})^2 \\
 &= 0,02 \text{ t/m} = 0,002 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen yang timbul} &= 1/8 \cdot q \cdot l^2 \\
 &= 1/8 \cdot 0,02 \text{ t/m} \cdot (1,50 \text{ m})^2 \\
 &= 0,0056 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$W \text{ (momen kelembaban)} = 1/6 \cdot t^2 \cdot h$$

Dimana h adalah lebar kayu yang ditinjau 20 cm

$$W = 1/6 \cdot t^2 \cdot 20 \text{ cm}$$

$$W = 3,33 t^2 \text{ cm}$$

Menentukan tebal pintu :

$$\sigma \text{ ijin kayu} = \frac{M}{W}$$

$$800 \text{ kg/cm}^2 = \frac{560 \text{ kg.cm}}{3,33 t^2 \text{ cm}}$$

$$2666 t^2 \cdot \text{kg/cm}^2 = 560 \text{ kg}$$

$$t^2 = 0,21 \text{ cm}^2$$

$$t = 0,46 \text{ cm} \approx 2,00 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kayu yang digunakan 2/20

$$\begin{aligned} W \text{ (momen kelembaban)} &= 1/6 \cdot t^2 \cdot h \\ &= 1/6 \cdot (2 \text{ cm})^2 \cdot (20 \text{ cm}) \\ &= 13,333 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

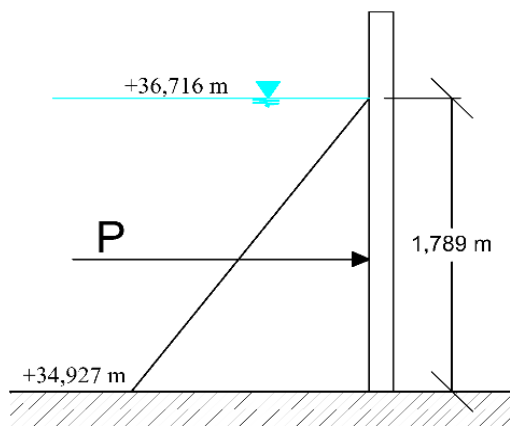
Tegangan :

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma \text{ ijin kayu}$$

$$\sigma = \frac{560 \text{ kg.cm}}{13,333 \text{ cm}^3} \leq \sigma \text{ ijin kayu}$$

$$42,00 \text{ kg/cm}^2 \leq 800,00 \text{ kg/cm}^2$$

5.3.4.2 Dimensi Stang Pengangkat Pintu Penguras



Gambar 5.12 Sket Pintu Penguras untuk Perhitungan stang pengangkat pintu

(Sumber: Hasil Perhitungan)

$$\text{Lebar pintu} = 1,50$$

$$\text{Diameter (d)} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi pintu (hp)} = 1,789$$

$$\begin{aligned} \text{F stang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 3^2 \\ &= 7,065 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia (I)} &= \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4 \\ &= \frac{1}{64} \cdot 3,14 \cdot (3 \text{ cm})^4 \\ &= 3,974 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan (P1)} &= h_p \cdot \gamma_w \\ &= 1,789 \text{ m} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \\ &= 1,789 \text{ t/m}^2 \\ &= 1789 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan air} &= \frac{1}{2} \cdot P1 \cdot (\text{lebar pintu} \cdot h \text{ pintu}) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1789 \text{ kg/m}^2 \cdot (1,50 \text{ m} \times 1,789 \text{ m}) \\ &= 2390,328 \text{ kg} \end{aligned}$$

Akibat gaya tekan pintu bergerak ke atas

$$\begin{aligned} \text{Berat stang} &= F \text{ stang} \cdot (h \text{ pintu}) \cdot \text{berat jenis baja} \\ &= 0,0007065 \text{ m}^2 \times 1,789 \text{ m} \times 7800 \text{ kg/m}^3 \\ &= 9,858 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat daun pintu} &= h \text{ pintu} \cdot \text{lebar pintu} \cdot \text{tebal pintu} \cdot \text{berat jenis kayu} \\ &= 1,789 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} \times 800 \text{ kg/m}^3 \\ &= 42,936 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sambungan} &= 20\% \cdot \text{berat daun pintu} \\ &= 20\% \times 42,936 \text{ kg} \\ &= 8,587 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total pintu (G1)} &= 9,858 + 42,936 + 8,587 \\ &= 61,381 \text{ kg} \end{aligned}$$

Koefesien gesek baja alur dengan pintu (f) = 0,4

$$\begin{aligned} \text{Gaya gesek} &= 0,4 \cdot \text{tekanan air} \\ &= 0,4 \times 2390,328 \\ &= 956,13 \text{ kg} \end{aligned}$$

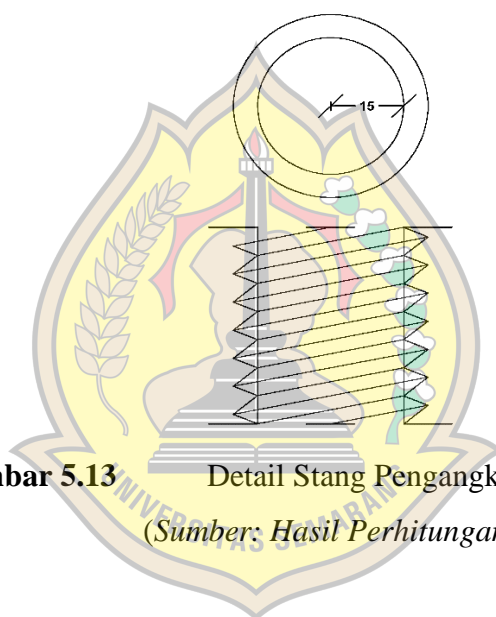
$$\begin{aligned}
 \text{Total (G)} &= G1 + \text{ gaya gesek} \\
 &= 61,381 \text{ kg} + 956,13 \text{ kg} \\
 &= 1017,511 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{G \text{ pintu}}{F \text{ stang}}$$

$$\sigma = \frac{1017,511 \text{ kg}}{7,065 \text{ cm}^2} < \sigma \text{ baja}$$

$$= 144,021 \text{ kg/cm}^2 < \sigma \text{ baja (1400 kg/cm}^2) \blacktriangleright \text{ Aman}$$



Gambar 5.13 Detail Stang Pengangkat Pintu Penguras
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Akibat gaya tekan pintu bergerak turun

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah gaya (PK)} &= \text{ gaya gesek} - G1 \\
 &= 956,13 \text{ kg} - 61,381 \text{ kg} \\
 &= 894,749 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Rumus Euler

$$PK = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2 \cdot K^2}$$

Dimana:

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 3,974 \text{ cm}^4$$

$$LK = \text{ panjang tekuk}$$

$$= 0,5 \cdot 1,789 \cdot \sqrt{2}$$

$$= 1,265 \text{ m}$$

Kontrol terhadap gaya tekuk

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{PK \cdot Lk^2}{\pi^2 \cdot E} \\
 &= \frac{894,749 \text{ kg} \times 1,265^2 \text{ m}^2}{3,14^2 \times 2,1 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2} < I \\
 &= \frac{1131,86 \times 10^7 \text{ Nmm}^2}{20705160 \text{ N/mm}^2} < I \\
 &= 546,655 \text{ mm}^4 < 7,948 \text{ cm}^4 \\
 &= 0,5466 \text{ cm}^4 < 7,948 \text{ cm}^4 \quad \blacktriangleright \text{ Aman}
 \end{aligned}$$

5.3.5 Bangunan Pengambilan

Air yang dibutuhkan untuk irigasi sebesar (Q_p) 0,678 m³/det. Dengan adanya kantong lumpur, debit rencana pengambilan ditambah 20% dari kebutuhan pengambilan.

- Perencanaan bangunan pengambilan

$$Q_n = 1,2 \times Q_p$$

$$Q_n = 1,2 \times 0,678 = 0,814 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Kecepatan pengambilan (V)} = 1,5 \text{ m/det}$$

$$\text{Kehilangan tinggi energi pada bukaan} = 0,16 \text{ m}$$

Elevasi dasar bangunan pengambilan sebaiknya 0,20 m di atas muka kantong lumpur dalam keadaan penuh. (*Standar Perencanaan Irigasi KP-02, Bangunan Utama*)

Rumus:

$$V = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

$$Q_n = V \cdot \alpha \cdot b$$

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

Dimana:

$$Q_n = \text{debit rencana} = 0,814 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\mu = \text{koefisien debit} = 0,8 \text{ (untuk pengambilan tenggelam)}$$

$$\alpha = \text{tinggi bersih bukaan (m)}$$

$$b = \text{lebar pintu pengambilan (asumsi awal} = 1,50 \text{ m)}$$

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

$$z = \text{kehilangan energi pada bukaan, diambil} 0,16$$

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

$$0,814 = 0,8 \times \alpha \times 1,50 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,16}$$

$$\alpha \text{ (tinggi bersih bukaan)} = 0,383 \text{ m}$$

- Elevasi pada bangunan

Elevasi dasar hilir saluran pengambilan saat kantong lumpur penuh

$$= +35,993 \text{ m}$$

Elevasi dasar bangunan pengambilan

$$= +35,993 \text{ m} + 0,20 \text{ m}$$

$$= +36,193 \text{ m}$$

Elevasi muka air di hilir pintu

$$= +36,193 \text{ m} + 0,383$$

$$= +36,576 \text{ m}$$

Elevasi muka air di hulu pintu

$$= +36,576 \text{ m} + 0,16$$

$$= +36,736 \text{ m}$$

- Lebar pintu

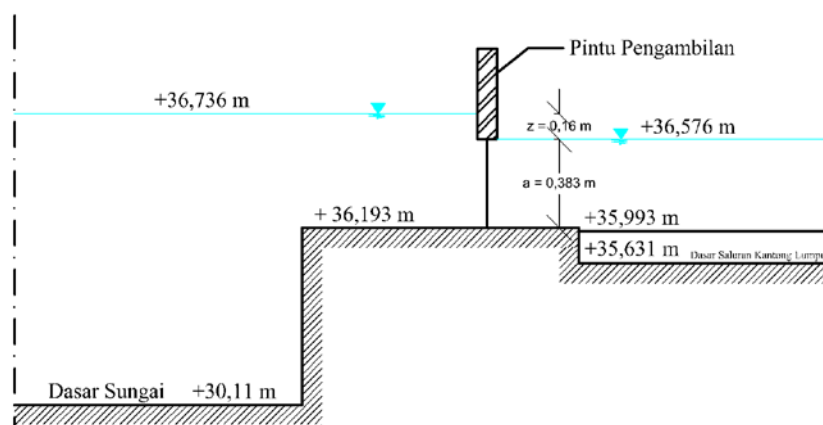
$$Q_n = \mu \cdot \alpha \cdot b \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

$$0,814 = 0,8 \times 0,383 \times b \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

- Lebar total saluran pengambilan

$$\text{Lebar total} = \text{jumlah pintu} \times \text{lebar pintu}$$

$$= 1 \times 1,50 \text{ m} = 1,50 \text{ m}$$



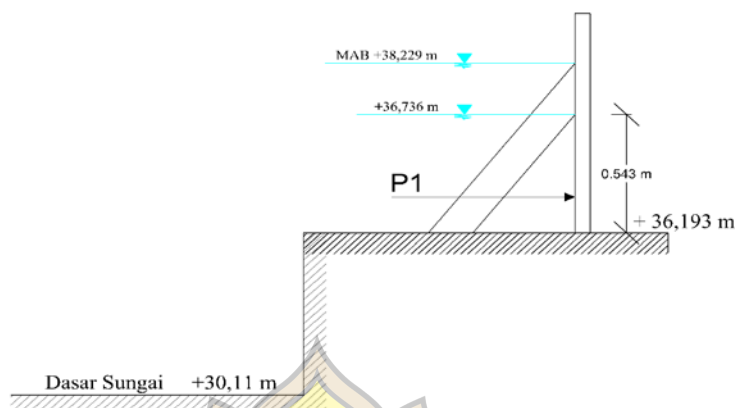
Gambar 5.14 Potongan Melintang Pintu Pengambilan
(Sumber: Hasil Perhitungan)

5.3.5.1 Dimensi Balok Pengambilan

Tebal papan kayu = 2 cm

σ kayu jati kelas 2 = 800 kg/cm²

$\gamma = 1 \text{ t/m}^3 = 0,001 \text{ kg/cm}^3$



Gambar 5.15 Sket Pintu Pengambilan untuk Perhitungan Tekanan pada Balok Kayu
(Sumber: Hasil Perhitungan)

$$\begin{aligned}
 P \text{ (tekanan)} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \cdot (0,2 \text{ m})^2 \\
 &= 0,02 \text{ t/m} = 0,002 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen yang timbul} &= 1/8 \cdot q \cdot l^2 \\
 &= 1/8 \cdot 0,02 \text{ t/m} \cdot (1,5)^2 \\
 &= 0,0056 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$W \text{ (momen kelembaban)} = 1/6 \cdot t^2 \cdot h$$

Dimana h adalah lebar kayu yang ditinjau 20 cm

$$W = 1/6 \cdot t^2 \cdot 20 \text{ cm}$$

$$W = 3,33 \text{ t}^2 \text{ cm}$$

Menentukan tebal pintu :

$$\sigma \text{ ijin kayu} = \frac{M}{W}$$

$$800 \text{ kg/cm}^2 = \frac{560 \text{ kg.cm}}{3,33 \text{ t}^2 \text{ cm}}$$

$$2666 \text{ t}^2 \cdot \text{kg/cm}^2 = 560 \text{ kg}$$

$$t^2 = 0,210 \text{ cm}^2$$

$$t = 0,46 \text{ cm} \approx 2,00 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kayu yang digunakan 2/20

$$\begin{aligned} W \text{ (momen kelembaban)} &= 1/6 \cdot t^2 \cdot h \\ &= 1/6 \cdot (2 \text{ cm})^2 \cdot (20 \text{ cm}) \\ &= 13,333 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Tegangan :

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma \text{ ijin kayu}$$

$$\sigma = \frac{560 \text{ kg.cm}}{13,333 \text{ cm}^3} \leq \sigma \text{ ijin kayu}$$

$$42,00 \text{ kg/cm}^2 \leq 800,00 \text{ kg/cm}^2$$

5.3.5.2 Dimensi Stang Pengangkat Pintu Pengambilan



Gambar 5.16 Sket Pintu Pengambilan untuk Perhitungan Stang Pengangkat Pintu

(Sumber: Hasil Perhitungan)

$$\text{Lebar pintu} = 1,00$$

$$\text{Diameter (d)} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi pintu (hp)} = 0,543$$

$$\begin{aligned} F \text{ stang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 3^2 \\ &= 7,065 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Momen inersia (I)} = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4$$

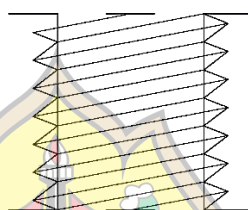
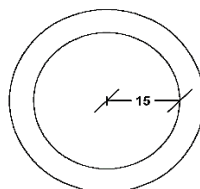
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{64} \cdot 3,14 \cdot (3 \text{ cm})^4 \\
 &= 3,974 \text{ cm}^4 \\
 \text{Tekanan (P1)} &= h_p \cdot \gamma_w \\
 &= 0,543 \text{ m} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \\
 &= 0,543 \text{ t/m}^2 \\
 &= 543 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Tekanan (P2)} &= h_p \cdot \gamma_w \\
 &= 2,036 \text{ m} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \\
 &= 2,036 \text{ t/m}^2 \\
 &= 2036 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Tekanan air} &= \frac{1}{2} \cdot (P1+P2) \cdot (\text{lebar pintu} \cdot h \text{ pintu}) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot (543 + 2036) \text{ kg/m}^2 \cdot (1,50 \text{ m} \times 0,543 \text{ m}) \\
 &= 1050,298 \text{ kg} \\
 \text{Akibat gaya tekan pintu bergerak ke atas} & \\
 \text{Berat stang} &= F \text{ stang} \cdot (h \text{ pintu}) \cdot \text{berat jenis baja} \\
 &= 0,0007065 \text{ m}^2 \times 0,543 \text{ m} \times 7800 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 2,992 \text{ kg} \\
 \text{Berat daun pintu} &= h \text{ pintu} \cdot \text{lebar pintu} \cdot \text{tebal pintu} \cdot \text{berat jenis kayu} \\
 &= 0,543 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} \times 800 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 13,032 \text{ kg} \\
 \text{Berat sambungan} &= 20\% \cdot \text{berat daun pintu} \\
 &= 20\% \times 13,032 \text{ kg} \\
 &= 2,606 \text{ kg} \\
 \text{Berat total pintu (G1)} &= 2,992 + 13,032 + 2,606 \\
 &= 18,63 \text{ kg} \\
 \text{Koefesien gesek baja alur dengan pintu (f)} &= 0,4 \\
 \text{Gaya gesek} &= 0,4 \cdot \text{tekanan air} \\
 &= 0,4 \times 1050,298 \\
 &= 420,119 \text{ kg} \\
 \text{Total (G)} &= G1 + \text{gaya gesek} \\
 &= 18,63 \text{ kg} + 420,119 \text{ kg} \\
 &= 438,749 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{G \text{ pintu}}{F \text{ stang}}$$

$$\sigma = \frac{438,749 \text{ kg}}{7,065 \text{ cm}^2} < \sigma \text{ baja}$$

$$= 62,102 \text{ kg/cm}^2 < \sigma \text{ baja (1400 kg/cm}^2) \blacktriangleright \text{Aman}$$



Gambar 5.17 Detail Stang Pengangkat Pintu Pengambilan
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Akibat gaya tekan pintu bergerak turun

$$\begin{aligned} \text{Jumlah gaya (PK)} &= \text{gaya gesek} - G1 \\ &= 420,119 \text{ kg} - 18,63 \text{ kg} \\ &= 401,489 \text{ kg} \end{aligned}$$

Rumus *Euler*

$$PK = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L \cdot K^2}$$

Dimana:

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 3,974 \text{ cm}^4$$

$$LK = \text{panjang tekuk}$$

$$= 0,5 \cdot 0,543 \cdot \sqrt{2}$$

$$= 0,384 \text{ m}$$

Kontrol terhadap gaya tekuk

$$\begin{aligned} I &= \frac{PK \cdot Lk^2}{\pi^2 \cdot E} \\ &= \frac{401,489 \text{ kg} \times 0,384^2 \text{ m}^2}{3,14^2 \times 2,1 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2} < I \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{59,202 \times 10^7 \text{ Nmm}^2}{20705160 \text{ N/mm}^2} < I \\
 &= 28,593 \text{ mm}^4 < 7,948 \text{ cm}^4 \\
 &= 0,003 \text{ cm}^4 < 7,948 \text{ cm}^4 \quad \blacktriangleright \text{ Aman}
 \end{aligned}$$

5.4 Analisis Struktur Bendung

5.4.1 Analisis Letak Bendung

Penentuan lokasi bendung harus diperhitungkan secara matang. Mengingat pentingnya penentuan lokasi bendung terhadap optimasi biaya yang dikeluarkan dan manfaat yang diberikan, maka dipilih lokasi bendung di Desa Jragung, Kecamatan Karangrawen, Kabupaten Demak dengan pertimbangan:

- Pada as bendung rencana memiliki elevasi dasar sungai +30,11 (titik J.0) dan di lokasi 50 m kearah hulu elevasi dasar sungai +30,47 (titik HU.50) dan di lokasi 50m kearah hilir elevasi dasar sungai +30,37 m (HI.50). Berdasarkan data tersebut dapat dikatakan kemiringan dasar sungai disekitar lokasi bendung cenderung seragam, karena sebaiknya bendung ditempatkan pada ruas sungai yang perubahan dasar sungainya tidak mencolok (*Suyono Sosrodarsono, 1994*).
- Kondisi tanah di lokasi bendung rencana adalah tanah keras dengan daya dukung 1,30 kg/cm² karena bendung harus di tempatkan di lokasi di mana tanah pondasinya cukup baik sehingga bangunan akan stabil (*Suyono Sosrodarsono, 1994*)
- Letaknya tidak terlalu jauh dari sawah yang akan dialiri, sehingga saluran irigasi yang dibutuhkan tidak terlalu panjang. Hal ini akan menghemat biaya yang akan dikeluarkan.

5.4.2 Analisis Muka Air Sungai di Hilir Bangunan Bendung

Diketahui:

- Debit banjir rencana (Q₅₀) = 231,157 m³/det
- Lebar sungai = 29,00 m
- Kemiringan sungai rata-rata = 0,00253

Perhitungan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Dengan mengasumsikan penampang profil sungai pada bagian hilir berbentuk trapesium dapat dihitung luas basah dan keliling basah kemudian dapat ditentukan ketinggian muka air banjir berdasarkan debit rencana dengan periode ulang 50 tahun.

Rumus:

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

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

$$P = b + 2.h.\sqrt{2}$$

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

n = koefesien *Manning* = 0,025

Tabel 5.1 Perhitungan Tinggi Air di Hilir Bendung

H (m)	B (m)	A (m)	P (m)	R (m)	i	n	V (m/det)	Q m ³ /det
2.2700	29.00	70.98	35.42	2.0040	0.00253	0.025	3.198	227.007
2.2800	29.00	71.32	35.45	2.0119	0.00253	0.025	3.206	228.677
2.2900	29.00	71.65	35.48	2.0197	0.00253	0.025	3.215	230.351
2.2948	29.00	71.82	35.49	2.0235	0.00253	0.025	3.219	231.157
2.3000	29.00	71.99	35.51	2.0276	0.00253	0.025	3.223	232.030
2.3100	29.00	72.33	35.53	2.0354	0.00253	0.025	3.231	233.714
2.3200	29.00	72.66	35.56	2.0433	0.00253	0.025	3.240	235.403

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Jadi tinggi air banjir rencana di hilir bendung adalah **2,2948 m**.

Elevasi muka air di hilir bendung

= elevasi dasar sungai bagian hilir + h_{sungai}

= +30,11 + 2,295

= +32,405 m

Elevasi muka air pada kolam olak (dari desain kolam olak sub bab 5.4.9)

= elevasi dasar kolam olak + y_2

= +28,736 + 3,364

= +32,1 m

Elevasi muka air di hilir bendung \geq elevasi muka air pada kolam olak

+32,405 \geq + 32,1 ► **OK**

5.4.3 Analisis Lebar Efektif Bendung

Untuk menghitung lebar efektif bendung digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rumus: } B_e = B - 2(n \cdot K_p + K_a)H_1$$

Dimana:

B_e = lebar efektif bendung (m)

B = lebar mercu (m) = (lebar rata-rata antara lebar muka air sungai saat banjir + lebar dasar sungai)

$$= ((39,57+22,82)/2) \times 1,2 = 37,50 \text{ m}$$

K_p = Koefisien kontraksi pilar (untuk pilar bulat) (Tabel 2.18) = 0,01

K_a = Koefisien kontraksi pangkal bendung (abutment bulat) (Tabel 2.18) = 0,1

n = Jumlah pilar = 1 buah

H_1 = Tinggi energi (m)

Jadi lebar efektif bendung adalah

$$B_e = B - 2(n \cdot K_p + K_a)H_1$$

$$B_e = 37,50 - 2(1 \times 0,01 + 0,1)H_1$$

$$B_e = 37,50 - 0,22 \times H_1$$

5.4.4 Analisis Elevasi Mercu Bendung

Tinggi mercu bendung (P) dapat dihitung dengan menjumlahkan elevasi muka air di pintu pengambilan bagian hulu, kehilangan energi, kemudian dikurangi dengan elevasi dasar sungai.

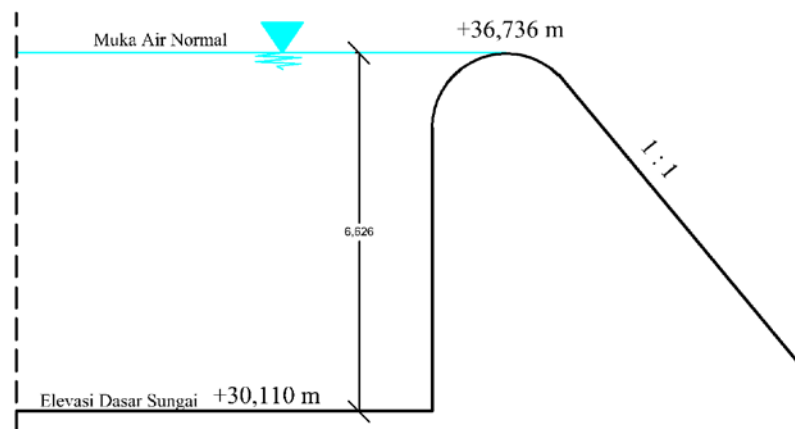
P = elevasi muka air di pintu pengambilan + kehilangan energi akibat pintu – elevasi dasar sungai.

$$P = (+36,576 + 0,16) - 30,11$$

$$= + 6,626 \text{ m}$$

Elevasi mercu bendung = elevasi dasar lantai bangunan + P

$$\text{Elevasi mercu bendung} = +30,11 + 6,626 = +36,736 \text{ m}$$



Gambar 5.18 Elevasi Mercu Bendung

(Sumber: Hasil Perhitungan)

5.4.5 Analisis Tinggi Air Banjir di Atas Mercu Bendung

Bendung direncanakan sebagai bendung pasangan batu dengan bentuk mercu tipe bulat dengan muka sisi hulu tegak dan kemiringan hilir 1 : 1. Dipilih bendung dengan mercu bulat karena bangunan ini mampu mengurangi tinggi muka air hulu selama terjadi banjir. Tekanan negatif yang bekerja pada mercu akan dicek dalam perhitungan selanjutnya. Tinggi Bendung $P = 6,626$ m. Untuk harga awal diambil $C_d = 1,3$ (Standar Perencanaan Irigasi KP-02, Bangunan Utama). Debit rencana $Q_{50} = 231,157 \text{ m}^3/\text{det}$

Tinggi energi di atas mercu menggunakan rumus debit bendung dengan mercu bulat sebagai berikut:

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} g} \times B_e \times H_1^{3/2}$$

$$231,157 = 1,3 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} \times 9,81} \times (37,50 - 0,22 \times H_1) \times H_1^{3/2}$$

Dengan cara trial dan error, diperoleh nilai $H_1 = 1,993$ m

Dimana:

Q_{50} = debit (m^3/det) = 231,157 m^3/det

C_d = koefisien debit = $C_0 \times C_1 \times C_2$

g = percepatan gravitasi (m/det^2)

B_e = lebar efektif bendung (m)

H_1 = tinggi energi di atas mercu (m)

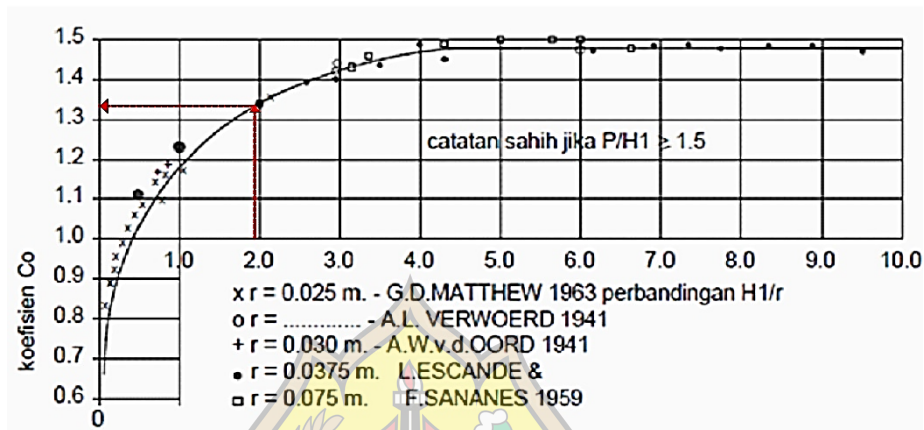
Jari – jari mercu bendung dari pasangan batu $r = (0,3 \sim 0,7) \times H_1$

$$r = 0,5 \times 1,993 = 0,997$$

Kemudian nilai C_0 diperkirakan dari Gambar 5.19

$$H_1/r = 1,993/0,997 = 1,999$$

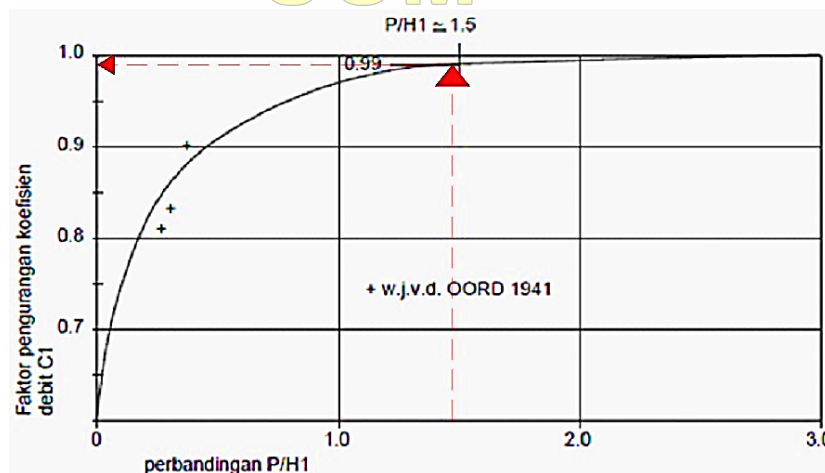
Dari grafik tersebut diperoleh nilai $C_0 = 1,34$



Gambar 5.19 Harga-harga Koefisien C_0 untuk Bendung Ambang Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan H_1/r
(Sumber: Hasil Perhitungan)

$$P/H_1 = 2,976/1,993 = 1,493 < 1,5 \text{ (Standar Perencanaan Irigasi KP-02, Bangunan Utama)}$$

Karena harga P/H_1 lebih kecil dari 1,5 maka perlu ada koreksi C_1 dengan menggunakan grafik koefisien C_1 sebagai fungsi perbandingan P/H_1 .



Gambar 5.20 Koefisien C_1 Sebagai Fungsi Perbandingan p/H_1
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Dari Gambar 5.20 diatas diperoleh nilai:

$$C_1 = 0,98$$

C_2 = Koefesien koreksi untuk pengaruh kemiringan muka bendung di bagian hulu terhadap debit (C_2) tidak diperhitungkan karena bagian hulu bendung direncanakan menggunakan dinding tegak.

$$C_d = C_o \times C_1$$

$$C_d = 1,34 \times 0,97$$

$$C_d = 1,3 \text{ (sesuai harga } C_d \text{ awal)}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi tinggi energi hulu} &= \text{elevasi mercu} + H_1 = +36,736 + 1,993 \\ &= +38,729 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk menentukan tinggi air di atas mercu dicari rumus : $H_d = H_1 - k$

Dimana:

Lebar efektif bendung

$$B_e = 37,50 - 0,22 \times H_1$$

$$B_e = 37,50 - 0,22 \times 1,993$$

$$B_e = 37,062 \approx 37,00 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{B_e \times H_1}$$

$$V = \frac{231,157}{37,00 \times 1,993} = 3,135 \text{ m/det}$$

$$k = \frac{v^2}{2g}$$

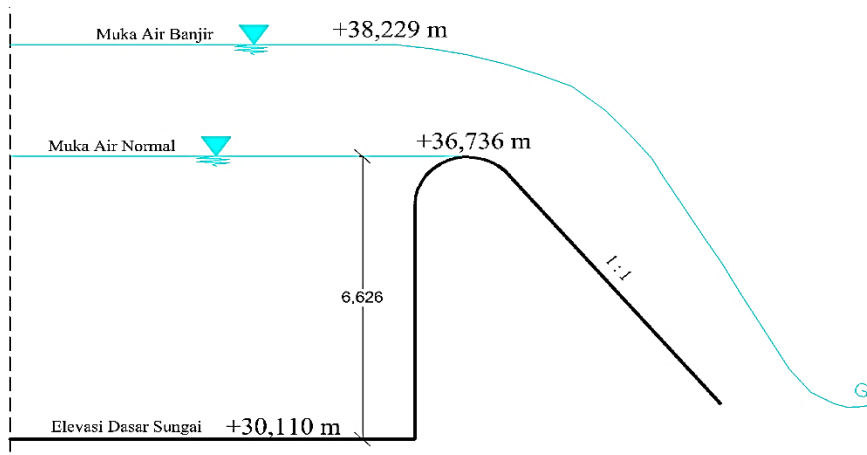
$$k = \frac{3,135^2}{2 \times 9,81} = 0,501 \text{ m}$$

Jadi tinggi air diatas mercu adalah :

$$H_d = 1,993 - 0,50 = 1,493 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi muka air banjir di atas mercu} &= \text{elevasi mercu} + H_d \\ &= +36,736 + 1,493 \\ &= +38,229 \text{ m} \end{aligned}$$





Gambar 5.21 Elevasi Muka Air Banjir

(Sumber: Hasil Perhitungan)

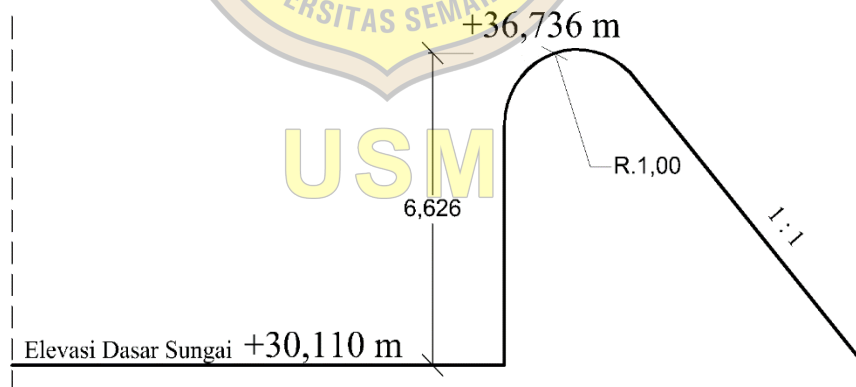
5.4.6 Desain Mercu Bendung

Jari – jari mercu bulat (R) dari pasangan batu dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$R = (0,3 \sim 0,7) H_1 \text{ digunakan } 0,5$$

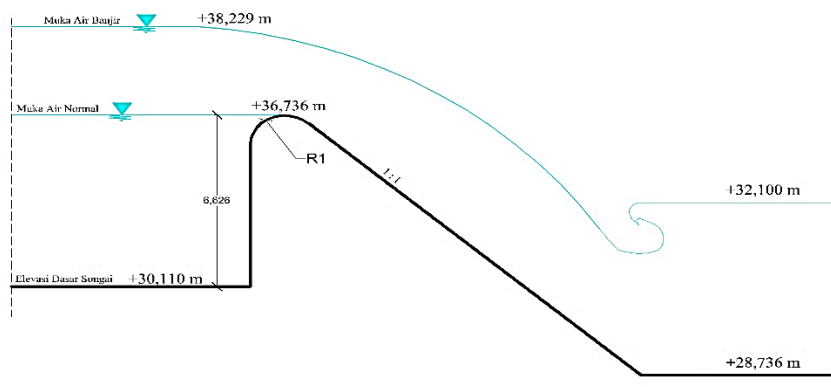
$$R = 0,5 \times H_1$$

$$= 0,5 \times 1,993 \text{ m} = 0,996 \approx 1,00 \text{ m}$$



Gambar 5.22 Dimensi Mercu

(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 5.23 Elevasi Air di Hulu dan di Hilir dan Penampang Mercu
(Sumber: Hasil Perhitungan)

5.4.7 Desain Bangunan Pembilas Bendung

Lebar bangunan pembilas digunakan 0,6 dari lebar total bangunan pengambilan.

Diketahui lebar total bangunan pengambilan = 1,50 m

Lebar pembilas (B) = $0,6 \times 1,50 = 0,90 \approx 1,00$ m

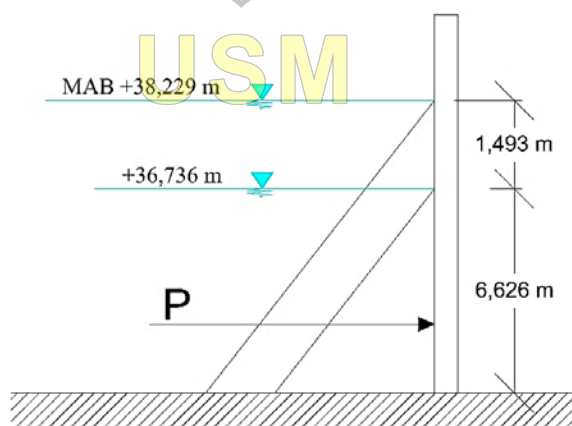
Direncanakan digunakan 1 pembilas dengan lebar 1,00 m

5.4.7.1 Dimensi Balok Pembilas Bendung

Tebal papan kayu = 2 cm

σ kayu jati kelas 2 = 800 kg/cm^2

$\gamma = 1 \text{ t/m}^3 = 0,001 \text{ kg/cm}^3$



Gambar 5.24 Sket Pintu Penguras untuk Perhitungan Tekanan pada Balok Kayu

(Sumber: Hasil Perhitungan)

$$\begin{aligned}
 P \text{ (tekanan)} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \cdot (0,2 \text{ m})^2 \\
 &= 0,02 \text{ t/m} = 0,002 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen yang timbul} &= 1/8 \cdot q \cdot l^2 \\
 &= 1/8 \cdot 0,02 \text{ t/m} \cdot (1)^2 \\
 &= 0,0025 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$W \text{ (momen kelembaban)} = 1/6 \cdot t^2 \cdot h$$

Dimana h adalah lebar kayu yang ditinjau 20 cm

$$W = 1/6 \cdot t^2 \cdot 20 \text{ cm}$$

$$W = 3,33 \text{ t}^2 \text{ cm}$$

Menentukan tebal pintu :

$$\sigma \text{ ijin kayu} = \frac{M}{W}$$

$$800 \text{ kg/cm}^2 = \frac{250 \text{ kg.cm}}{3,33 \text{ t}^2 \text{ cm}}$$

$$2666 \text{ t}^2 \cdot \text{kg/cm}^2 = 250 \text{ kg}$$

$$t^2 = 0,1 \text{ cm}^2$$

$$t = 0,306 \text{ cm} \approx 2,00 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kayu yang digunakan 2/20

$$\begin{aligned}
 W \text{ (momen kelembaban)} &= 1/6 \cdot t^2 \cdot h \\
 &= 1/6 \cdot (2 \text{ cm})^2 \cdot (20 \text{ cm}) \\
 &= 13,333 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

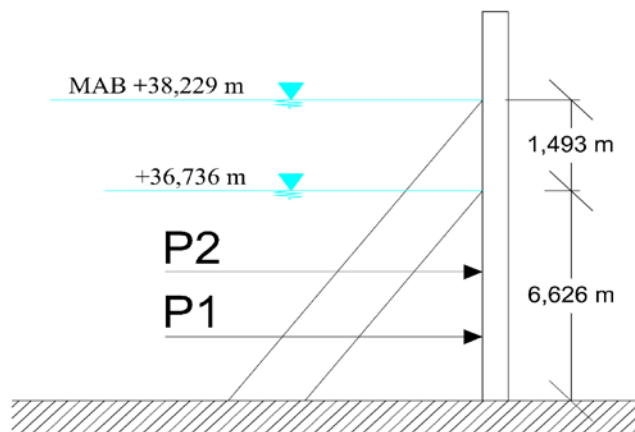
Tegangan :

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma \text{ ijin kayu}$$

$$\sigma = \frac{250 \text{ kg.cm}}{13,333 \text{ cm}^3} \leq \sigma \text{ ijin kayu}$$

$$18,75 \text{ kg/cm}^2 \leq 800,00 \text{ kg/cm}^2$$

5.4.7.2 Dimensi Stang Pengangkut Pintu Pembilas Bendung



Gambar 5.25 Sket Pintu Pembilas untuk Perhitungan Stang Pengangkut

Pintu

(Sumber: Hasil Perhitungan)

$$\text{Lebar pintu} = 1,00$$

$$\text{Diameter (d)} = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi pintu (h}_p\text{)} = 6,626$$

$$\begin{aligned} \text{F stang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 5^2 \\ &= 19,643 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia (I)} &= \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4 \\ &= \frac{1}{64} \cdot 3,14 \cdot (5 \text{ cm})^4 \\ &= 30,692 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan (P1)} &= h_p \cdot \gamma_w \\ &= 8,119 \text{ m} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \\ &= 8,119 \text{ t/m}^2 \\ &= 8119 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan (P2)} &= h_p \cdot \gamma_w \\ &= 6,626 \text{ m} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \\ &= 6,626 \text{ t/m}^2 \\ &= 6626 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan air} &= \frac{1}{2} \cdot (P1+P2) \cdot (\text{lebar pintu} \cdot h \text{ pintu}) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (8119 + 6626) \text{ kg/m}^2 \cdot (1,00 \text{ m} \times 6,626 \text{ m}) \end{aligned}$$

$$= 48850,185 \text{ kg}$$

Akibat gaya tekan pintu bergerak ke atas

$$\begin{aligned} \text{Berat stang} &= F \text{ stang} \cdot (h \text{ pintu}) \cdot \text{berat jenis baja} \\ &= 0,0019643 \text{ m}^2 \times 6,626 \text{ m} \times 7800 \text{ kg/m}^3 \\ &= 101,521 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat daun pintu} &= h \text{ pintu} \cdot \text{lebar pintu} \cdot \text{tebal pintu} \cdot \text{berat jenis kayu} \\ &= 6,626 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} \times 800 \text{ kg/m}^3 \\ &= 106,016 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sambungan} &= 20\% \cdot \text{berat daun pintu} \\ &= 20\% \times 106,016 \text{ kg} \\ &= 21,203 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total pintu (G1)} &= 101,521 + 106,016 + 21,203 \\ &= 228,74 \text{ kg} \end{aligned}$$

Koefesien gesek baja alur dengan pintu (f) = 0,4

$$\begin{aligned} \text{Gaya gesek} &= 0,4 \cdot \text{tekanan air} \\ &= 0,4 \times 48850,185 \\ &= 19540,074 \text{ kg} \end{aligned}$$

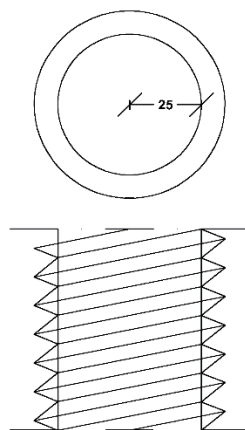
$$\begin{aligned} \text{Total (G)} &= G1 + \text{gaya gesek} \\ &= 228,74 \text{ kg} + 19540,074 \text{ kg} \\ &= 19768,814 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{G \text{ pintu}}{F \text{ stang}}$$

$$\sigma = \frac{19768,074 \text{ kg}}{19,643 \text{ cm}^2} < \sigma \text{ baja}$$

$$= 1006,41 \text{ kg/cm}^2 < \sigma \text{ baja (1400 kg/cm}^2) \blacktriangleright \text{Aman}$$



Gambar 5.26 Detail Stang Pengangkat Pintu Penguras
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Akibat gaya tekan pintu bergerak turun

$$\begin{aligned} \text{Jumlah gaya (PK)} &= \text{gaya gesek} - G1 \\ &= 19540,074 \text{ kg} - 228,74 \text{ kg} \\ &= 19540,074 \text{ kg} \end{aligned}$$

Rumus *Euler*

$$PK = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2 \cdot K^2}$$

Dimana:

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 30,69 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} LK &= \text{panjang tekuk} \\ &= 0,5 \cdot 6,626 \cdot \sqrt{2} \\ &= 4,685 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrol terhadap gaya tekuk

$$I = \frac{PK \cdot Lk^2}{\pi^2 \cdot E}$$

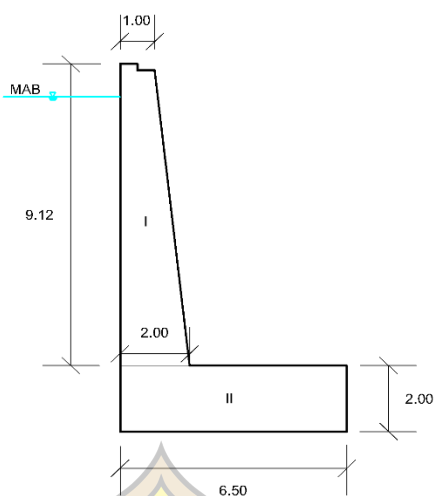
$$= \frac{19540,074 \text{ kg} \times 4,685^2 \text{ m}^2}{3,14^2 \times 2,1 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2} < I$$

$$= \frac{428889,480 \times 10^7 \text{ Nmm}^2}{20705160 \text{ N/mm}^2} < I$$

$$= 207141,351 \text{ mm}^4 < 7,948 \text{ cm}^4$$

$$= 20,714 \text{ cm}^4 < 30,69 \text{ cm}^4 \quad \blacktriangleright \text{ Aman}$$

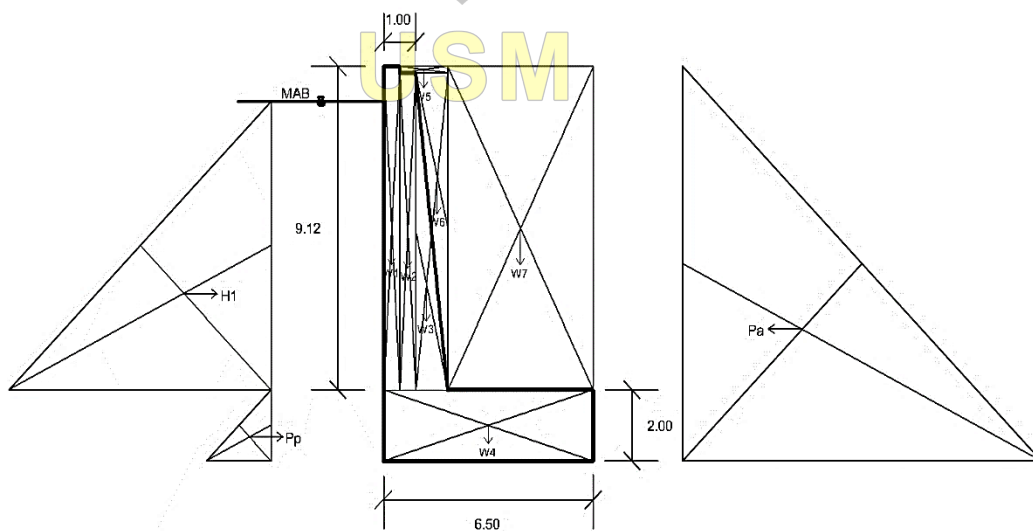
5.4.8 Perencanaan Dinding Penahan Tanah



Gambar 5.27 Rencana Dinding Penahan Pasangan Batu Kali
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Adapun gaya – gaya yang bekerja pada Dinding Penahan saat kondisi banjir yaitu:

- Gaya akibat berat sendiri konstruksi
- Gaya akibat tekanan air
- Gaya akibat tekanan tanah



Gambar 5.28 Gaya – Gaya Horizontal yang Bekerja pada Dinding Penahan Kondisi Banjir

(Sumber: Hasil Perhitungan)

2. Perhitungan Tekanan Tanah Horisontal

$$\begin{aligned}
 P_a &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_d \cdot K_a \cdot h^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,95 \cdot 0,474 \cdot 11,119^2 \\
 &= 57,137 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_p &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_d \cdot K_p \cdot h^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,95 \cdot 2,108 \cdot 2^2 \\
 &= 8,221 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.2 Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Jenis	Gaya	Titik 0	
		Jarak (m)	Momen (t.m)
Pa	57.137	3.71	211.98
Pp	-8.221	0.67	-5.51
H ₁	-32.959	4.71	-155.24

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 5.3 Gaya Berat Sendiri (W)

Gaya	Luas (m ²)	γ (t/m ³)	Besarnya Gaya (ton)	Terhadap Titik 0	
				Panjang Lengan (m)	Momen (t.m)
W1	4.56	2.20	-10.03	0.25	-2.51
W2	4.46	2.20	-9.81	0.75	-7.36
W3	4.46	2.20	-9.81	1.33	-13.05
W4	13.00	2.20	-28.60	3.25	-92.95
W5	0.30	1.95	-0.59	1.25	-0.73
W6	4.46	1.95	-8.70	1.67	-14.52
W7	41.04	1.95	-80.02	4.25	-340.08
Total			-147.55		-471.20

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 5.4 Gaya Gempa (E)

Gaya	Koefesien Gempa	Gaya Berat (W)	Gaya Gempa (E)	Terhadap Titik A	
	(E)	(ton)	(ton)	Panjang Lengan (m)	Momen (t.m)
E1	0.183	10.03	1.84	6.56	12.04
E2	0.183	9.81	1.80	6.46	11.60
E3	0.183	9.81	1.80	4.97	8.92
E4	0.183	28.60	5.23	1.00	5.23
E5	0.183	0.59	0.11	11.02	1.18
E6	0.183	8.70	1.59	7.99	12.72
E7	0.183	80.02	14.64	6.56	96.06
Total		147.55	27.00		147.75

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 5.5 Rekap Gaya – Gaya yang Terjadi

No.	Gaya	RH	RV	Momen (ton meter)	
		(ton)	(ton)	Guling	Tahan
1	Berat		-147.55		-471.20
2	Tekanan Tanah Aktif	57.137		211.98	
3	Tekanan Tanah Pasif	-8.221			-5.51
4	Gempa		27.00	147.75	
5	Hidrostatik	-32.959			-155.24
Total		15.957	-120.55	359.73	-631.94

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tinjauan Terhadap Stabilitas Struktur

- Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\sum MT}{\sum MG} = \frac{631,94}{359,73} = 1,76 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

- Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = f \cdot \frac{\sum RV}{\sum RH} = \frac{120,55}{15,957} = 7,55 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

- Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

$$e = \left(\frac{L}{2}\right) - \frac{\sum MT - \sum MG}{\sum RV} < \frac{L}{2}$$

$$= \left(\frac{6,5}{2}\right) - \frac{631,94 - 359,73}{120,55} < \frac{6,5}{2}$$

$$= 0,99 < 3,25 \text{ (Aman)}$$

- Tekanan Tanah Maksimum

$$\frac{RV}{L} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{L}\right) < \bar{\sigma} \text{ (tegangan ultimit tanah)}$$

$$\frac{120,55}{6,5} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 0,99}{6,5}\right) < 37,10$$

$$35,527 \text{ t/m}^2 < 37,10 \text{ t/m}^2 \text{ (Aman)}$$

- Tekanan Tanah Minimum

$$\frac{RV}{L} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{L}\right) > 0$$

$$\frac{120,55}{6,5} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot 0,99}{6,5}\right) > 0$$

$$1,59 \text{ t/m}^2 > 0 \text{ t/m}^2 \text{ (Aman)}$$

5.4.9 Desain Kolam Olak

Kolam olah berfungsi meredam energi yang timbul di dalam aliran air superkritis yang melewati pelimpah serta mengantisipasi olakan yang terjadi di hilir tubuh bendung sebagai akibat perbedaan ketinggian muka air antara hulu dan hilir bendung.

5.4.9.1 Menentukan Tipe Kolam Olak

Perhitungan untuk kolam olah menggunakan debit banjir rencana periode ulang 50 tahun (Q_{50}). Untuk mengetahui perlu atau tidaknya kolam olah ditentukan dengan besarnya nilai Fr (*Froude*)

Rumus:

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \times y_1}}$$

Dimana:

Fr = bilangan *Froude*

g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

z = tinggi jatuh = elevasi mercu – elevasi dasar kolam olak
 $= +36,736 - 28,736 = 8,00$ m

$$V_1 = \text{kecepatan awal loncatan} = \sqrt{2 \times g \times (0,5 \times H_1 + z)}$$

$$= \sqrt{2 \times 9,81 \times (0,5 \times 6,626 + 8,00)} = 14,898 \text{ m/det}$$

q = debit per satuan lebar ($q = Q_{50} / B_e$)

$$= \frac{231,157}{37,00} = 6,247 \text{ m}^3/\text{det.m}$$

Y_1 = kedalaman air di awal loncatan

$$Y_1 = \frac{q}{V_1}$$

$$Y_1 = \frac{6,247}{14,898} = 0,42 \text{ m}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \times Y_1}} = \frac{14,898}{\sqrt{9,81 \times 0,42}} = 7,339$$

Berdasarkan *Standar Perencanaan Irigasi KP-04, Bangunan*, kolam olak untuk bilangan *Froude* $\geq 4,5$ merupakan kolam olak yang paling ekonomis, karena kolam ini pendek. Kolam olak yang sesuai adalah kolam USBR Tipe III.

5.4.9.2 Desain Kolam Olak *USBR* Tipe III

Perhitungan dimensi kolam olak *USBR* Tipe III adalah sebagai berikut:

Y_2 = kedalaman air diatas ambang ujung

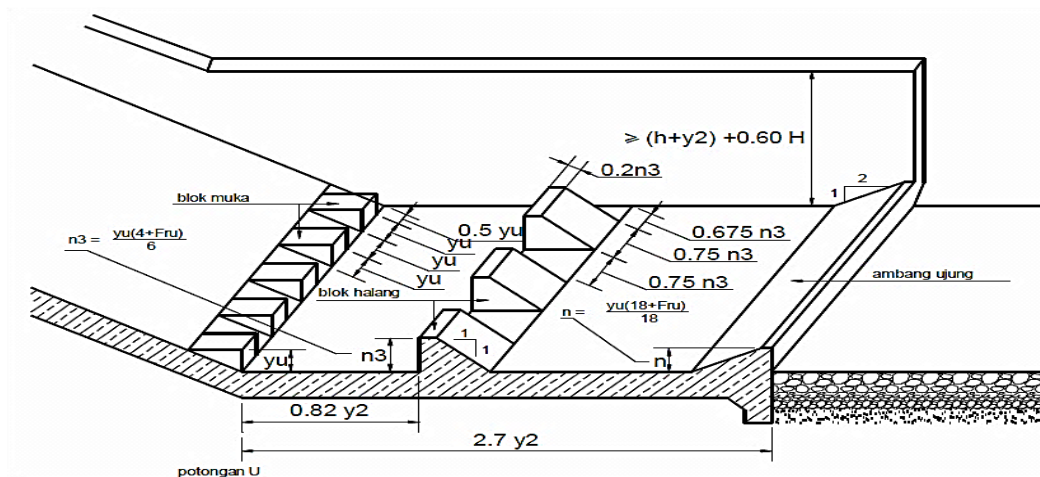
$$Y_2 = \frac{Y_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1)$$

$$Y_2 = \frac{0,42}{2} (\sqrt{1 + 8 \times 7,339^2} - 1) = 3,364 \text{ m}$$

V_2 = kecepatan air pada kolam olak (setelah terjadi loncatan)

$$V_2 = \frac{Q}{B_e \times Y_2}$$

$$V_2 = \frac{231,157}{37 \times 3,364} = 1,857 \text{ m/det}$$



Gambar 5.30 Karakteristik Kolam Olak USBR Tipe III

(Sumber: KP-02 Bangunan Utama, 2012)

Direncanakan:

$Y_u = Y_1 = \text{lebar balok muka} = \text{tinggi balok muka} = \text{jarak antar balok muka} = 0,40$
m

Jarak tepi kolam olak ke balok muka $= 0,5 \times Y_u = 0,50 \times 0,40 = 0,20$ m

Jumlah balok muka $= N_c$

$$N_c = \frac{B_e - 0,5 \times Y_u}{2 \times Y_u}$$

$$N_c = \frac{37 - 0,5 \times 0,42}{2 \times 0,42} = 43,79 \approx 44 \text{ buah}$$

Tinggi balok haling $= n_3$

$$n_3 = \frac{Y_u \times (4 + Fr)}{2 \times 6}$$

$$n_3 = \frac{0,42 \times (4 + 7,339)}{2 \times 6} = 0,397 \text{ m}$$

Ketebalan bagian atas balok haling $= 0,2 \times n_3$

$$= 0,2 \times 0,397$$

$$= 0,10 \text{ m}$$

Jarak tepi kolam olak ke balok haling $= 0,675 \times n_3$

$$= 0,675 \times 0,397$$

$$= 0,30 \text{ m}$$

Panjang bagian bawah balok haling $= 0,75 \times n_3$

$$= 0,75 \times 0,397$$

$$= 0,30 \text{ m}$$

Jumlah balok haling = N_b

$$N_b = \frac{B_e - 0,375 \times n_3}{1,5 \times n_3}$$

$$N_b = \frac{37 - 0,375 \times 0,397}{1,5 \times 0,397} = 61,88 \approx 62 \text{ buah}$$

Tinggi ambang ujung = n

$$n = \frac{Y_u \times (18 + Fr)}{18}$$

$$n = \frac{0,42 \times (18 + 7,339)}{18}$$

$$n = 0,59 \text{ m}$$

Jarak antara balok muka dan balok haling = L_1

$$\begin{aligned} L_1 &= 0,82 \times Y_2 \\ &= 0,82 \times 3,364 \\ &= 2,76 \approx 3,00 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang total kolam olak = L_{tot}

$$\begin{aligned} L_{tot} &= 2,7 \times Y_2 \\ &= 2,7 \times 3,364 \\ &= 9,08 \approx 9,10 \text{ m} \end{aligned}$$

Tinggi dinding tepi kolam olak = H

$$\begin{aligned} H &> (n + y_2) + 0,6 H_1 \\ H &> (0,59 + 3,364) + 0,6 \times 6,626 \\ H &> 3,954 + 3,976 \\ H &> 7,93 \approx 8,00 \text{ m} \end{aligned}$$



5.4.10 Desain Panjang Lantai Muka

Panjang lantai muka yang direncanakan 20,00 m. Berdasarkan gambar dimensi bendung rencana Gambar 5.31, maka dapat dicek apakah dengan panjang lantai muka rencana aman terhadap rembesan yang terjadi atau tidak, dengan nilai rembesan minimum (C_L) yang ditentukan berdasarkan jenis tanah di lokasi rencana. Untuk perhitungan panjang garis rembesan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$L_w = \sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_h$$

Dimana:

$$L_w = \text{panjang garis rembesan (m)}$$

ΣL_v = panjang *creep line* vertical (m)

ΣL_h = panjang *creep line* horizontal (m)

Faktor rembesan / *creep ratio* (C_w) = L_w/H_w dimana $C_w > C_L$ aman



USM

Tabel 5.6 Perhitungan Panjang Rembesan dan Tekanan Air Kondisi Normal

No.	BATAS	LV (m)	LH (m)	1/3 LH (m)	LW (m)	L (m)	$\Delta H =$ Lw/CL (m)	Hx (m)	Ux (ton/m ²)
A					0.00	52.37	7.36	6.626	6.626
	A - B	2.00							
B					2.00	52.37	7.36	8.626	8.345
	B - C		0.50	0.17					
C					2.17	52.37	7.36	8.626	8.321
	C - D	1.58							
D					3.75	52.37	7.36	7.126	6.599
	D - E		4.00	1.33					
E					5.08	52.37	7.36	7.126	6.412
	E - F	1.50							
F					6.58	52.37	7.36	8.626	7.701
	F - G		1.00	0.33					
G					6.91	52.37	7.36	8.626	7.654
	G - H	1.50							
H					8.41	52.37	7.36	7.126	5.944
	H - I		4.00	1.33					
I					9.75	52.37	7.36	7.126	5.756
	I - J	1.50							
J					11.25	52.37	7.36	8.626	7.045
	J - K		1.00	0.33					
K					11.58	52.37	7.36	8.626	6.999
	K - L	1.50							
L					13.08	52.37	7.36	7.126	5.288
	L - M		4.00	1.33					
M					14.41	52.37	7.36	7.126	5.100
	M - N	1.50							

No.	BATAS	LV (m)	LH (m)	1/3 LH (m)	LW (m)	L (m)	$\Delta H =$ Lw/CL (m)	Hx (m)	Ux (ton/m ²)
N					15.91	52.37	7.36	8.626	6.390
	N - O		1.00	0.33					
O	O - P	1.50			16.25	52.37	7.36	8.626	6.343
P	P - Q		4.00	1.33	17.75	52.37	7.36	7.126	4.632
	Q - R	10.00							
R	R - S		2.00	0.67	19.08	52.37	7.36	7.126	4.445
S	S - T	4.00			29.08	52.37	7.36	17.126	13.039
	T - U		1.00	0.33					
T	U - V	4.56			29.75	52.37	7.36	17.126	12.945
U	V - W		3.00	1.00	33.75	52.37	7.36	13.126	8.383
	W - X	6.00							
V	X - Y	1.23			34.08	52.37	7.36	13.126	8.336
	Y - Z	1.00							
W	Z - AA		1.50	0.50	38.64	52.37	7.36	17.686	12.256
	AA								
X					39.64	52.37	7.36	17.686	12.115
Y					45.64	52.37	7.36	11.686	5.272
Z					46.87	52.37	7.36	10.456	3.869
AA					47.87	52.37	7.36	11.456	4.728
					48.37	52.37	7.36	11.456	4.658

No.	BATAS	LV (m)	LH (m)	1/3 LH (m)	LW (m)	L (m)	$\Delta H =$ Lw/CL (m)	Hx (m)	Ux (ton/m ²)
	AA - AB	4.00							
AB					52.37	52.37	7.36	7.456	0.096
TOTAL		43.37	28.00	9.00					

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Contoh perhitungan:

$$- L_x = L_v + \frac{1}{3} LH$$

$$L_{B-C} = 2,00 + \frac{1}{3} 0,50 = 2,17 \text{ m}$$

$$- H_w = \text{elevasi mercu} - \text{elevasi end sill}$$

$$H_w = +36,736 - 29,326 = 7,41 \text{ m}$$

- Panjang L_w dihitung sampai pangkal hilir (titik AB) dengan nilai C_w sebagai berikut:

$$L_w = \sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_h$$

$$L_w = 43,37 + \frac{1}{3} 28,00 = 52,37 \text{ m}$$

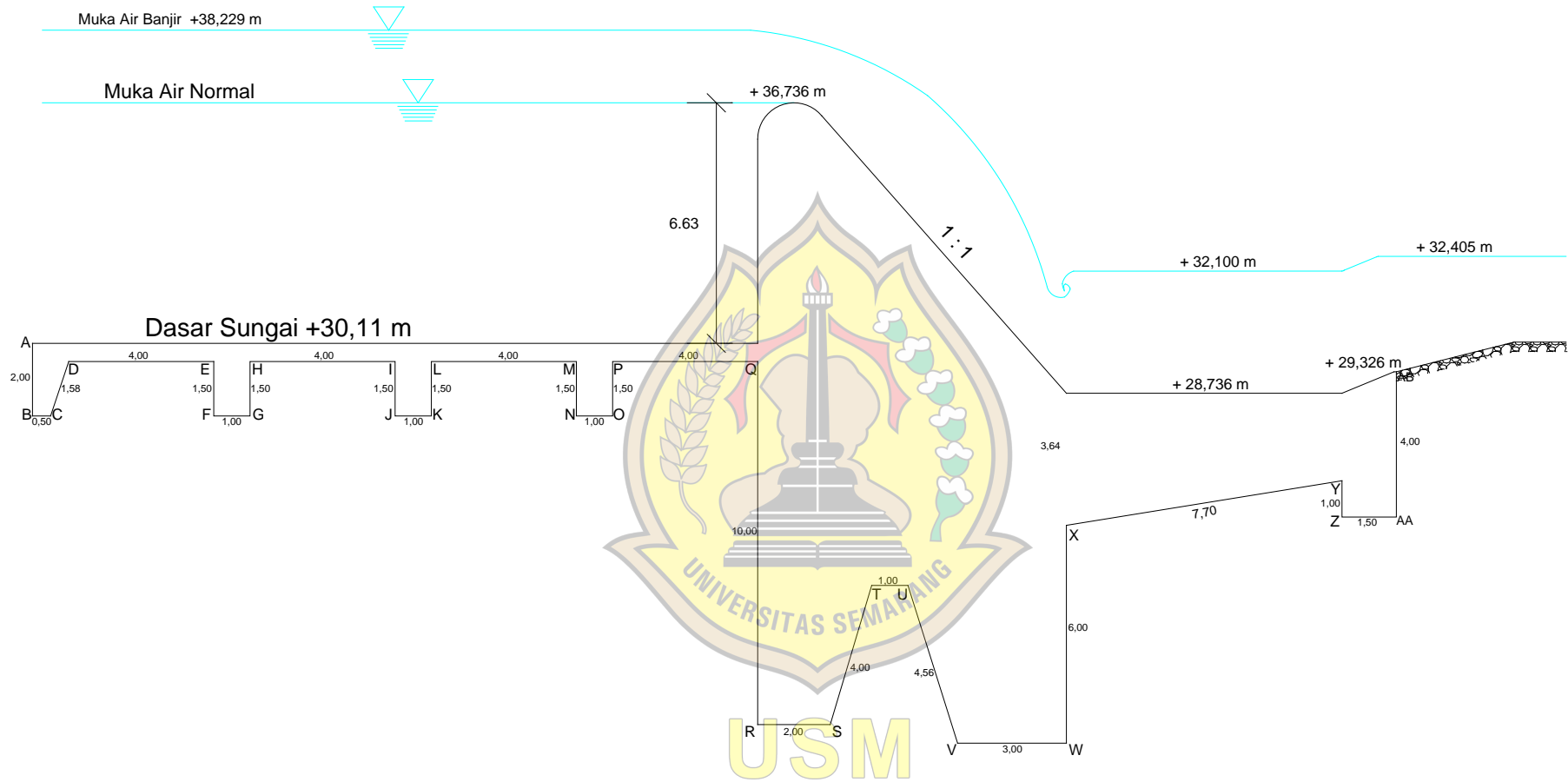
$$- \Delta H = \frac{L_w}{C_w}$$

$$\Delta H_c = \frac{L_w}{(L_v + \frac{1}{3} LH)/H_w} = \frac{52,37}{(43,37 + \frac{1}{3} 28,00)/7,41} = 7,36 \text{ m}$$

$$- U_x = \left(H_x - \frac{L_x}{L_w} \times \Delta H_x \right) \gamma_w$$

$$U_x = \left(H_c - \frac{L_c}{L_w} \times \Delta H_c \right) \gamma_w = \left(8,626 - \frac{2,17}{52,37} \times 7,36 \right) \cdot 1$$

$$= 8,321 \text{ t/m}^2$$



Gambar 5.32 Rencana Dimensi Bendung Kondisi Banjir

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 5.7 Perhitungan Panjang Rembesan dan Tekanan Air Kondisi Banjir

No.	BATAS	LV (m)	LH (m)	1/3 LH (m)	LW (m)	L (m)	$\Delta H =$ Lw/CL (m)	Hx (m)	Ux (ton/m ²)
A					0.00	52.37	5.79	8.119	8.119
	A - B	2.00							
B					2.00	52.37	5.79	10.119	9.898
	B - C		0.50	0.17					
C					2.17	52.37	5.79	10.119	9.879
	C - D	1.58							
D					3.75	52.37	5.79	8.619	8.205
	D - E		4.00	1.33					
E					5.08	52.37	5.79	8.619	8.057
	E - F	1.50							
F					6.58	52.37	5.79	10.119	9.392
	F - G		1.00	0.33					
G					6.91	52.37	5.79	10.119	9.355
	G - H	1.50							
H					8.41	52.37	5.79	8.619	7.689
	H - I		4.00	1.33					
I					9.75	52.37	5.79	8.619	7.541
	I - J	1.50							
J					11.25	52.37	5.79	10.119	8.876
	J - K		1.00	0.33					
K					11.58	52.37	5.79	10.119	8.839
	K - L	1.50							
L					13.08	52.37	5.79	8.619	7.173
	L - M		4.00	1.33					
M					14.41	52.37	5.79	8.619	7.025
	M - N	1.50							

No.	BATAS	LV (m)	LH (m)	1/3 LH (m)	LW (m)	L (m)	$\Delta H =$ Lw/CL (m)	Hx (m)	Ux (ton/m ²)
N					15.91	52.37	5.79	10.119	8.360
	N - O		1.00	0.33					
O	O - P	1.50			16.25	52.37	5.79	10.119	8.323
P			4.00	1.33	17.75	52.37	5.79	8.619	6.657
	P - Q								
Q	Q - R	10.00			19.08	52.37	5.79	8.619	6.510
R			2.00	0.67	29.08	52.37	5.79	18.619	15.404
	R - S								
S					29.75	52.37	5.79	18.619	15.330
	S - T	4.00							
T			1.00	0.33	33.75	52.37	5.79	14.619	10.888
	T - U								
U	U - V	4.56			34.08	52.37	5.79	14.619	10.851
V			3.00	1.00	38.64	52.37	5.79	19.179	14.907
	V - W								
W					39.64	52.37	5.79	19.179	14.796
	W - X	6.00							
X					45.64	52.37	5.79	13.179	8.133
	X - Y	1.23							
Y					46.87	52.37	5.79	11.949	6.767
	Y - Z	1.00							
Z			1.50	0.50	47.87	52.37	5.79	12.949	7.657
AA	Z - AA				48.37	52.37	5.79	12.949	7.601

No.	BATAS	LV (m)	LH (m)	1/3 LH (m)	LW (m)	L (m)	$\Delta H =$ Lw/CL (m)	Hx (m)	Ux (ton/m ²)
	AA - AB	4.00							
AB					52.37	52.37	5.79	8.949	3.159
TOTAL		43.37	28.00	9.00					

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Contoh perhitungan:

$$- L_x = L_v + \frac{1}{3} LH$$

$$L_{B-C} = 2,00 + \frac{1}{3} 0,50 = 2,17 \text{ m}$$

- H_w = beda tinggi muka air banjir di hulu dengan elevasi muka air *end sill*

$$H_w = +38,229 - 32,405 = 5,824 \text{ m}$$

- Panjang L_w dihitung sampai pangkal hilir (titik AB) dengan nilai C_w sebagai berikut:

$$L_w = \sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_h$$

$$L_w = 43,37 + \frac{1}{3} 28,00 = 52,37 \text{ m}$$

$$- \Delta H = \frac{L_w}{C_w}$$

$$\Delta H_c = \frac{L_w}{(L_v + \frac{1}{3} LH)/H_w} = \frac{52,37}{(43,37 + \frac{1}{3} 28,00)/5,824} = 5,787 \text{ m}$$

$$- U_x = \left(H_x - \frac{L_x}{L_w} \times \Delta H_x \right) \cdot \gamma_w$$

$$U_x = \left(H_c - \frac{L_c}{L_w} \times \Delta H_c \right) \cdot \gamma_w = \left(10,119 - \frac{2,17}{52,37} \times 5,787 \right) \cdot 1 = 8,898 \text{ t/m}^2$$

Dari hasil penyelidikan tanah diketahui jenis tanah yang ada pada lokasi rencana bendung adalah pasir sedang dengan sedikit koral dan pada tanah dalamnya berupa pasir semen berwarna kehitaman, sehingga dapat ditentukan nilai *Safe Creep Ratio* menurut Lane nilai $C_L = 7$ (*Standar Perencanaan Irigasi KP-06, Parameter Bangunan*).

$$C_w = \frac{L_w}{H_w}$$

$$= \frac{52,37}{7,41} = 7,067$$

Sesuai hasil perhitungan di atas nilai $C_w = 7,067$ (di ambil pada kondisi normal) sedangkan nilai $CL = 20,00$ m

5.4.11 Menentukan Tebal Kolam Olak

Untuk menentukan tebal lantai kolam olak harus dilakukan peninjauan terhadap dua kondisi yang mungkin terjadi. Yaitu saat kondisi air normal dan kondisi air banjir. Setiap bangunan diandaikan berdiri sendiri sehingga tidak mungkin ada distribusi gaya – gaya melalui momen lentur, maka perhitungan kolam olak menggunakan rumus:

$$P_x = \left\{ H_x - \left[\frac{L_x}{L_w} \times H_w \right] \right\} \times \gamma_w$$

$$t_{\min} = \frac{s \cdot (P_x - W_x)}{\gamma_{\text{batu}}}$$

Dimana:

P_x = uplift pressure (t/m^2)

H_x = tinggi muka air di hulu bendung di ukur dari titik x (di ambil titik T) (m)

L_x = panjang *creep line* sampai titik x (m)

L_w = Panjang *creep line* total (m)

ΔH = perbedaan tinggi tekan di hulu dan di hilir bendung (m)

γ_w = berat jenis air ($1 t/m^3$)

t_{\min} = tebal minimum lantai kolam (m)

s = factor keamanan (1,5 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi banjir)

W_x = kedalaman air pada titik x (m)

γ_{pas} = berat jenis batu ($2,2 t/m^3$)

a. Untuk Kondisi Muka Air Normal

Diketahui:

$H_x = 11,686$ m (Tabel 5.6)

$L_x = 45,640$ m (Tabel 5.6)

$L_w = 52,370$ m (Tabel 5.6)

$$P_x = \left\{ H_x - \left[\frac{L_x}{L_w} \times H_w \right] \right\} \times \gamma_w$$

$$P_x = \left\{ 11,686 - \left[\frac{45,640}{52,370} \times 7,41 \right] \right\} \times 1$$

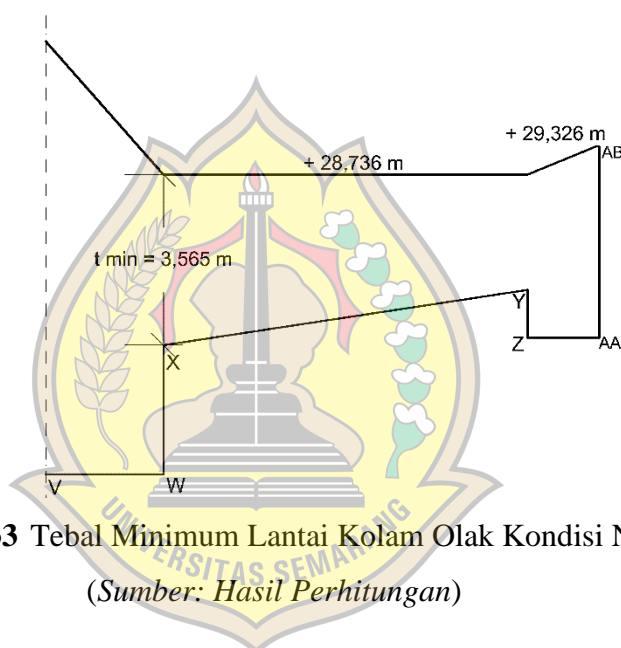
$$P_x = 5,228 \text{ t/m}^2$$

Untuk kondisi air normal $W_x = 0$

$$t_{\min} = \frac{s \cdot (P_x - W_x)}{\gamma \text{ batu}}$$

$$t_{\min} = \frac{1,5 \cdot (5,228 - 0)}{2,2}$$

$$t_{\min} = 3,565 \text{ m}$$



Gambar 5.33 Tebal Minimum Lantai Kolam Olak Kondisi Normal
(Sumber: Hasil Perhitungan)

b. Untuk Kondisi Muka Air Banjir

Diketahui:

$$H_x = 13,179 \text{ m (Tabel 5.7)}$$

$$L_x = 45,640 \text{ m (Tabel 5.7)}$$

$$L_w = 52,370 \text{ m (Tabel 5.7)}$$

$$P_x = \left\{ H_x - \left[\frac{L_x}{L_w} \times H_w \right] \right\} \times \gamma_w$$

$$P_x = \left\{ 13,179 - \left[\frac{45,640}{52,370} \times 5,824 \right] \right\} \times 1$$

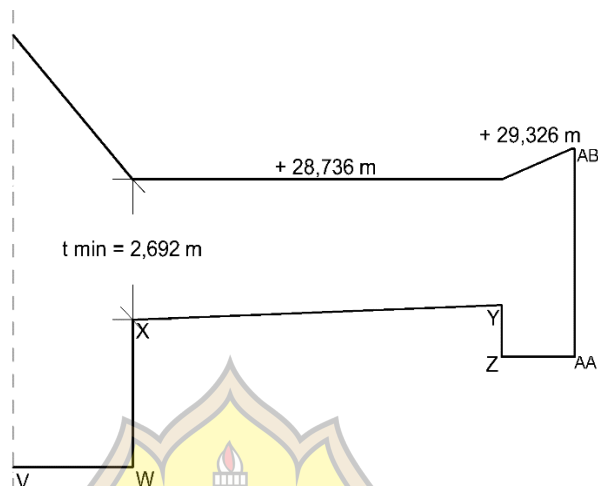
$$P_x = 8,103 \text{ t/m}^2$$

Untuk kondisi air normal $W_x = 3,364$

$$t_{\min} = \frac{s \cdot (P_x - W_x)}{\gamma \text{ batu}}$$

$$t_{\min} = \frac{1,25 \cdot (8,103 - 3,364)}{2,2}$$

$$t_{\min} = 2,692 \text{ m}$$



Gambar 5.34 Tebal Minimum Lantai Kolam Olak Kondisi Banjir
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tebal lantai kolam olak dipilih berdasarkan nilai terbesar perhitungan kondisi normal dan banjir, maka diambil tebal minimal lantai kolam olak sebesar 3,565 m.

5.4.12 Tinjauan Terhadap Gerusan

Rumus yang digunakan adalah:

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

$$f = 1,76 D_m^{1/2}$$

Dimana:

R = kedalaman gerusan di bawah permukaan air banjir (m)

D_m = diameter rata – rata material dasar sungai (mm) (diasumsikan diameter rata – rata 0,5 mm)

Q = debit yang melimpah diatas mercu (m^3/det)

f = faktor lumpur Lacey

Diketahui:

$D_m = 0,05$ mm (lanau berpasir)

$$f = 1,76 \times D_m^{1/2}$$

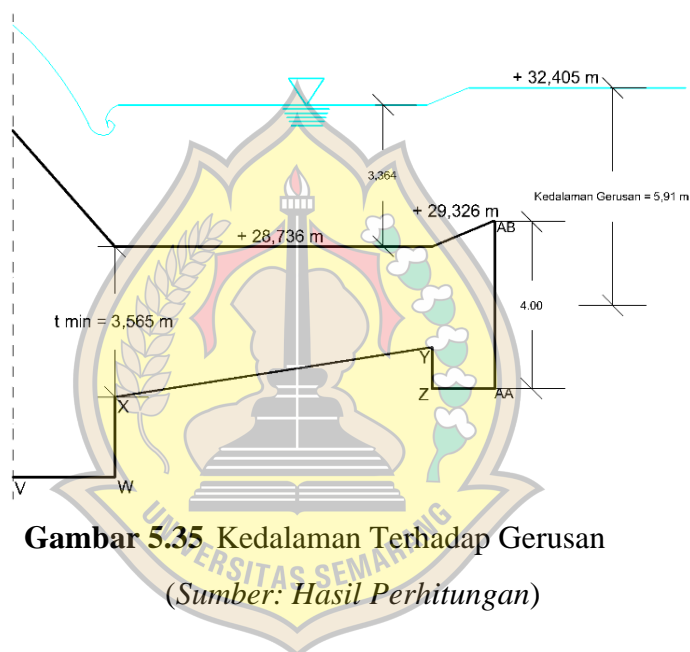
$$f = 1,76 \times 0,05^{1/2} = 0,393$$

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

$$R = 0,47 \left(\frac{231,157}{0.393} \right)^{1/3} = 3,94 \text{ m}$$

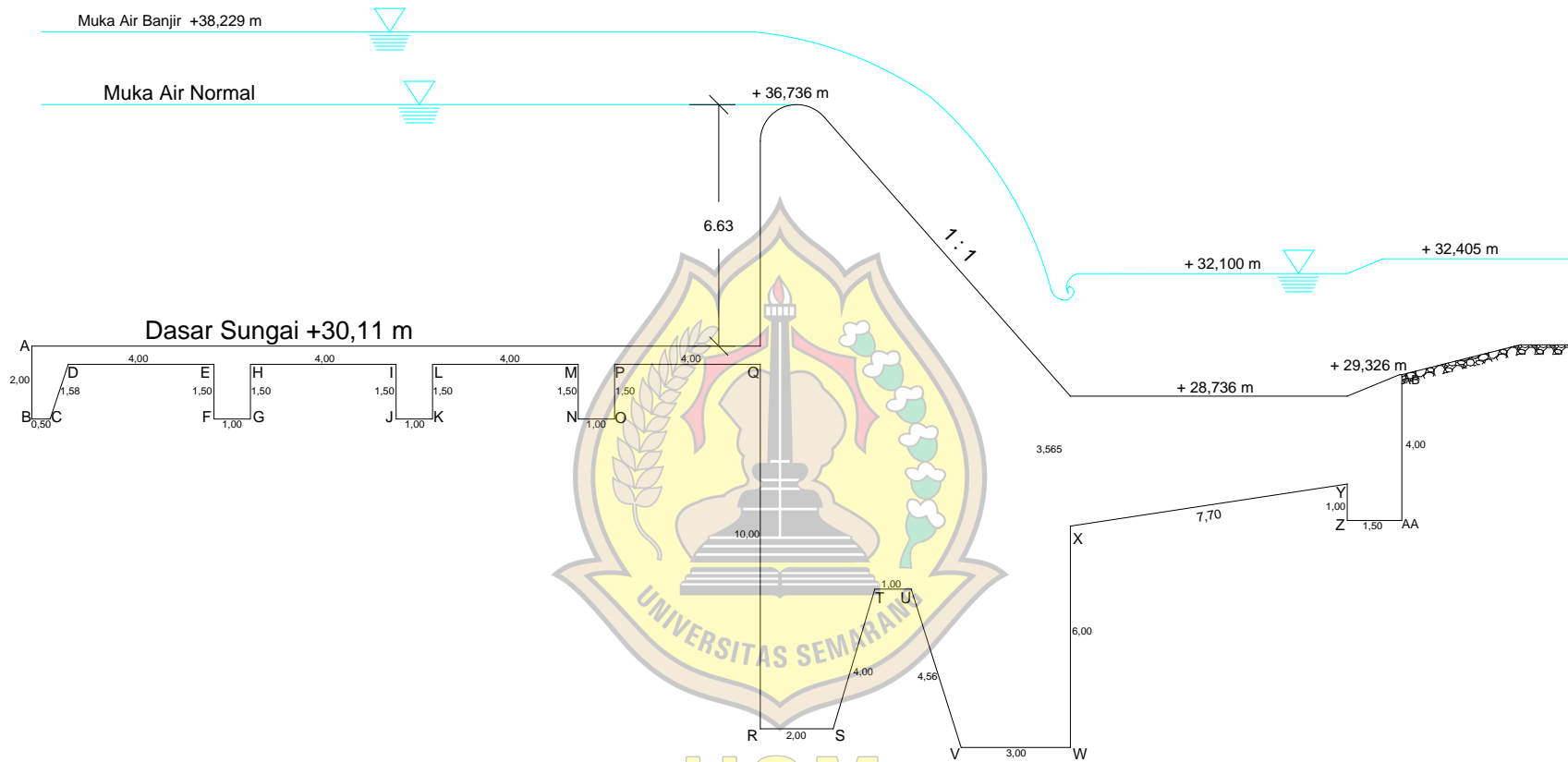
Dengan angka keamanan 1,5 maka $R = 1,5 \times 3,94 = 5,91$

Berdasarkan perhitungan kedalaman gerusan, maka kedalaman pondasi bendung = $5,91 \text{ m} - 3,08 \text{ m} - 4,00 \text{ m} = -1,17 \text{ m}$ (lebih dalam dari gerusan), sehingga konstruksi aman terhadap gerusan.



Gambar 5.35. Kedalaman Terhadap Gerusan
(Sumber: Hasil Perhitungan)

USM



Gambar 5.36 Rencana Dimensi Bendung

(Sumber: Hasil Perhitungan)