

## ANALISIS ULANG STABILITAS KONSTRUKSI BANGUNAN PELIMPAH BENDUNGAN BAGONG TRENGGALEK

Wildan Akbar Zakarya<sup>1,\*</sup>, Dandung Novianto<sup>2,\*</sup>, Taufiq Rochman<sup>3,\*</sup>

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>3</sup>

Koresponden\*, Email: [zakarya.wz71@gmail.com](mailto:zakarya.wz71@gmail.com)<sup>1</sup>, [dandung.novianto@polinema.ac.id](mailto:dandung.novianto@polinema.ac.id)<sup>2</sup>, [taufiq.rochman@polinema.ac.id](mailto:taufiq.rochman@polinema.ac.id)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Bendungan Bagong direncanakan terletak di Kabupaten Trenggalek, tetapi ditemukan perbedaan antara desain awal dengan desain terbaru. Perbedaan desain tersebut terletak pada bangunan pelimpahnya. Dari perbedaan desain tersebut penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: beban-beban yang bekerja pada pelimpah, daya dukung tanah pelimpah, penurunan pelimpah, stabilitas pelimpah, penulangan pelimpah dan metode pelaksanaan pembangunan pelimpah. Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah data *borlog* pada trase pelimpah, data hasil uji lab tanah, desain eksisting, dan data geologi. Daya dukung tanah dihitung berdasarkan nilai N-SPT dan diperoleh  $Q_{all} = 158315,14$  Ton. Penurunan dihitung menggunakan penurunan elastis dan didapatkan penurunan yang terjadi sebesar 1,45 mm. Dari tinjauan stabilitas diperoleh SF Guling, SF geser, dan SF uplift yang diatas SF minimal, sehingga bangunan telah stabil. Struktur pelimpah kemudian dimodelkan menggunakan software Staad.Pro V8i SS6 dan didapatkan tulangan pada pelimpah sebagai berikut: D13-150, D13-200, D16-100, D16-200. Metode pelaksanaan meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan galian & timbunan Kembali, pekerjaan perbaikan tanah dan pekerjaan pembebanan.

**Kata kunci** : pelimpah, daya dukung tanah, penurunan, stabilitas, metode pelaksanaan.

### ABSTRACT

*The Bagong Dam is located in Trenggalek Regency, but differences were found between the initial design and the latest design. The difference in the design lies in the spillway building. From these design differences, this study aims to determine: the loads acting on the spillway, the bearing capacity of the spillway, the settlement of the spillway, the stability of the spillway, the reinforcement of the spillway and the construction method of the spillway. The data needed for this research are borlog data on spillway traces, data from soil lab test results, existing designs, and geological data. The soil bearing capacity was calculated based on the N-SPT value and obtained  $Q_{all} = 158315.14$  Tons. The settlement was calculated using elastic settlement and it was found that the settlement was 1,45 mm. From the obtained Overturning SF, sliding SF, and uplift SF above the minimum SF, so the building has been stable. The spillway structure was then modeled using the Staad.Pro V8i SS6 software and the reinforcement for the spillway was obtained as follows: D13-150, D13-200, D16-100, D16-200. The construction method includes preparatory job, cut & fill job, soil improvement job and concrete job.*

**Keywords** : spillway, bearing capacity, settlement, stability, construction method

### 1. PENDAHULUAN

Bendungan Bagong merupakan bendungan yang direncanakan terletak di Sungai Bagong, Kabupaten

Trenggalek. Dari tahapan studi yang pernah dilakukan dan hasil diskusi teknik antara pihak Konsultan Supervisi dengan pihak Balai Bendungan menyebutkan bahwa desain pelimpah pada perencanaan awal tahun 2014 berbeda dengan

desain pelimpah pada perencanaan terbaru tahun 2018. Pihak Supervisi menyebutkan bahwa perbedaan desain tersebut terletak pada desain hidrolis dan tata letak pelimpah. Maka dari itu guna menunjang pelaksanaan pembangunan Bendungan Bagong, perlu diadakan tinjauan ulang terhadap bangunan pelimpah tersebut. Dari sini, penulis mengangkat urgensi akan tinjauan ulang pelimpah, khususnya dari segi stabilitas sebagai tugas akhir dengan judul “ANALISIS ULANG STABILITAS KONSTRUKSI BANGUNAN PELIMPAH BENDUNGAN BAGONG TRENGGALEK”. Dari latar belakang perbedaan desain tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: beban-beban yang bekerja pada pelimpah, daya dukung tanah pelimpah, penurunan pelimpah, stabilitas pelimpah, penulangan pelimpah dan metode pelaksanaan pembangunan pelimpah.

**2. METODE**

Lokasi pembangunan bendungan Bagong terletak di desa Sumurup dan desa Sengon, kecamatan Bendungan, kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur.



**Gambar 1** Lokasi Proyek Bendungan Bagong Citra Satelit  
Sumber: Google Earth

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder, yaitu data yang didapat dari literatur maupun dari instansi-instansi terkait. Data-data yang digunakan untuk analisis adalah: data *borlog* pada sepanjang trase pelimpah, data hasil uji lab tanah, desain eksisting, dan data geologi.

Selanjutnya data-data diatas diolah melalui tahap-tahap berikut ini:

1. Perhitungan Beban

Beban yang bekerja pada pelimpah meliputi: Berat sendiri/*selfweight*, berat tanah urug, tekanan tanah aktif, berat air, tekanan hidrostatis, gaya angkat/*uplift*, beban gempa, tekanan tanah akibat gempa, tekanan hidrodinamis.

2. Analisis Dimensi

Dimensi pelimpah ditentukan berdasarkan beban-beban yang bekerja mengacu pada SNI 8460:2017.

3. Perhitungan Daya Dukung Ijin ( $q_{all}$ )

Daya dukung ultimit ( $q_u$ ) dihitung dengan rumus Meyerhof:

$$q_u = 8 \cdot N \left( \frac{B+0,3}{B} \right)^2 \tag{1}$$

Daya dukung izin ( $q_{all}$ ) dihitung menggunakan rumus:

$$q_{all} = \frac{q_u}{SF} \tag{2}$$

$$SF = 3 \tag{3}$$

4. Perhitungan Penurunan

Penurunan/*settlement* dihitung menggunakan penurunan elastis:

$$S_e = \frac{qB}{E \cdot BL} (1 - \mu^2) I \tag{4}$$

5. Perhitungan Stabilitas

Stabilitas Guling/*Overturning* dihitung dengan:

$$SF = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_o} \tag{5}$$

Stabilitas Geser/*Sliding* dihitung dengan:

$$SF = \frac{\Sigma V \cdot \tan \phi + c \cdot B}{\Sigma H} \tag{6}$$

Stabilitas terhadap Gaya Angkat/*Uplift* dihitung dengan:

$$SF = \frac{\Sigma V}{\Sigma U} \tag{7}$$

6. Penulangan Pelimpah

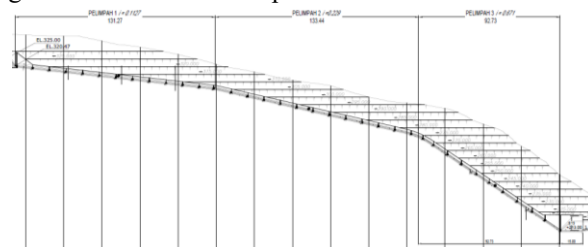
Untuk memudahkan menghiung gaya-gaya dalam pada pelimpah, maka dilakukan pemodelan 3D menggunakan Staad.Pro V8i SS6.

7. Metode Pelaksanaan

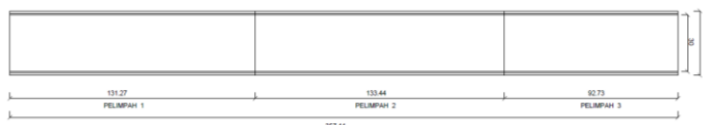
Menyusun metode pelaksanaan pembangunan pelimpah Bendungan Bagong dari pekerjaan awal sampai akhir konstruksi berdasarkan data-data teknis pelimpah, seperti kondisi geologi, jenis tanah, dll.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

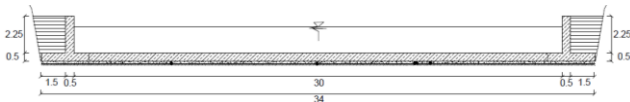
Pelimpah Bendungan Bagong berupa struktur berbentuk saluran dengan Panjang 357,44 m dan lebar 34 m. *Long Section*, Denah dan *cross section* dari pelimpah tersebut sebagaimana **Gambar 2** sampai **Gambar 4** dibawah ini:



**Gambar 2** Long Section Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan



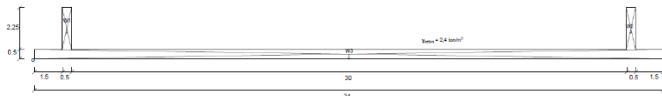
**Gambar 3** Denah Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan



**Gambar 4** Cross Section Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

**Perhitungan Beban**

Berat Sendir/*selweight* (W)



**Gambar 5** Berat Sendiri Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

$$\gamma_{beton} = 2,4 \text{ Ton}/m^3$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = 16513,72 \text{ Ton}$$

$$M = W_1 \cdot \text{lengan momen} + W_2 \cdot \text{lengan momen} + W_3 \cdot \text{lengan momen} = 32812,99 \text{ Ton} \cdot m$$

Berat urugan/*backfill* (W<sub>s</sub>)



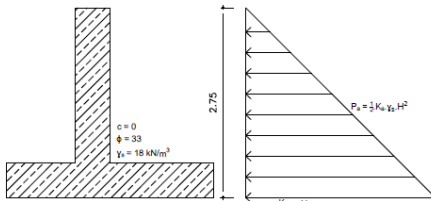
**Gambar 6** Berat Urugan Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

$$\gamma_s = 1,8 \text{ Ton}/m^3$$

$$W_{s \text{ total}} = W_{s1} + W_{s2} = 4342,89 \text{ Ton}$$

$$M = W_{s1} \cdot \text{lengan momen} + W_{s2} \cdot \text{lengan momen} = 73785,8 \text{ Ton} \cdot m$$

Tekanan Tanah Aktif (P<sub>a</sub>)



**Gambar 7** Tekanan Tanah Aktif Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

$$\gamma_s = 1,8 \text{ ton}/m^3$$

$$\phi = 33$$

$$\beta = 90$$

$$\delta = \frac{1}{2} \phi = \frac{1}{2} \cdot 33 = 16,5$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[ \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)} \right]^2}$$

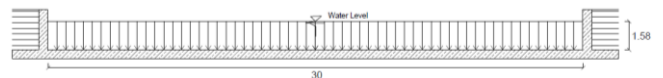
$$= \frac{\sin^2(33 + 90)}{\sin^2(90) \sin(90 - 16,5) \left[ \frac{\sin(33 + 16,5) \sin(33 - 0)}{\sin(90 - 16,5) \sin(0 + 90)} \right]^2}$$

$$= 0,27$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 0,27 \cdot 1,8 \cdot 2,75^2 \cdot 357,44 = 649,82 \text{ Ton}$$

$$M_{Pa} = P_a \cdot \text{lengan momen} = 591,33 \text{ Ton} \cdot m$$

Berat Air (W<sub>a</sub>)



**Gambar 8** Berat Air Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

$$H_{air} = 1,58 \text{ m}$$

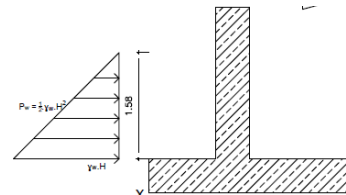
$$\gamma_{air} = 1 \text{ Ton}/m^3$$

$$L_{pelimpah 1} = 131,27 \text{ m}$$

$$W_a = H_{air} \cdot \gamma_{air} \cdot L \cdot B = 6222,19 \text{ Ton}$$

$$M_{Wa} = W_a \cdot \text{lengan momen} = 105777,36 \text{ Ton} \cdot m$$

Tekanan Hidrostatik (P<sub>w</sub>)



**Gambar 9** Tekanan Hidrostatik Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

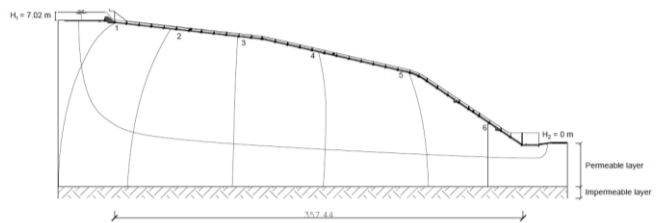
$$\gamma_{air} = 1 \text{ Ton}/m^3$$

$$H_{air} = 1,58 \text{ m}$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2 \cdot L = 446,15 \text{ Ton}$$

Gaya Angkat/*uplift* (U)

Untuk menghitung gaya angkat/*uplift* akibat rembesan maka perlu Digambar terlebih dahulu *flownet* sebagai berikut:



**Gambar 10** *Flownet* Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

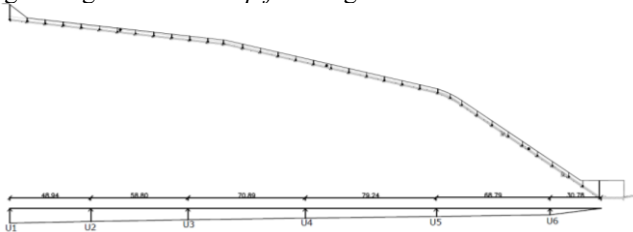
$$\Delta H = H_1 - H_2 = 7,02 - 0 = 7,02 \text{ m}$$

$$N_d = 7$$

$$H = \frac{\Delta H}{N_d} = \frac{7,02}{7} = 1$$

$\gamma_{air} = 1 \text{ Ton/m}^3$

Dengan diagram tekanan *uplift* sebagai berikut



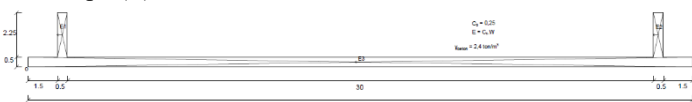
**Gambar 11** Diagram *Uplift* Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

$$\begin{aligned}
 U_1 &= (7,02) - (1 \cdot 1) \cdot 1 = 6,02 \text{ Ton/m}^2 \\
 U_2 &= (7,02) - (1 \cdot 2) \cdot 1 = 5,01 \text{ Ton/m}^2 \\
 U_3 &= (7,02) - (1 \cdot 3) \cdot 1 = 4,01 \text{ Ton/m}^2 \\
 U_4 &= (7,02) - (1 \cdot 4) \cdot 1 = 3,01 \text{ Ton/m}^2 \\
 U_5 &= (7,02) - (1 \cdot 5) \cdot 1 = 2,01 \text{ Ton/m}^2 \\
 U_6 &= (7,02) - (1 \cdot 6) \cdot 1 = 1 \text{ Ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Selanjutnya *uplift* total adalah luasan total dari diagram tekanan diatas sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 U_{total} &= \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \cdot t\right) + \left(\frac{U_2 + U_3}{2} \cdot t\right) + \left(\frac{U_3 + U_4}{2} \cdot t\right) \\
 &\quad + \left(\frac{U_4 + U_5}{2} \cdot t\right) + \left(\frac{U_5 + U_6}{2} \cdot t\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot U_6 \cdot t\right) \\
 &= \left(\frac{6,02 + 5,01}{2} \cdot 49,03\right) + \left(\frac{5,01 + 4,01}{2} \cdot 58,71\right) \\
 &\quad + \left(\frac{4,01 + 3,01}{2} \cdot 70,78\right) + \left(\frac{3,01 + 2,01}{2} \cdot 2,64\right) \\
 &= 1101,7 \text{ Ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban Gempa (E)



**Gambar 12** Beban Gempa Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

Nilai koefisien gempa ( $C_s$ ) yang dipakai untuk menghitung geser dasar gempa adalah = 0,25

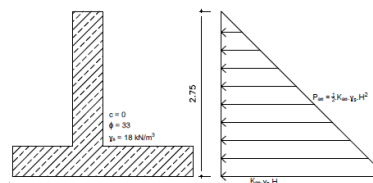
Maka beban gempa (E) dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= C_s \cdot W_1 = 241,27 \text{ Ton} \\
 M_{E_1} &= 241,27 \cdot 1,63 = 393,27 \text{ Ton.m} \\
 E_2 &= C_s \cdot W_2 = 241,27 \text{ Ton} \\
 M_{E_2} &= 241,27 \cdot 1,63 = 393,27 \text{ Ton.m} \\
 E_3 &= C_s \cdot W_3 = 3645,88 \text{ Ton} \\
 M_{E_3} &= 3645,88 \cdot 0,25 = 911,47 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

Sehingga beban gempa total didapat:

$$\begin{aligned}
 E_{total} &= E_1 + E_2 + E_3 = 4128,43 \text{ Ton} \\
 M_{E_{total}} &= M_{E_1} + M_{E_2} + M_{E_3} = 1698,01 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

Tekanan Tanah Akibat Gempa ( $P_{ac}$ )



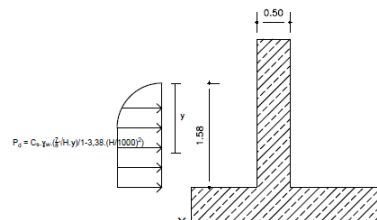
**Gambar 13** Tekanan Tanah Gempa Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

$$\begin{aligned}
 k_h &= \frac{\text{percepatan gempa horizontal}}{g} = \frac{1,5}{9,81} = 0,15 \\
 \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0,15}{1 - 0}\right) = 6,6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_{ae} &= \frac{\sin^2(\phi + \beta - \theta)}{\cos\theta \sin^2\beta \sin(\beta - \theta - \delta) \left[ \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - \alpha)}{\sin(\beta - \delta - \theta) \sin(\alpha + \beta)} \right]^2} \\
 &= \frac{\sin^2(33 + 90 - 6,6)}{\cos(6,6) \sin^2(90) \sin(87 - 6,6 - 16,5) \left[ \frac{\sin(33 + 16,5) \sin(33 - 6,6 - 0)}{\sin(90 - 16,5 - 6,6) \sin(0 + 90)} \right]^2} \\
 &= 0,34
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{ae} &= \frac{1}{2} \cdot K_{ae} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot L = 828,43 \text{ Ton/m}^2 \\
 M_{P_{ae}} &= P_{ae} \cdot \text{lengan momen} = 759,42 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

Tekanan Hidrodinamis ( $P_d$ )



**Gambar 14** Tekanan Hidrodinamis Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

$$\begin{aligned}
 P_d &= C_s \gamma_w \frac{\frac{7}{8} \sqrt{H \cdot y}}{1 - 3,38 \left(\frac{H}{1000}\right)^2} \cdot L \\
 &= 0,25 \cdot 1 \cdot \frac{\frac{7}{8} \sqrt{1,58 \cdot 1,05}}{1 - 3,38 \left(\frac{1,58}{1000}\right)^2} \cdot 357,44 \\
 &= 100,71 \text{ Ton/m}^2 \\
 M_{P_d} &= P_d \cdot \text{lengan momen} = 103,73 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya beban-beban diatas dikombinasikan pembebanan diatas sebagai berikut:

1. Kosong; tidak gempa ( $W + W_s + P_a$ )
 
$$\begin{aligned}
 \Sigma V &= W + W_s = 20856,62 \text{ Ton} \\
 \Sigma H &= P_{a1} - P_{a2} = 0 \\
 \Sigma M_R &= M_w + M_{W_s} = 106598,79 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma M_O = M_{Pa1} - M_{Pa2} = 0$$

2. Banjir; tidak gempa ( $W + W_s + Pa + Wa + P_w + U$ )

$$\Sigma V = W + W_s + W_a - U = 36697,58 \text{ Ton}$$

$$\Sigma H = (P_{a1} + P_{w2}) - (P_{a2} + P_{w1}) = 0$$

$$\Sigma M_R = M_w + M_{W_s} + M_{W_a} = 394623,94 \text{ Ton.m}$$

$$\Sigma M_O = (M_{Pa1} + M_{Pw1}) - (M_{Pa2} + M_{Pw2}) = 0$$

3. Kosong; gempa ( $W + W_s + P_{ae} + E$ )

$$\Sigma V = W + U_{rug} = 20856,62 \text{ Ton}$$

$$\Sigma H = E + P_{ae} - P_{a2} = 4307,03 \text{ Ton}$$

$$\Sigma M_R = M_w + M_{urug} = 106598,79 \text{ Ton.m}$$

$$\Sigma M_O = M_E + M_{P_{ae}} - M_{P_{a2}} = 1861,74 \text{ Ton.m}$$

4. Banjir; gempa ( $W + W_s + P_{ae} + P_d + Wa + U + E$ )

$$\Sigma V = W + W_s + W_a - U = 36697,58 \text{ Ton}$$

$$\Sigma H = (E + P_{ae} + P_d) - (P_{a2} + P_{w1})$$

$$= 3961,59 \text{ Ton}$$

$$\Sigma M_R = M_w + M_{W_s} + M_{W_a} = 394623,94 \text{ Ton.m}$$

$$\Sigma M_O = (M_E + M_{P_{ae}} + M_{P_d}) - (M_{P_{a2}} + M_{P_{w1}}) = 1510,4 \text{ Ton.m}$$

### Perhitungan Daya Dukung Tanah

Dari kombinasi beban di atas diperoleh beban vertical ( $Q_v$ ) maksimum terdapat pada kombinasi Banjir; tidak gempa ( $W + W_s + Pa + Wa + P_w + U$ ) sebesar  $Q_v = 36697,58 \text{ Ton}$ .

Dari data *borlog* diketahui bahwa elevasi dasar saluran berada pada kedalaman  $\pm 20\text{m}$  dengan nilai N-SPT = 48. Selanjutnya dapat dihitung daya dukung tanah dengan rumus Meyerhof sebagai berikut:

$$q_u = 8N \left( \frac{B + 0,3}{B} \right)^2 = 8 \cdot 48 \left( \frac{34 + 0,3}{34} \right)^2$$

$$= 390,81 \text{ kN/m}^2 = 39,08 \text{ Ton/m}^2$$

$$q_{all} = \frac{q_u}{SF} = \frac{39,08}{3} = 13,02 \text{ Ton/m}^2$$

$$Q_{all} = q_{all} \cdot BL = 13,02 \cdot 34 \cdot 357,44 = 158315,14 \text{ Ton}$$

Didapatkan  $Q_{all} > Q_v$ , sehingga daya dukung tanah di bawah struktur peluncur telah mencukupi

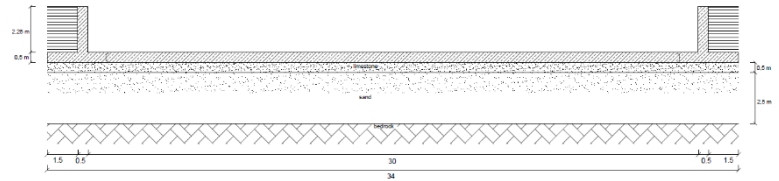
**Tabel 1** Daya Dukung Pelimpah

No	$Q_{all}$	$Q_v$	Satuan	Cek
1	158315,14	36697,58	Ton	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

### Perhitungan Penurunan

Kondisi tanah dasar pelimpah adalah lapisan *limestone*/batu gamping setebal  $\pm 0,5 \text{ m}$  dan lapisan pasir setebal  $2,5 \text{ m}$  sebagaimana gambar di bawah ini:



**Gambar 15** Lapisan Tanah Dasar Pelimpah

Sumber: Hasil Perhitungan

Akan tetapi hanya didapatkan data-data tanah pada lapisan *limestone* sebagai berikut:

$$E = 59900 \text{ Ton/m}^2 \text{ (data uji lab)}$$

$$\mu = 0,33 \text{ (Sivakugan, Shukla \& Das, 2013:89)}$$

$$I = 1,3 \text{ (Das \& Sivakugan, 2019:341)}$$

Kemudian dihitung besarnya penurunan sebagai berikut:

$$S_e = \frac{qB}{E \cdot BL} (1 - \mu^2) I$$

$$= \frac{36697,58 \cdot 34}{59900 \cdot 34 \cdot 357,44} \cdot (1 - 0,33^2) \cdot 1,3$$

$$= 0,00199 \text{ m} = 1,99 \text{ mm}$$

$$S_{ijin} = 25,4 \text{ mm}$$

Didapatkan bahwa  $S_e < S_{ijin}$  dengan nilai  $S_e$  yang jauh dibawah  $S_{ijin}$ , sehingga penurunan pada struktur pelimpah masih dalam batas yang diizinkan:

**Tabel 2** Penurunan Pelimpah

No	$S_{ijin}$	$S_e$	Satuan	Cek
1	25,4	1,99	mm	Aman

Sumber: Hasil Perhitungan

### Periksa Stabilitas

Stabilitas ditinjau pada kondisi yang terdapat beban gempa yang bekerja, yaitu kombinasi Kosong; gempa dan Banjir; gempa dengan *Safety Factor* (SF) = 1,2.

1. Kosong; gempa ( $W + W_s + Pa + E$ )

Periksa terhadap Guling/*overturning*

$$SF = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_O} = \frac{106598,79}{1861,74} = 57,26 > 1,2$$

Periksa terhadap Geser/*sliding*

$$C = 370 \text{ Ton/m}^2$$

$$\phi = 64,6$$

$$B = 34 \text{ m}$$

$$SF = \frac{\Sigma V \cdot \tan \phi + C \cdot B}{\Sigma H}$$

$$= \frac{20856,62 \cdot \tan 64,6 + 370 \cdot 34}{4307,03}$$

$$= 13,12 > 1,2$$

2. Banjir; gempa ( $W + W_s + P_{ae} + P_d + Wa + U + E$ )

Periksa terhadap Guling/*overturning*

$$SF = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_O} = \frac{394623,94}{1510,4} = 261,27 > 1,2$$



Periksa terhadap Geser/sliding

$$C = 370 \text{ Ton/m}^2$$

$$\phi = 64,6$$

$$B = 34 \text{ m}$$

$$SF = \frac{\Sigma V \cdot \tan \phi + C \cdot B}{\Sigma H} = \frac{36697,58 \cdot \tan 64,6 + 370 \cdot 34}{3961,59} = 22,68 > 1,2$$

Periksa terhadap Uplift

$$U = 1101,7 \text{ Ton}$$

$$SF = \frac{\Sigma V}{U} = \frac{37799,28}{1101,7} = 33,31 > 1,2$$

Hasil dari perhitungan stabilitas terhadap guling, geser, dan uplift pada kombinasi-kombinasi beban diatas dapat direkapitulasi dalam bentuk tabel seperti **Tabel 3** berikut:

**Tabel 3** Rekapitulasi Stabilitas Pelimpah

SF (1,2)	Kosong; gempa	Banjir; gempa	Cek
Guling	57,26	261,27	Aman
Geser	13,12	22,68	Aman
Uplift	-	33,31	Aman

Sumber: Hasil Perhitungan

**Penulangan**

Kemudian bangunan dimodelkan menggunakan Staad.Pro V8i SS6 sebagaimana dibawah ini:



**Gambar 16** Modeling 3D Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

Pembebanan sesuai SNI 1727:2018 dengan kombinasi:

- 1.2D + 1.6H
- 1.2D + 1.6H + 1.2F
- 1.2D + 1.6H + 1E
- 1.2D + 1.6H + 1.2F + 1E

Dimana:

- D = beban mati
- H = beban akibat tekanan tanah lateral
- F = beban akibat fluida
- E = beban gempa

Setelah dilakukan run analyze menggunakan Staad.pro, didapatkan penulangan sebagai berikut:

1. Penulangan Dinding Vertikal/stem  
Tulangan tarik (arah y) = D16-100

Tulangan tekan (arah y) = D16-200

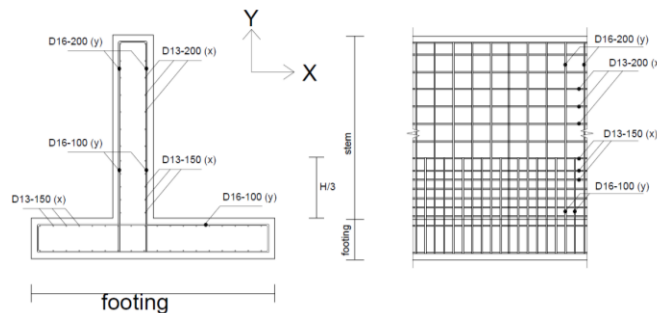
Tulangan arah x = D13-150

2. Penulangan Base Slab/footing

Tulangan arah y = D16-100

Tulangan arah x = D13-150

Setelah jumlah tulangan diketahui, selanjutnya dapat digambar tulangan pada struktur dinding pelimpah sebagai berikut:



**Gambar 17** Detail Tulangan Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

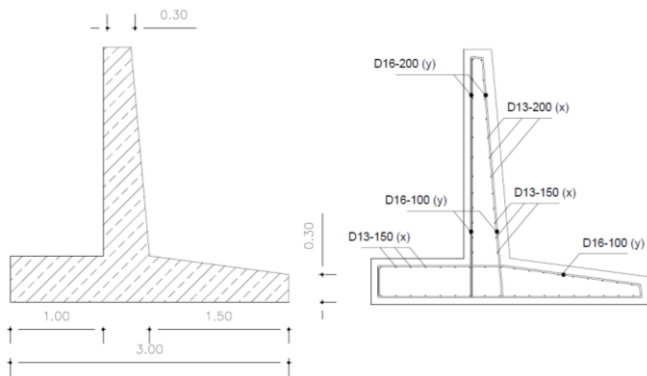
Perincian dimensi elemen beton pelimpah dapat dilihat pada **Tabel 4** di bawah ini:

**Tabel 4** Elemen Beton Pelimpah

No	Item	Dimensi (mm)			Tulangan	
		b	h	d'	Arah x	Arah y
1	Stem (1/3 bawah)				D13-150	D16-100
2	Stem (atas)	1000	500	75	D13-200	D16-200
3	Footing				D13-150	D16-100

Sumber: Hasil Perhitungan

Desain dinding pelimpah juga dapat dimodifikasi dengan memvariasikan ketebalan penampang dinding sebagaimana gambar berikut:



**Gambar 18** Desain Alternatif Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

**Metode Pelaksanaan**

Metode pelaksanaan pada pelimpah secara garis besar meliputi: Pekerjaan Persiapan, Pekerjaan Galian, Pekerjaan Perbaikan Tanah Dasar dan Pekerjaan Beton.

1. Pekerjaan Persiapan  
Pekerjaan Persiapan berupa pembuatan jalan kerja dari direksi keet menuju ke lokasi pekerjaan. Jalan ini

berfungsi sebagai jalur mobilitas peralatan berat selama pelaksanaan pekerjaan pelimpah seperti ditunjukkan **Gambar 19** di bawah ini:

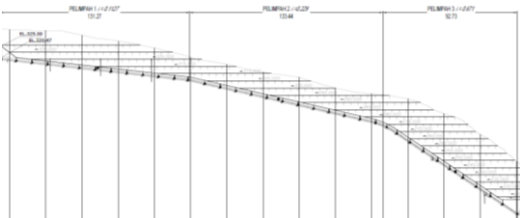


**Gambar 19** Jalan Kerja  
Sumber: Hasil Perhitungan

Jalan Kerja direncanakan berupa jalan tanah biasa (tanpa perkerasan) dengan lebar 7 m menuju arah hulu pelimpah dan juga area hilir pelimpah.

2. Pekerjaan Galian

Pekerjaan Galian diuraikan menjadi beberapa pekerjaan seperti: pekerjaan pembersihan, pekerjaan galian mekanis dan peledakan. Pekerjaan galian tanah biasa dilaksanakan dengan menggunakan *excavator/backhoe*. Sedangkan galian batuan dilaksanakan dengan menggunakan *hydraulic breaker*, selain itu juga dilakukan penggalian dengan menggunakan peledakan dengan bahan dinamit.



**Gambar 20** Penampang Memanjang Galian  
Sumber: Hasil Perhitungan

Galian pada trase pelimpah dimulai dari elevasi tertinggi setahap demi setahap ke arah elevasi yang lebih rendah, sampai tercapai elevasi terendah (dasar saluran pelimpah). Material galian pilihan yang akan digunakan sebagai *filling* akan diangkut ke *stockpile*.

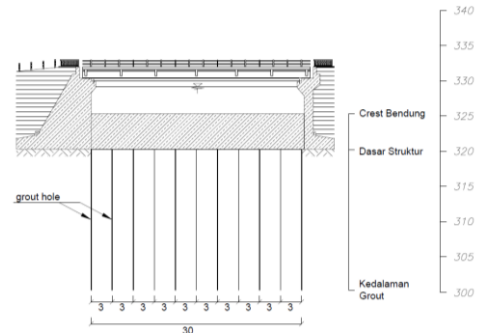
3. Pekerjaan Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah pada dasar pada pelimpah adalah berupa *curtain grouting*. *Curtain grouting* ini dilakukan pada bagian hulu pelimpah (di bawah struktur bendung/weir).

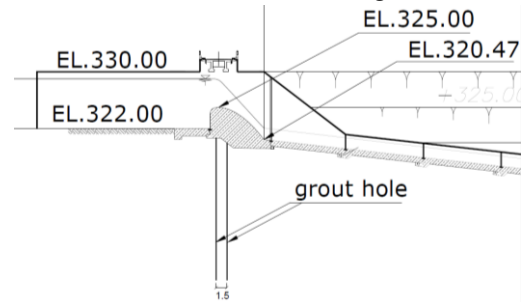


**Gambar 21** Denah Rencana Grouting  
Sumber: Hasil Perhitungan

Lubang *grout* direncanakan pada interval 3 m pada dua garis parallel dengan jarak 1,5 m sebagaimana berikut:



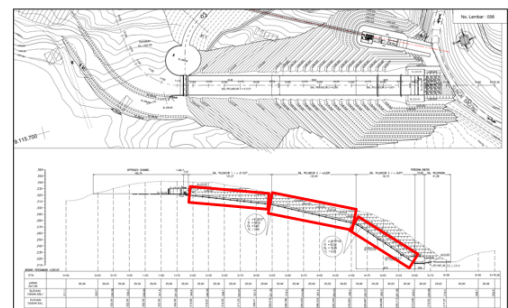
**Gambar 22** Potongan A-A Grouting  
Sumber: Hasil Perhitungan



**Gambar 23** Potongan B-B Grouting  
Sumber: Hasil Perhitungan

4. Pekerjaan Beton

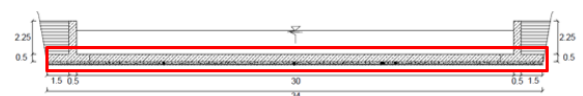
Beton untuk pelimpah menggunakan beton K350, diproduksi dari *batching plant* yang berada dekat lokasi bendungan, diangkut ke lokasi menggunakan *mixer truck* 20 ton. Pengecoran beton dilakukan dengan *concrete pump*. Pekerjaan beton pada sepanjang pelimpah dibagi menjadi beberapa segmen:



**Gambar 24** Pembagian Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

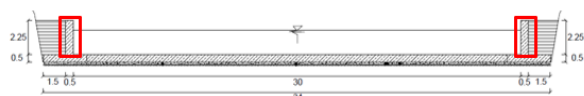
Pengecoran dilakukan dalam dua tahapan, yaitu: Pengecoran Pelat Lantai Pelimpah sebagaimana

**Gambar 25** di bawah ini



**Gambar 25** Cor Pelat Lantai Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah beton pelat lantai mengeras, maka tahap selanjutnya adalah pengecoran pada dinding pelimpah sebagaimana **Gambar 26** di bawah ini



**Gambar 26** Cor Dinding Pelimpah  
Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4. KESIMPULAN

Dari semua hasil analisis pada tugas akhir ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan beban serta kombinasinya didapatkan beban vertical ( $Q_v$ ) maksimum pada pelimpah adalah sebesar = 36697,58Ton
2. Dari perhitungan daya dukung tanah pada pelimpah, didapatkan beban yang diijinkan ( $Q_{all}$ ) adalah sebesar = 158315,14 Ton
3. Dari perhitungan penurunan elastis ( $S_e$ ) pada pelimpah, diperoleh bahwa penurunan yang terjadi sebesar = 1,99 mm
4. Dengan menggunakan minimal SF = 1,2 telah diperoleh stabilitas pelimpah terhadap geser, guling dan *uplift* dengan nilai SF diatas nilai SF minimum yang disyaratkan.
5. Dari pemodelan pelimpah menggunakan *software* Staad.Pro V8i SS6 dan perhitungan tulangan, telah didapatkan penulangan untuk pelimpah adalah:

**Tabel 5** Penulangan Pelimpah

No	Item	Dimensi (mm)			Tulangan	
		b	h	d'	Arah x	Arah y
1	Stem (1/3 bawah)				D13-150	D16-100
2	Stem (atas)	1000	500	75	D13-200	D16-200
3	Footing				D13-150	D16-100

Sumber: Hasil Perhitungan

6. Dalam pelaksanaan pembangunan pelimpah memerlukan jalan kerja dari area direksi keet menuju tempat kerja.. Pekerjaan galian pada pelimpah terdiri dari galian mekanis dan galian dengan peledakan. Perbaikan tanah dasar menggunakan *grouting*. Pembetonan menggunakan beton K350 dan tulangan  $f_y = 420$  MPa.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] B. M. Das and N. Sivakugan, Principle of Foundation Engineering, Boston: Cengage, 2019.  
 [2] B. M. Das and K. Sobhan, Principles of Geotechnical Engineering, Boston: Cengage, 2018.  
 [3] S. Nagaratnam, S. K. Shukla and B. M. Das, Rock Mechanics: an introduction, Boca Raton: CRC Press, 2013.

[4] S. H. Chen, Computational Geotechnic and Hydraulic Structures, Singapore: Springer, 2019.  
 [5] H. C. Hardiyatmo, Teknik Fondasi 1, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1996.  
 [6] D. C. Wyllie, Foundations on Rock, London: E&FN Spon, 1999.  
 [7] H. Brooks, Basics of Retaining Wall Design: a guide for the practicing engineer, Corona del Mar: HBA Publication, 2010.  
 [8] R. B. Jansen, Advanced Dam Engineering For Design, Construction, and Rehabilitation, New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.  
 [9] P. Novak, A. Moffat, C. Nalluri and R. Narayanan, Hydraulic Structures, New York: Taylor & Francis, 2007.  
 [10] A. Pawlik, S. Pagliara and J. Hradecky, Open Channel Hydraulics, Hydraulic Structures and Fluvial Geomorphology: For Engineers, Geomorphologist, and Physical Geographer, Boca Raton: CRC Press, 2017.  
 [11] S. Mazumder, Flow Transition Design in Hydraulic Structures, Boca Raton: CRC Press, 2020.  
 [12] C. James, Hydraulic Structures, Cham: Springer, 2020.  
 [13] A. K. Chopra, Earthquake Engineering For Concrete Dams, UK: John Wiley & Sons, 2020.  
 [14] L. Tanchev, Dams and Appurtenant Hydraulic Structures, London: Taylor & Francis Group, 2014.  
 [15] Standar Perencanaan Irigasi 2013, *Kriteria Perencanaan: Bangunan Utama (Head Works) KP-02*, Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013.  
 [16] Standar Perencanaan Irigasi 2013, *Kriteria Perencanaan: Parameter Bangunan KP-06*, Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013.  
 [17] SNI 8460:2017, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2017.  
 [18] SNI 1726: 2019, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.  
 [19] SNI 1727: 2018, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2018.  
 [20] SNI 2847: 2019, *Persyaratan beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.  
 [21] SNI 2052: 2017, *Baja Tulangan Beton*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2017.