

Perencanaan Sabo Dam Tipe Terbuka (Tipe Lubang) Sebagai Bangunan Pengendali Sedimen Gunung Semeru Di Sungai Mujur Kabupaten Lumajang

Restu Dyah Siam Pratiwi, Wasis Wardoyo, Nastasia Festy M

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

Email : wasis@ce.its.ac.id dan nastasia@ce.its.ac.id

Abstrak - Gunung Semeru merupakan gunung api aktif di Indonesia, yang terletak di Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang, Jawa Timur. Letusan Gunung Semeru berlangsung singkat dan relatif kecil, namun bekerja terus menerus setiap 10 sampai 20 menit sekali sepanjang tahun. Letusan tersebut menghasilkan material berupa abu vulkanik, pasir, dan kerikil. Material hasil letusan jika bercampur dengan air hujan maka akan mengakibatkan terjadinya banjir lahar dingin. Sungai Mujur merupakan salah satu sungai yang berhulu di Gunung Semeru, sehingga Sungai Mujur memiliki potensi besar terjadi banjir lahar dingin. Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini direncanakan Sabo Dam dengan tujuan sabo dam tersebut mampu menahan sedimen yang dihasilkan oleh banjir lahar dingin dengan picuan hujan rencana periode ulang 50 tahun. Pada Tugas Akhir ini direncanakan sabo dam dengan tipe terbuka (tipe lubang).

Perencanaan sabo dam dilakukan dengan menganalisa data hidrologi berupa curah hujan yang menghasilkan curah hujan rencana periode ulang 50 tahun. Curah hujan rencana tersebut digunakan untuk mendapatkan besar debit banjir rencana periode ulang 50 tahun. Dalam perhitungan debit banjir rencana digunakan dua kondisi yaitu kondisi banjir tanpa sedimen dan kondisi banjir dengan sedimen. Debit banjir dengan sedimen diperoleh dari debit banjir dikalikan dengan konsentrasi sedimen. Perhitungan tubuh sabo dam yang meliputi perencanaan *main dam*, apron dan sub dam dilakukan berdasarkan debit banjir rencana dengan sedimen periode ulang 50 tahun. Sabo dam direncanakan menggunakan material beton dengan kemiringan bagian hulu 1:1 sedangkan bagian hilir dengan kemiringan 1:0.6.

Dari hasil analisa didapatkan tinggi efektif *main dam* 10.5 m, kedalaman pondasi *main dam* 2 m serta volume tampungan total sebesar 321670.6 m³. Perhitungan tubuh sabo dam tersebut aman terhadap gaya-gaya yang terjadi baik pada kondisi muka air normal maupun pada kondisi muka air banjir.

Kata kunci : Apron, Main Dam, Sabo Dam Sungai Mujur, Sub Dam

I. PENDAHULUAN

Gunung Semeru merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia, yang terletak di Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang, Jawa Timur. Aktivitas berupa letusan Gunung Semeru terdapat di kawah Jonggring Saloko yang terletak di sebelah Tenggara puncak Mahameru. Letusan-letusan yang terjadi berlangsung singkat dan relatif kecil, namun bekerja terus menerus setiap 10 sampai 20 menit sekali sepanjang tahun (BBWS, 2013)^[1]. Material hasil letusan Gunung Semeru berupa abu vulkanik, pasir, kerikil, pasir dan kerikil yang pada suatu saat akan longsor turun ke

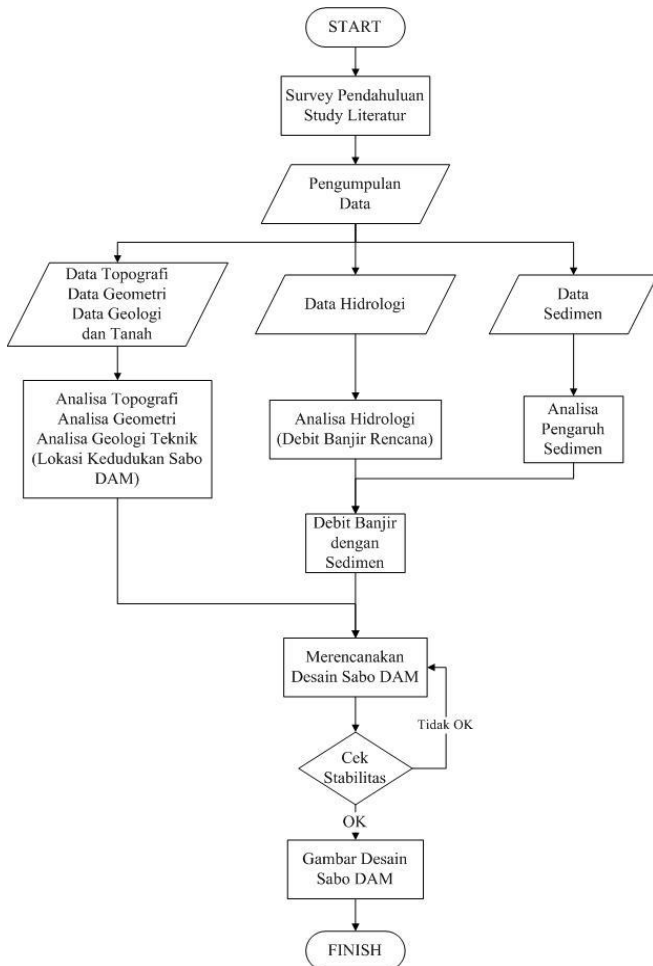
bawah atau berhenti di lereng-lereng sekitar puncak. Ketika hujan lebat, maka material hasil letusan tersebut akan bercampur dengan air yang kemudian menjadi banjir lahar dingin. Banjir lahar dingin Gunung Semeru yang tercatat sejak tahun 1909, mengakibatkan kerugian yang sangat besar. Kerugian tersebut diantaranya kerusakan pada prasarana dan sarana milik pemerintah, tenggelamnya lahan pertanian, serta kerusakan pada pemukiman penduduk sehingga menimbulkan pengungsian secara besar-besaran.

Sungai Mujur merupakan salah satu sungai yang berhulu di Gunung Semeru, sehingga Sungai Mujur memiliki potensi besar terjadi banjir lahar. Oleh karena itu, diperlukan Sabo Dam sebagai bangunan pengendali sedimen di Sungai Mujur yang mampu menampung sedimen yang diakibatkan oleh banjir lahar. Dalam Tugas Akhir ini, direncanakan Sabo Dam dengan tipe terbuka (tipe lubang). Kelebihan Sabo Dam tipe terbuka, aliran lahar akan tertahan sementara kemudian secara berangsur-angsur sedimen yang terendap akan mengalir ke hilir pada saat banjir besar maupun banjir kecil. Dengan mengalirnya sedimen ke hilir secara perlahan, maka akan mengurangi jumlah sedimen yang tertampung sehingga Sabo Dam tersebut masih mampu untuk menahan sedimen akibat banjir lahar berikutnya.

Sabo Dam merupakan salah satu upaya untuk mengendalikan atau mengamankan erosi atau banjir lahar dengan cara menampung sedimen yang dihasilkan oleh banjir lahar tersebut (Sudiarti, 2006)^[2]. Secara alami, aliran lahar akan berhenti sendiri apabila kemiringan dasar sungai berubah menjadi setengahnya atau apabila lebar sungai berubah menjadi dua kalinya. Daerah tersebut biasanya merupakan daerah kipas alluvial, yang merupakan lokasi dimulainya pekerjaan sabo (Cahyono, 2000)^[3].

II. METODOLOGI

Urutan penyelesaian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini meliputi survei pendahuluan, studi literatur, pengumpulan data, perumusan konsep pengerjaan berupa analisa data dan perhitungan, serta kesimpulan yang didapat dari hasil analisa data dan perhitungan tersebut. Urutan penyelesaian tersebut dapat dilihat pada bagan sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Metodologi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Lokasi Sabo Dam

Berdasarkan pertimbangan kemiringan yang sesuai untuk pembangunan sabo dam maka didapat lokasi sabo dam pada kecamatan Pasrujambe.

B. Perhitungan Hujan Rata-rata

Perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode *Thiessen Polygon* untuk mendapatkan curah hujan maksimum daerah aliran sungai Mujur. Diketahui stasiun hujan yang menjadi stasiun hujan rencana adalah stasiun hujan Argosuko, Besuk Kembar, Kamar A, Besuk Sat, dan Wonorengo, dengan data curah hujan mulai tahun 2003 hingga 2015. Hasil dari perhitungan menggunakan metode *Thiessen Polygon* dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Hujan Rata-rata

No.	Tahun	Re rata Maksimum (mm)
1	2003	152.47
2	2004	105.92
3	2005	49.45
4	2006	85.85
5	2007	91.38
6	2008	80.43
7	2009	176.47
8	2010	99.05
9	2011	160.82
10	2012	120.44
11	2013	115.44
12	2014	73.95
13	2015	57.73

C. Perhitungan Distribusi Frekuensi

Perhitungan distribusi frekuensi dilakukan untuk mendapatkan curah hujan rencana. Dari hasil uji parameter statistik dan sifat-sifat khas dari distribusi teoritis maka distribusi yang paling sesuai untuk digunakan adalah *Distribusi Log Pearson Tipe III* dan *Pearson Tipe III* yang mempunyai nilai parameter yang *fleksible*.

D. Uji Kecocokan Distribusi

Setelah diketahui jenis distribusi statistik yang sesuai untuk digunakan maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji kecocokan distribusi. Dari perhitungan didapatkan persamaan *Distribusi Log Pearson Tipe III* dan *Distribusi Pearson Tipe III* memenuhi kedua uji kecocokan yaitu *Chi Kuadrat* dan *Uji Smirnov – Kolmogorof*.

E. Perhitungan Curah Hujan Rencana

Untuk perhitungan curah hujan rencana digunakan persamaan *Distribusi Log Pearson Tipe III* dan *Distribusi Pearson Tipe III*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, digunakan curah hujan terbesar dari kedua distribusi tersebut yaitu curah hujan *Distribusi Log Pearson Tipe III* dengan curah hujan periode ulang 50 tahun sebesar 207.396 mm.

F. Perhitungan Curah Hujan Efektif

Koefisien pengaliran untuk perencanaan sabo dam pada DAS Sungai Mujur ditentukan dengan penggabungan dari variasi penggunaan lahan di DAS Mujur. Perhitungan koefisien pengaliran DAS Mujur dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai Koefisien Pengaliran

Kode Stasiun	Stasiun Hujan	Luas Pengaruh (km ²)	Prosentase
a	Besuk Kembar	1.961	2%
f	Argosuko	23.1	27%
i	Kamar A	0.314	0%
l	Besuk Sat	61.56	72%
n	Wonorengo	0.551	1%
Total		85.525	102%

Curah hujan efektif diperoleh dari perkalian curah hujan rencana dengan koefisien pengaliran. Besar curah hujan efektif dan distribusi hujan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif

No.	Periode Ulang	R (mm)	C	Reff
	(Tahun)			
1	2	99.927	0.335	33.514
2	5	136.518	0.335	45.786
3	10	159.536	0.335	53.505
4	25	187.434	0.335	62.862
5	50	207.396	0.335	69.557
6	100	226.437	0.335	75.943

G. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Perhitungan debit banjir rencana dianalisa menggunakan hidrograf satuan sintetik Nakayasu (HSS Nakayasu), dengan menggunakan dua kondisi yaitu tanpa konsentrasi sedimen dan dengan konsentrasi sedimen.

Besar perhitungan debit banjir rencana dengan pengaruh sedimen adalah sebagai berikut.

$$Q_s = (1 + Cd). Q_w$$

$$Cd = \frac{\rho_w \cdot \tan \theta}{(\sigma - \rho_w) \cdot (\tan \theta - \tan \theta)}$$

Data perencanaan :

$$\rho_w = 1.0 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} \sigma &= 2.538 \text{ t/m}^3 \\ \phi &= 37.10^\circ \\ \text{Tan } \theta (I) &= 0.15 \end{aligned}$$

$$Cd = \frac{1.0 \times 0.15}{(2.538 - 1.0) \times (\text{Tan}(37.10^\circ) - 0.15)}$$

$$Cd = 0.16$$

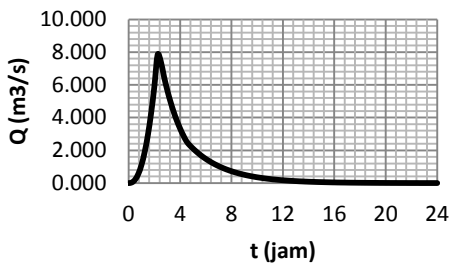
$$Cd = 0.2$$

Sehingga perumusan debit banjir dengan sedimen menjadi :

$$Q_s = (1 + 0.2) \cdot Q_w$$

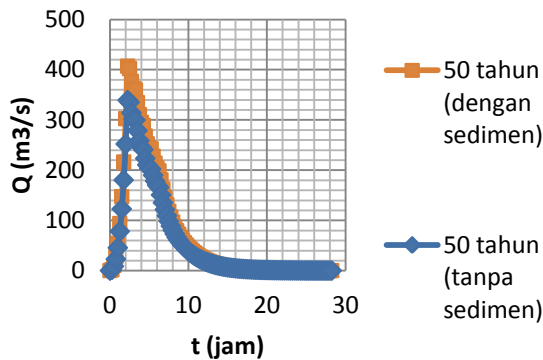
$$Q_s = 1.2 Q_w$$

Grafik unit hidrograf Nakayasu menunjukkan debit maksimum sebesar 7.832 m³/dt, dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik Unit Hydrograph

Perhitungan dengan periode ulang, diperoleh debit banjir rencana tanpa sedimen dan banjir rencana dengan sedimen. Besar debit banjir rencana periode ulang 50 tahun tanpa sedimen adalah 399.085 m³/dt, sedangkan banjir rencana periode ulang 50 tahun dengan sedimen sebesar 406.902 m³/dt. Perbandingan hidrograf debit banjir tanpa sedimen dan dengan sedimen untuk periode ulang 50 tahun dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Hydrograph Banjir Periode Ulang 50 Tahun

H. Perencanaan Main Dam

a. Pelimpah

1. Posisi Pelimpah

Berdasarkan kondisi tebing sungai yang tidak ada indikasi lapisan batuan serta kecenderungan alur sungai Mujur yang tidak berbelok-belok pada lokasi perencanaan sabo dam, maka posisi pelimpah direncanakan di tengah alur sungai.

2. Lebar Pelimpah

Perencanaan lebar pelimpah menggunakan rumus berikut.

$$Q_s = \frac{2}{15} C \sqrt{2g} (3B_1 + 2B_2)h_3^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya didapatkan:

- Debit aliran debris dengan periode ulang 50 tahun (Q_s) = 406.902 m³/s
- Percepatan gravitasi = 9.8 m²/s
- Koefisien pelimpah = 0.6

Maka :

$$B_1 = \alpha \sqrt{Q_s}$$

α = Koefisien daerah aliran sungai

Berdasarkan tabel koefisien daerah aliran sungai (gambar 2.9), dengan memasukkan luas DAS sebesar = 87.486 km², maka diperoleh nilai $\alpha = 5$.

$$B_1 = \alpha \sqrt{Q_s}$$

$$B_1 = 5 \times \sqrt{406.902}$$

$$B_1 = 100.86 \text{ m} \approx 101 \text{ m}$$

Direncanakan kemiringan tepi pelimpah = 1:1, maka:
 $B_2 = B_1 + h_3$, sehingga perumusan (2-26) menjadi:

$$Q_s = 0.354 \times (303 + 202 + 2h_3)h_3^{\frac{3}{2}}$$

$$406.902 = (107.262 + 71.508 + 0.708h_3)h_3^{\frac{3}{2}}$$

Dengan cara coba-coba, maka diperoleh :

$$h_3 = 1.768 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh $B_2 = 101 + 1.768 = 102.63 \text{ m} \approx 103 \text{ m}$.

3. Tinggi Pelimpah

Perhitungan tinggi pelimpah digunakan rumus :

$$H = h_3 + h_3'$$

Berdasarkan tabel nilai h_3' berdasarkan besar debit dengan sedimen (Q_s) (gambar 2.10), didapatkan nilai $h_3' = 0.8 \text{ m}$.

$$H = 1.768 + 0.8$$

$$H = 2.57 \text{ m} \approx 2.6 \text{ m}$$

4. Kecepatan Air di Atas Pelimpah

Berdasarkan perhitungan sebelumnya didapatkan :

- Debit dengan sedimen periode ulang 50 tahun (Q_s) = 406.902 m³/s
- Lebar dasar pelimpah (B_1) = 101 m
- Lebar atas pelimpah (B_2) = 103 m
- Tinggi air di atas mercu peluap main dam (h_3) = 1.768 m

Dari data-data yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya, maka besar kecepatan air di atas pelimpah sebagai berikut:

$$- q_0 = \frac{Q_{\text{debris}}}{B_{\text{rata-rata}}}$$

$$q_0 = \frac{406.902}{(101+103) \times \frac{1}{2}}$$

$$q_0 = 3.989 \text{ m}^3/\text{dt/m}$$

$$- v_0 = \frac{q_0}{h_3}$$

$$v_0 = \frac{3.989}{1.768}$$

$$v_0 = 2.257 \text{ m/dt}$$

5. Tinggi Efektif Main Dam

Berdasarkan pertimbangan tinggi tebing sungai serta tinggi muka air banjir dengan sedimen periode ulang 50 tahun, maka digunakan tinggi efektif sabo dam adalah 10.5 m. Setelah diketahui tinggi efektif sabo dam, maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan kemiringan dasar sungai statis dan dinamis sebagai berikut.

- Kemiringan dasar sungai asli (i_0) = 0.085
- Kemiringan dasar sungai statis (i_1) = 0.0425
- Kemiringan dasar sungai dinamis (i_2) = 0.06375
- Panjang aliran debris statis (L_1) = 247.0588 m

- Panjang aliran debris dinamis (L_2) = 494.1176 m

6. Kapasitas Tampung Sedimen

Berdasarkan perhitungan diperoleh besar kapasitas tampung dari sabo dam sebagai berikut.

- $V_{se} = 160835.3 \text{ m}^3$
- $V_c = 160835.3 \text{ m}^3$
- $V_{tot} = 321670.6 \text{ m}^3$

Dimana :

V_{se} = Volume tampungan mati (m^3)

V_c = Volume kontrol (m^3)

V_{tot} = Volume total (m^3)

7. Tebal Mercu Pelimpah

Mercu main dam (pelimpah) pada sabo dam harus cukup kuat terhadap pukulan aliran debris/sedimen. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka digunakan tebal mercu main dam adalah 6 m.

8. Kemiringan Bagian Hilir

Kemiringan bagian hilir tubuh dam diperkirakan sebesar 1: n dengan n antara 0.2 s/d 0.6 atau dengan perhitungan berikut.

$$\frac{L}{H_{eff}} = v_0 \sqrt{\frac{2}{g} \cdot H_{eff}}$$

$$\frac{L}{H_{eff}} = 2.274 \times \sqrt{\frac{2}{9.8} \times 7}$$

$$\frac{L}{H_{eff}} = 0.317$$

$n = 0.317 \approx$ Digunakan = 0.6

9. Kemiringan Bagian Hulu

Kemiringan bagian hulu sabo dam dihitung dengan persamaan berikut.

$$(1 + \alpha)m^2 + [2(n + \beta) + n(4\alpha + \gamma) + 2\alpha\beta m - 1 + 3\alpha + \alpha\beta 4n + \beta + \gamma 3n\beta + \beta 2 + n 2 = 0$$

Diketahui :

- Kemiringan lereng bagian hilir (n) = 0.4
- Tinggi efektif dam (H_{eff}) = 10.5 m
- Tebal mercu pelimpah (b) = 5 m
- Tinggi muka air di mercu pelimpah (h_3) = 1.664 m
- Berat jenis material dam (ρ_d) = 2.4 t/m^3
- Berat jenis air (ρ_w) = 1 t/m^3
- Berat jenis sedimen dalam aliran debris (ρ_s) = 2.538 t/m^3

Maka :

- $\alpha = \frac{hw}{H_{eff}} = 0.168$
- $\beta = \frac{b}{H_{eff}} = 0.571$
- $\gamma = \frac{\rho_d}{\rho_w} = 2.4$

Sehingga :

$$a = (1 + 0.168) = 1.168$$

$$b = (2 \times (0.6 + 0.571) + 0.6 \times (4 \times 0.6 + 2.4) + 2 \times 0.168 \times 0.571) = 4.379$$

$$c = (1 + 3 \times 0.168) + (0.168 \times 0.571 \times (4 \times 0.6 + 0.571)) + (2.4 \times (3 \times 0.6 \times 0.571 + 0.571^2 + 0.6^2)) = 5.907$$

Dengan rumus abc, kemudian dihitung kemiringan bagian hulu :

$$m_{1,2} = \frac{-4.379 \pm \sqrt{4.379^2 - (4 \times 1.168 \times 5.907)}}{(2 \times 1.168)}$$

$$m_1 = 1.053$$

$$m_2 = -4.801$$

Digunakan $m = 1$

b. Sayap Dam

Pada perencanaan ini digunakan sayap dam dengan dimensi sebagai berikut.

- Tebal sayap = 6 m
- Tinggi sayap = 2.6 m
- Sayap dam didesain mendarat

c. Pondasi Dam

Pada perencanaan ini digunakan kedalaman pondasi (δ) = 2 m. Sehingga diperoleh tinggi total sabo dam adalah 12.5 m.

d. Lubang Drainase

Pada perencanaan sabo dam ini digunakan 5 lubang drainase berbentuk persegi dengan ukuran 0.5 x 0.5 m.

I. Perencanaan Apron (Lantai Olakan)

Komponen-komponen yang perlu diketahui untuk mendesain apron adalah sebagai berikut.

1. Tebal Apron

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh tebal apron = 3.5 m.

2. Panjang Terjunan Air (L_w)

Untuk menghitung panjang terjunan air digunakan rumus sebagai berikut :

$$L_w = V_0 \left[\frac{2 \left(H_1 + \frac{1}{2} h_3 \right)}{g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$L_w = 2.257 \times \left[\frac{2 \left(10.5 + \frac{1}{2} \times 1.768 \right)}{9.8} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$L_w = 3.44 \text{ m} \approx \text{digunakan} = 4 \text{ m}$$

3. Panjang Loncatan Air

Untuk mencari panjang loncatan air digunakan rumus sebagai berikut :

$$x = \beta \cdot h_j$$

Dimana :

β = Koefisien (4,50-5,0), digunakan ≈ 5

Sedangkan mencari h_j digunakan rumus :

$$h_j = \frac{h_1}{2} \sqrt{1 + (8 \cdot Fr^2)} - 1$$

Parameter-parameter yang perlu dicari terlebih dulu antara lain:

$$q_1 = \frac{Q}{B} = \frac{Q}{\frac{1}{2}(b_1 + b_2)} = \frac{406.902}{101 + 103}$$

$$q_1 = 3.992 \text{ m}^3/\text{dt/m}$$

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_1 + h_3)}$$

$$V_1 = \sqrt{2 \times 9.8 \times (10.5 + 1.768)}$$

$$V_1 = 15.506 \text{ m/dt}$$

$$h_1 = \frac{q_1}{V_1} = \frac{3.992}{15.506}$$

$$h_1 = 0.257 \text{ m}$$

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}}$$

$$Fr = \frac{15.506}{\sqrt{9.8 \times 0.257}}$$

$$Fr = 9.76$$

Setelah diketahui semua parameter yang dibutuhkan, maka besar h_j :

$$h_j = \frac{h_1}{2} \sqrt{1 + (8 \cdot Fr^2)} - 1$$

$$h_j = \frac{0.257}{2} \sqrt{1 + (8 \times 9.76^2)} - 1$$

$$h_j = 3.428 \text{ m}$$

Sehingga :

$$x = \beta \cdot h_j$$

$$x = 5 \times 3.428$$

$$x = 17.139 \text{ m} \approx \text{digunakan} = 18 \text{ m}$$

4. Panjang Apron

Panjang apron yaitu jarak antara main dam dan sub dam. Sehingga berdasarkan data dari perhitungan sebelumnya diperoleh panjang apron = 28 m.

5. Dinding Tepi

Posisi dinding tepi berada pada elevasi yang sama atau lebih tinggi dari elevasi sayap sub dam.

J. Perencanaan Sub Dam

Standard perencanaan dimensi tubuh sub dam disesuaikan dengan main dam.

1. Lebar Pelimpah

Lebar pelimpah sub dam dipakai sama dengan lebar pelimpah main dam, yaitu :

$$b_1 = 101 \text{ m}$$

$$b_2 = 103 \text{ m}$$

2. Tinggi *Overlapping* Sub Dam

Perhitungan tinggi *overlapping* sub dam menggunakan rumus (2-66) sebagai berikut.

$$d = \frac{1}{4} x H e f f$$

$$d = \frac{1}{4} x 10.5$$

$$d = 2.625 \text{ m} \approx \text{digunakan} = 2.7 \text{ m}$$

3. Kecepatan Air di Atas Mercu Sub Dam

Kecepatan air di atas mercu sub dam dihitung dengan rumus :

$$Q = A \cdot V$$

Parameter yang harus dicari terlebih dahulu antara lain:

$$h' = h_j - d$$

Diketahui :

$$h_j = 3.428 \text{ m}$$

$$d = 2.625 \text{ m}$$

$$h' = h_j - d$$

$$h' = 3.428 - 2.625$$

$$h' = 0.73 \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{2} (b_1 + b_2) \cdot h'$$

Diketahui :

$$b_1 = 101 \text{ m}$$

$$b_2 = 103 \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{2} (101 + 103) \times 0.73$$

$$A = 74.245 \text{ m}^2$$

Sehingga :

$$Q = A \cdot V$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{406.902}{74.245}$$

$$V = 5.480 \text{ m/dt}$$

4. Kedalaman *Scouring*

Berdasarkan perhitungan diperoleh besar kedalaman *scouring* adalah 2.6 m.

5. Tinggi Sub Dam

Tinggi sub dam dihitung dari kedalaman *scouring* + tinggi *overlapping*, sehingga diperoleh tinggi sub dam = 5.3 m.

6. Tebal Mercu Pelimpah Sub Dam

Tebal mercu pelimpah sub dam direncanakan sama dengan tebal mercu main dam yaitu sebesar $b_2 = 6 \text{ m}$.

7. Kemiringan Tubuh Sub Dam

Kemiringan tubuh sub dam direncanakan sama dengan kemiringan main dam yaitu :

$$\text{- Kemiringan hilir (n)} = 0.6$$

$$\text{- Kemiringan hulu (m)} = 0 \text{ (direncanakan tegak lurus)}$$

8. Tinggi Air di Hilir Sub Dam

Tinggi air di hilir sub dam telah diperoleh melalui persamaan berikut.

$$Q = A \cdot V$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

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

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

Dimana :

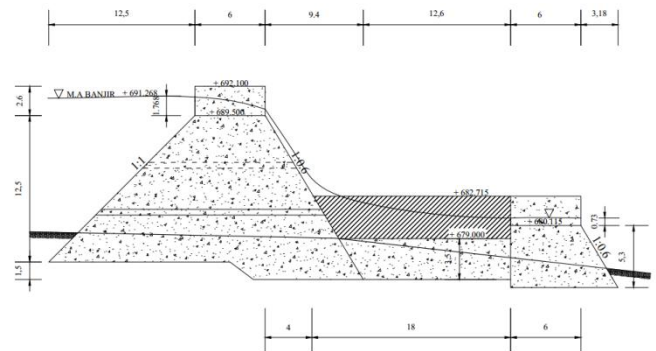
$$\text{Lebar pelimpah (b)} = 101 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan sungai (i)} = 0.085$$

$$\text{Koefisien manning (n)} = 0.025$$

$$\text{Kemiringan pelimpah (m)} = 1$$

Dengan cara coba-coba, diperoleh tinggi air di hilir sub dam (h) = 0.511 m



Gambar 5. Bangunan Sabo

K. Kontrol Kestabilan

Kontrol kestabilan pelimpah pada perencanaan sabo dam ini meninjau gaya-gaya yang bekerja dalam 2 kondisi yaitu pada kondisi normal (muka air sama dengan tinggi pelimpah) dan pada kondisi banjir sebagai berikut.

1. Kondisi Normal

- Kontrol Guling:

$$\frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen guling}} \geq SF$$

$$3.04 \geq 1.2 \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Geser :

$$\frac{(\Sigma V - \Sigma U) \cdot f}{\Sigma H} \geq 1.2$$

$$1.46 \geq 1.2 \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah

$$\sigma_{12} = \frac{\Sigma V}{B \cdot xL} \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot xe}{B} \right)$$

$$- \sigma_1 = \frac{\Sigma V}{B \times L} \times \left(1 + \frac{6xe}{B}\right) < \sigma_{ijin}$$

$$\sigma_1 = 33.18 < 40 \quad (\text{OK})$$

$$- \sigma_2 = \frac{\Sigma V}{B \times L} \times \left(1 - \frac{6xe}{B}\right) < \sigma_{ijin}$$

$$\sigma_2 = 6.33 > 0 \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Tebal Lantai

$$dx \geq S \frac{Px - Wx}{\gamma}$$

$$3.5 \geq 2.8 \quad (\text{OK})$$

2. Kondisi Banjir

- Kontrol Guling:

$$\frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen guling}} \geq SF$$

$$2.92 \geq 1.2 \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Geser :

$$\frac{(\Sigma V - \Sigma U) \cdot f}{\Sigma H} \geq 1.2$$

$$1.69 \geq 1.2 \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah

$$\sigma_{max} = \frac{2V}{L \times 3 \left(\frac{B}{2} - e\right)}$$

$$\sigma_{max} = 35.02 < 40 \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Tebal Lantai

$$dx \geq S \frac{Px - Wx}{\gamma}$$

$$3.5 \geq 3.470 \quad (\text{OK})$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari uraian dan perhitungan sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Lokasi kedudukan sabo dam pada perencanaan ini yaitu di Kecamatan Pasrujambe. Pemilihan lokasi tersebut berdasarkan kemiringan lereng dan luas tampungan yang akan diperoleh.
2. Dari hasil analisa didapatkan tinggi curah hujan periode ulang 50 tahun sebesar 207.396 mm. Debit rencana tanpa sedimen didapatkan sebesar 339.085 m³/dt untuk periode ulang 50 tahun.
3. Debit banjir rencana perhitungan menggunakan debit banjir dengan sedimen periode ulang 50 tahun. Debit banjir dengan sedimen diperoleh dari debit banjir dikalikan dengan konsentrasi sedimen. Diperoleh besar debit banjir dengan sedimen untuk periode ulang 50 tahun yaitu 406.902 m³/dt.
4. Berdasarkan hasil perhitungan pada perencanaan sabo dam, maka didapatkan dimensi *main dam* meliputi :

Tinggi efektif	= 10.5 m
Tinggi total	= 12.5 m
Kemiringan hulu	= 1:1
Kemiringan hilir	= 1:0.6
Lebar pelimpah bawah	= 101 m
Lebar pelimpah atas	= 103 m
Tinggi pelimpah	= 2.6 m
Tebal pelimpah	= 4 m
Tebal sayap	= 4 m
Tinggi sayap	= 2.6 m
Kedalaman pondasi	= 2 m

5. Berdasarkan hasil perhitungan pada perencanaan sabo dam, maka didapatkan dimensi apron meliputi :

Tebal apron	= 3.5 m
Panjang apron	= 28 m

$$\text{Elevasi dinding tepi} = +682.715$$

Sedangkan dimensi sub dam meliputi :

Lebar pelimpah bawah	= 101 m
Lebar pelimpah atas	= 103 m
Tinggi overlapping	= 2.7 m
Tinggi sub dam	= 5.3 m
Kemiringan hilir	= 1:0.6

6. Besar daya tampung sedimen yang diperoleh meliputi volume tampungan mati sebesar 160835.3 m³, volume tampungan kontrol sebesar 160835.3 m³, sehingga diperoleh volume tampungan total sebesar 321670.6 m³.

B. Saran

Berdasarkan penyusunan laporan Tugas Akhir “Perencanaan Sabo Dam Tipe Terbuka (Tipe Lubang) sebagai Bangunan Pengendali Sedimen di Sungai Mujur Kabupaten Lumajang” penulis ingin memberikan beberapa saran, antara lain.

1. Usaha pengendalian sedimen tidak hanya bergantung pada sabo dam atau check dam saja, akan tetapi meliputi suatu rangkaian pekerjaan pengendalian sedimen (*sabo work*). Di dalam sabo work terdapat berbagai jenis bangunan pengendali sedimen yang tersebar mulai dari hulu hingga hilir daerah aliran sungai. Bangunan-bangunan tersebut memiliki fungsi masing-masing yang menjadi satu kesatuan dalam usaha pengendalian sedimen. Sehingga peninjauan untuk mengendalikan sedimen, dilakukan secara menyeluruh dari hulu hingga ke hilir.
2. Perlu adanya tinjauan mengenai anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan sabo dam ini, sehingga dapat melengkapi perencanaan sabo dam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BBWS Brantas. 2013. *Laporan Akhir : DED Pengendalian Sedimen Gunung Semeru*. Surabaya: Badan Penerbit BBWS Brantas.
- [2] Sudiarti, Sri Utami. 2006. *Pengelolaan Sedimen Kali Boyong (Migrasi Alami dan Campur Tangan Manusia)*. Tesis. Program Studi Magister Pengelolaan Bencana Alam (MPBA). Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- [3] Cahyono, J. 2000. *Pengantar Teknologi Sabo*. Yogyakarta: -
- [4] Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [5] Dwi Cahyadi, Ahmad. 2015. *Redesain Bendungan Way Apu Pulau Buru Kabupaten Buru Provinsi Maluku*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [6] Takahashi, T. 1991. *Debris Flow*. A.A Balkema. Rotterdam. Brookfield.
- [7] Sabo Technical Centre. 1990. *Perencanaan Sabo*. Yogyakarta: Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum.