

ANALISIS STABILITAS DAN PENGENDALIAN SEDIMEN SABO DAM WO-C3 (OPRIT KENDALSARI) KALI WORO

Triartoh Dominggus Aritonang¹, Andrea Sumarah Asih², Anggi Hermawan³

^{1,2,3}Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Jl. Babarsari No 1. Depok, Sleman, Yogyakarta, Telp: (0274) 485390, 486986 Fax: (0274) 487249

e-mail : *1triartoharitonang14@gmail.com, 2andrea.sa@itny.ac.id, 3anggi@itny.ac.id

Abstrak

Sabo Dam WO-C3 (Oprit Kendalsari) terletak di Desa Kendalsari, Kecamatan Kemalang, Kabupaten Klaten, Propinsi Jawa Tengah merupakan salah satu sabo dam yang mengalami kerusakan akibat erupsi Merapi pada tahun 2010. Sabo dam bekerja dengan cara menahan, menampung dan mengalirkan sedimen. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis stabilitas dan pengendalian sedimen sabo dam. Analisis yang dilakukan dimulai dengan analisis hidrologi yaitu menganalisis curah hujan DAS Kali Woro berdasarkan data curah hujan tahun 2010-2020. Analisis hujan rerata menggunakan metode Poligon Thiessen dan menggunakan aplikasi ArcGIS 10.3 untuk delineasi dan perhitungan luas Poligon Thiessen. Analisis hidrograf satuan menggunakan metode HSS Nakayasu untuk menghasilkan debit banjir rencana dengan berbagai periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun, setelah diperoleh debit banjir rencana kemudian dilakukan analisis stabilitas sabo dam dan pengendalian sedimen. Berdasarkan hasil analisis stabilitas Sabo Dam WO-C3 (Oprit Kendalsari) dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun masih aman terhadap gaya guling, gaya geser, keruntuhan daya dukung tanah, dan bahaya pipping. Pengendalian sedimen diperlukan pengerukan material sedimen di lokasi Sabo Dam saat tampungan sedimen penuh secara rutin agar fungsi dari bangunan bekerja dengan baik

Kata kunci: sabo dam, stabilitas, pengendalian sedimen, HSS Nakayasu, ArcGIS.

Abstract

Sabo Dam WO-C3 (Oprit Kendalsari) was located at Kendalsari, Kemalang, Klaten, Central Java, is one of the sabo dam that damaged due to the eruption of Merapi in 2010. Sabo dam works by holding, intercept and flowing sediment. The purpose of this research was to analyze stability and sediment control sabo dam. The analysis was began with hydrological analysis, that is analyzing the rainfall in the Kali Woro Watershed based on rainfall data 2010-2020. The average rainfall uses the Thiessen Polygon method and using the ArcGIS 10.3 application for delineated and calculated of area. Unit hydrograph analysis using the HSS Nakayasu method to produce flood discharge plans with various return periods of 2 years, 5 years, 10 years, 25 years, 50 years, and 100 years. After obtained the plan of flood discharge, than do the stability analysis of the sabo dam and sediment control. Based of the stability analysis result of sabo dam WO-C3 (Oprit Kendalsari) a return period of 2 years, 5 years, 10 years, 25 years, 50 years and 100 years are still save to overturning, sliding, bearing capacity failure, and the danger of pipping. Sediment control requires the dredging of sediment material at sediment storage is full regularly so that the function of the building works properly.

Keywords : sabo dam, stability, sediment control, HSS Nakayasu, ArcGIS.

1. PENDAHULUAN

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api yang masih aktif di bagian tengah Pulau Jawa dan merupakan salah satu yang aktif di Indonesia. Lereng sisi selatan berada dalam wilayah Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan sisanya berada dalam wilayah Provinsi Jawa Tengah, yaitu Kabupaten Magelang di sisi barat, Kabupaten Boyolali di sisi utara dan timur, serta

Kabupaten Klaten di sisi tenggara. Gunung Merapi ini terhitung sejak tahun 1548 sudah Meletus 68 kali. Kota terdekat yaitu Magelang dan Yogyakarta berjarak kurang lebih 30 km dari puncaknya. Gunung ini mengalami erupsi setiap dua sampai lima tahun sekali dan dikelilingi oleh permukiman yang sangat padat, pada ketinggian 1700 m dan berjarak 4 km dari puncak terdapat pemukiman.

Material hasil letusan Gunung Merapi berupa abu vulkanik, 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 memiliki daya rusak yang besar, mengingat konsentrasi massa sedimen yang sangat besar sehingga mengakibatkan kerugian. Kerugian tersebut diantaranya kerusakan pada prasarana dan sarana milik pemerintah, tenggelamnya lahan pertanian, serta kerusakan pada pemukiman penduduk sehingga menimbulkan pengungsian secara besar-besaran.

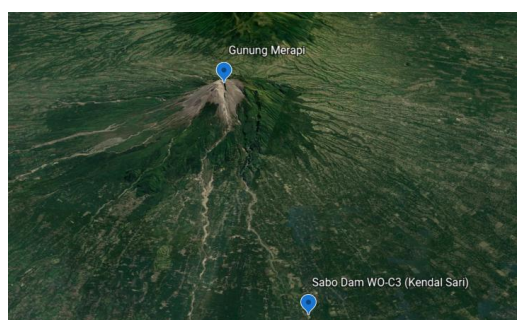
Upaya penanggulangan masalah banjir lahar dingin telah lama dilakukan di Indonesia dengan menggunakan teknologi berupa bangunan pengendali sedimen atau sabo dam. Teknologi sabo mulai dikenalkan di Indonesia sejak kedatangan tenaga ahli sabo dari Jepang, Mr. Tomoaki Yokota, pada tahun 1970. Penelitian sebelumnya adalah Edy Harseno dan Marsinius (2008) Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta yang melakukan penelitian tentang Analisis Stabilitas Sabo Dam Dan Gerusan Lokal Kali Woro Gunung Merapi Kabupaten Klaten. Penelitian bertujuan untuk mengetahui nilai gaya desak, faktor keamanan terhadap gaya geser, nilai eksentrisitas, serta untuk mengetahui gerusan lokal dan jumlah beehive Sabo Dam Kali Woro Gunung Merapi Lereng Timur yang terletak di Desa Balerante, Kecamatan Kemalang, Kabupaten Klaten. Analisis yang dilakukan bermanfaat untuk mengetahui stabilitas dan gerusan lokal dan memberikan sumbangan pengetahuan dan gambaran pengaplikasian teori tentang perencanaan Sabo Dam.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada analisis curah hujan adalah metode Thiessen Polygon. Metode ini membutuhkan luas daerah pengaruh hujan dari masing-masing stasiun yang bersangkutan untuk menghitung hujan rata-rata (Sri Harto, 2005), untuk penggambaran luas Thiessen Polygon menggunakan aplikasi ArcGIS 10.3. Perhitungan hidograf banjir rencana menggunakan metode HSS Nakayasu untuk memperkirakan debit terbesar aliran sungai yang mungkin terjadi dalam satu periode tertentu. Parameter DAS merupakan unsur utama pada analisis metode HSS Nakayasu. Unsur utama pada analisis metode HSS Nakayasu adalah parameter DAS yang berupa luas DAS dan panjang sungai.

2.1. Lokasi Studi

Sabo Dam WO-C3 terletak pada titik koordinat geografis $7^{\circ}38'10''\text{S}$ $110^{\circ}29'42''\text{E}$ di Kali Woro Desa Kendalsari, Kecamatan Kemalang, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah



Gambar 1. Lokasi Sabo Dam WO-C3

2.2. Pengumpulan Data

Dalam penelitian, data merupakan faktor yang sangat penting oleh sebab itu diusahakan semua data yang berkaitan dengan analisis Sabo Dam tersedia. Data-data tersebut meliputi:

- 1) Data peta topografi digunakan untuk menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan mencari stasiun-stasiun curah hujan yang berada di DAS Kali Woro.

- 2) Data peta geometri sungai digunakan untuk mengetahui potongan memanjang dan melintang sungai, lebar sungai dan kemiringan dasar sungai.
- 3) Data hidrologi berupa data curah hujan dari stasiun yang ada. Data curah hujan tersebut digunakan untuk menghitung debit banjir rencana.
- 4) Data Gambar Bangunan Sabo Dam digunakan untuk menganalisis sabo dam

2.3. Analisis Data

Data yang dikumpulkan selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan hasil dari tujuan penelitian. Tahapan analisis data adalah sebagai berikut:

- 1) Melakukan perhitungan curah hujan dari 3 stasiun yaitu stasiun plosokerep, stasiun sorasan, dan stasiun randugunting. Berdasarkan data curah hujan digunakan data 11 tahun terakhir dari tahun 2010-2020 untuk menghitung debit banjir rencana pada DAS Kali Woro.
- 2) Melakukan perhitungan debit banjir dengan sedimen di DAS Kali Woro.
- 3) Melakukan analisis Sabo Dam WO-C3.
- 4) Melakukan perhitungan volume tampung sedimen Sabo Dam di Kali Woro.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Curah Hujan Harian Maksimum

Berdasarkan data curah hujan yang telah di hitung dari 3 lokasi stasiun hujan yaitu stasiun plosokerep, stasiun sorasan, dan stasiun randugunting dari tahun 2010-2020, maka diperoleh data curah hujan maksimum dengan menggunakan metode *Thiessen Polygon* adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Curah Hujan Harian Maksimum

No	Tahun	Hujan Maksimum (Xi)
		(mm)
1	2010	56,558
2	2019	67,775
3	2014	71,208
4	2012	72,412
5	2011	72,616
6	2018	84,619
7	2013	95,552
8	2015	102,669
9	2016	103,019
10	2020	122,700
11	2017	132,352

3.2. Analisis Distribusi Curah Hujan

Berdasarkan hasil curah hujan harian maksimum, maka langkah selanjutnya adalah menganalisis curah hujan rencana menggunakan metode analisis frekuensi (Triatmodjo, 2009).

Tabel 2. Hasil Analisis Curah Hujan Rencana

No	Periode Ulang (tahun)	Peluang (%)	K	K×S1	Log Xt	Xt (mm)
1	2	50,000	-0,026	-0,003	1,933	85,758
2	5	20,000	0,832	0,097	2,033	107,868
3	10	10,000	1,297	0,150	2,087	122,124
4	25	4,000	1,804	0,209	2,146	139,845
5	50	2,000	2,137	0,248	2,184	152,841
6	100	1,000	2,442	0,283	2,220	165,827

3.3. Uji Kecocokan Distribusi

Berdasarkan hasil analisis curah hujan rencana, maka dilakukan pengujian kecocokan distribusi dengan cara yaitu uji Smirnov Kolmogorov dan uji Chi Kuadrat (Triatmodjo, 2009).

1) Uji Smirnov Kolmogorov

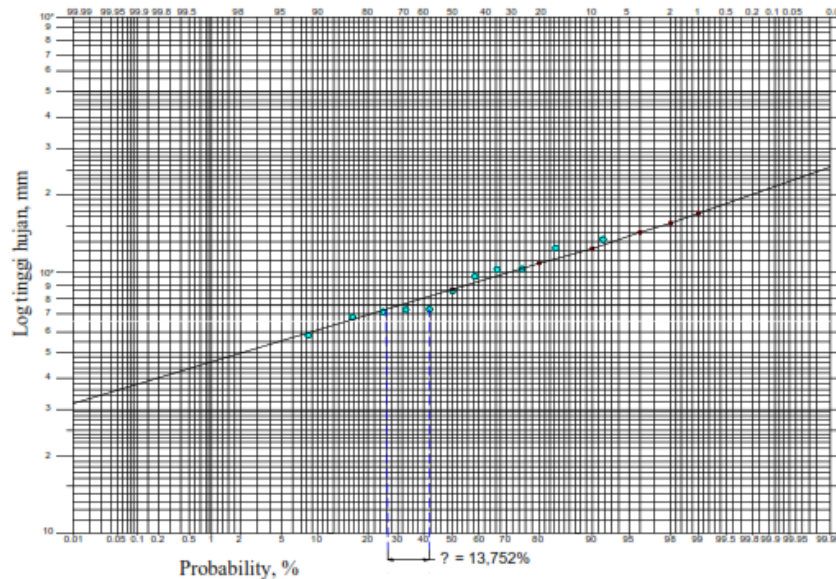
Hasil pengujian pada kertas probabilitas pada lampiran diperoleh Δ maks = 13,752% = 0,138 (Ploting Gambar).

Untuk :

$n = 11$, dan $\alpha = 5\% = 0,050$

$\Delta_{cr} = 0,391$ dengan cara menginterpolasi nilai kritis do

Δ maks = 0,138 < $\Delta_{cr} = 0,391$ distribusi dengan metode Log Pearson Tipe III dapat diterima.



Gambar 2. Garis Teoritis Dan Ploting Data Menurut Sebaran Log Pearson III

2) Uji Chi Kuadrat

Uji Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis.

Tabel 3. Analisis Chi Kuadrat

Kiasaran Data	Ef	Of	Ef - Of	$(Ef - Of)^2/Ef$
47,083 < x < 66,032	2,2	1	1,2	0,655
66,033 < x < 84,981	2,2	5	-2,8	3,564
84,982 < x < 103,930	2,2	3	-0,8	0,291
103,930 < x < 122,878	2,2	1	1,2	0,655
x > 122,879	2,2	1	1,2	0,655
Jumlah	11	11		5,818

Berdasarkan hasil tabel nilai kritis distribusi Chi Kuadrat, nilai X^2_{cr} untuk Dk = 2 dan $\alpha = 5\%$ maka didapat $X^2_{cr} = 5,991$. Hasil dari uji Chi Kuadrat $X^2_{hit} = 5,818 < X^2_{cr} = 5,991$ berarti distribusi dengan metode Log Pearson Tipe III dapat diterima.

3.4. Analisis Curah Hujan Efektif

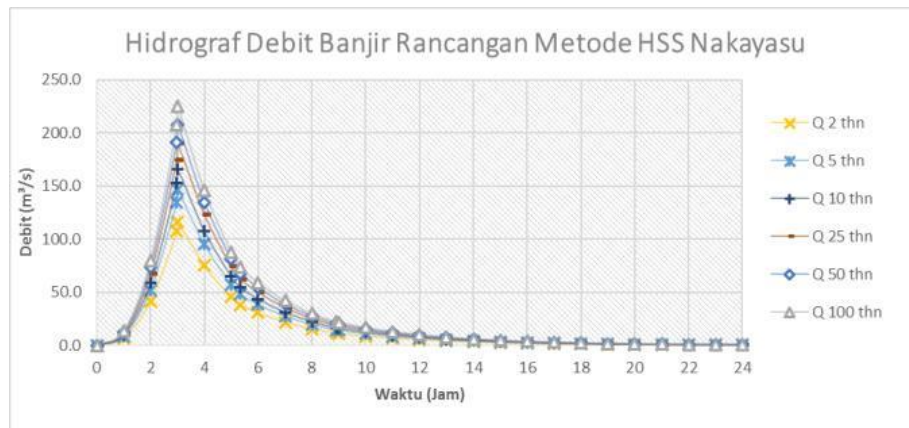
Analisis curah hujan efektif perlu diketahui terlebih dahulu besar koefisien pengaliran dari DAS Kali Woro. Berdasarkan tabel koefisien pengaliran maka yang digunakan adalah berkisar 0,75 – 0,85 karena kondisi DAS adalah sungai di pegunungan, maka perlu diketahui lama hujan terpusat terjadi di Indonesia berkisar antara 5 – 7 jam/hari.

Tabel 4. Distribusi Hujan Jam-jaman

Periode Ulang	R efektif	Jam ke				
		0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5
		0,585	0,152	0,107	0,085	0,072
		R24	R24	R24	R24	R24
(tahun)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2	68,606	40,121	10,428	7,315	5,824	4,918
5	86,294	50,465	13,117	9,201	7,325	6,186
10	97,699	57,135	14,851	10,417	8,293	7,003
25	111,876	65,425	17,005	11,929	9,497	8,020
50	122,273	71,506	18,586	13,038	10,379	8,765
100	132,662	77,581	20,165	14,145	11,261	9,510

3.5. Perhitungan Hidrograf Banjir Rencana

Berdasarkan hasil distribusi hujan jam-jaman, maka langkah selanjutnya adalah menghitung debit banjir rancangan menggunakan metode HSS Nakayasu.



Gambar 3. Grafik Hidrograf Debit Banjir Rancangan

Berdasarkan gambar grafik diatas, bahwa debit banjir tertinggi terjadi pada jam ke-3 selama 24 jam. Sedangkan untuk menghitung debit banjir akibat pengaruh sedimen, dengan cara mengalikan debit banjir rancangan dengan berat jenis sedimen yaitu 1,20 atau $Q_s = 1,20Q$.

Tabel 5. Debit Banjir Rancangan

Periode Ulang	Q	Qs
(tahun)	(m ³ /dt)	(m ³ /dt)
2	116,620	139,944
5	146,687	176,025
10	166,074	199,289
25	190,173	228,207
50	207,846	249,415
100	225,506	270,607

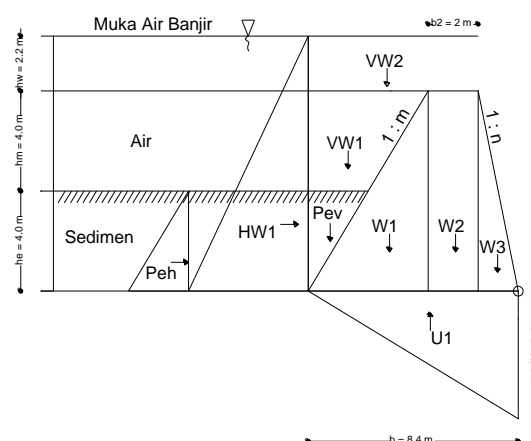
3.6. Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas sabo dam meninjau gaya-gaya yang bekerja dalam 2 kondisi yaitu pada kondisi normal dan pada kondisi banjir. Pengujian stabilitas dilakukan uji terhadap gaya guling, gaya geser, keruntuhan daya dukung tanah dan bahaya *piping* (Cahyono, 2000). Dalam analisis stabilitas sabo dam data- data yang digunakan disajikan dalam tabel 6.

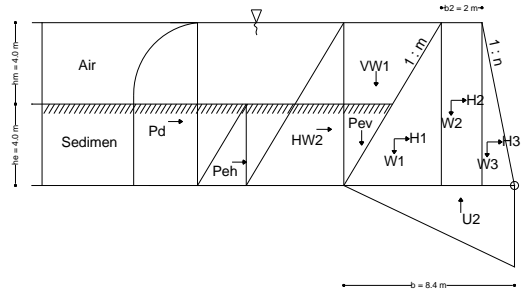
Tabel 6. Data-data Perhitungan Stabilitas Sabo Dam

No	Keterangan	Notasi	Nilai
1	Lebar Sungai (m)	B	75,300
2.	Lebar dasar pelimpah (m)	L	40,000
3.	Tinggi main dam (m)	H	8,000
4.	Lebar Total main dam (m)	b	8,400
5.	Lebar peluap main dam (m)	b2	2,000
6.	Tinggi endapan sedimen (m)	he	4,000
7.	Kemiringan hulu main dam	m	0,600
8.	Kemiringan hilir main dam	n	0,200
9.	Berat jenis air (t/m ³)	ρ_w	1,000
10.	Berat jenis beton (t/m ³)	ρ_c	2,350
11.	Berat jenis sedimen kering 1,5 – 1,8 (t/m ³)	P'	1,800
12.	Porositas 0,3 – 0,4	p	0,300
13.	Berat jenis sedimen dalam air (t/m ³)	ρ_e	1,100
14.	Koefisien Gempa 0,10 – 0,15	K	0,150
15.	Koefisien tekanan tanah/sedimen 0,4 – 0,6	Ce	0,500

Berikut adalah contoh analisis stabilitas pada periode ulang 50 tahun, sehingga periode yang lain dapat dicari dengan cara yang sama. Uraian gaya-gaya yang bekerja pada analisis stabilitas sabo dam dapat dilihat pada sketsa pada gambar 7 dan 8 (Andharini, 2015). Hasil analisis pada gambar 7 dan 8 disajikan dalam tabel 10 dan tabel.



Gambar 4. Gaya Yang Bekerja Pada Sabo Dam Saat Banjir



Gambar 5. Gaya Yang Bekerja Pada Sabo Dam Saat Normal

Tabel 7. Gaya Vertikal Debit 50 Tahun

Notasi	Gaya	Lengan Momen (L)	V	L	Momen (V*L)	Keterangan
	(ton)	(m)	(ton)	(m)	(tm)	
W1	$1/2.H.(m.H).pc$	$(1/3.m.H)+b2+(n.H)$	45,120	4,800	216,576	Berat Sendiri
W2	$b2.H.pc$	$(1/2.b2)+(n.H)$	37,600	2,600	97,760	Berat Sendiri
W3	$1/2.H.(n.H).pc$	$2/3.(n.H)$	15,040	1,067	16,043	Berat Sendiri
VW1	$1/2.H.(m.H).pw$	$(2/3.m.H)+b2+(n.H)$	19,200	6,800	130,560	Tekanan Air Statis
VW2	$(b2+(m.H)).hw.pw$	$1/2.(b+(m.H)+(n.H))$	14,960	5,000	74,800	Tekanan Air Statis
Pev	$1/2.(m.he).he.pw.pe$	$(2/3.he.m)+(m.H-he)+b2+(n.H)$	5,280	6,000	31,680	Tekanan Sedimen
U1	$1/2.(H+hw).b.0,3.pw$	$1/3.b$	-12,852	2,800	-35,986	Tekanan Uplift
U2	$1/2.H.b.0,3.pw$	$1/3.b$	-10,080	2,800	-28,224	Tekanan Uplift
Keadaan Banjir		$\Sigma V1$	124,35	$\Sigma MV1$	531,433	
Keadaan Normal		$\Sigma V2$	112,16	$\Sigma MV2$	464,395	

Tabel 8. Gaya Horizontal Debit 50 Tahun

Notasi	Gaya	Lengan Momen (L)	H	L	Momen (H*L)	Keterangan
	(ton)	(m)	(ton)	(m)	(tm)	
H1	K.W1	$1/3.h$	6,768	2,667	18,048	Berat Sendiri
H2	K.W2	$1/2.h$	5,640	4,000	22,560	Berat Sendiri
H3	K.W3	$1/3.h$	2,256	2,667	6,016	Berat Sendiri
Hw1	$1/2.(H+hw).((H+hw).m).pw$	$1/3.(H+hw)$	31,212	3,400	106,121	Tekanan Air Statis
Hw2	$1/2.H.(H.m).pw$	$1/3.H$	19,200	2,667	51,200	Tekanan Air Statis
Peh	$1/2.(m.he).he.pe.ce$	$1/3.he$	2,640	1,333	3,520	Tekanan Sedimen
Pd	$1,45.(cm/2).pw.K.H.H.Sec\theta$	$1/3.H$	4,295	2,667	11,454	Tekanan Air Dinamis
Keadaan Banjir		$\Sigma H1$	52,811	$\Sigma MH1$	167,719	
Keadaan Normal		$\Sigma H2$	40,799	$\Sigma MH2$	112,798	

Berikut adalah hasil gaya dan momen yang bekerja pada sabo dam saat keadaan banjir dan keadaan normal pada setiap debit periode ulang T tahun.

Tabel 9. Gaya Dan Momen yang Bekerja Pada Sabo Dam Periode Ulang T Tahun

Periode Ulang	Vertikal		Horizontal	
	Banjir	Normal	Banjir	Normal
2 Tahun	$\Sigma V = 120,470$ ton	$\Sigma V = 112,160$ ton $\Sigma MV = 464,395$ Tm	$\Sigma H = 48,674$ ton	$\Sigma H = 40,799$ ton $\Sigma MH = 112,798$ Tm
	$\Sigma MV = 510,103$ Tm		$\Sigma MH = 147,335$ Tm	
5 Tahun	$\Sigma V = 121,578$ ton		$\Sigma H = 49,826$ ton	
	$\Sigma MV = 516,197$ Tm		$\Sigma MH = 152,865$ Tm	
10 Tahun	$\Sigma V = 122,686$ ton		$\Sigma H = 51,002$ ton	
	$\Sigma MV = 522,291$ Tm		$\Sigma MH = 158,628$ Tm	
25 Tahun	$\Sigma V = 123,240$ ton		$\Sigma H = 51,599$ ton	
	$\Sigma MV = 525,339$ Tm		$\Sigma MH = 161,598$ Tm	
50 Tahun	$\Sigma V = 124,348$ ton		$\Sigma H = 52,811$ ton	
	$\Sigma MV = 531,433$ Tm		$\Sigma MH = 167,719$ Tm	
100 Tahun	$\Sigma V = 124,902$ ton	$\Sigma H = 53,426$ ton		
	$\Sigma MV = 534,480$ Tm	$\Sigma MH = 170,870$ Tm		

1) Stabilitas terhadap gaya guling

Nilai faktor aman yang disarankan adalah $sf = 1,5$ (untuk $H \leq 15$ m) (Madiastuti, 2020). Maka stabilitas terhadap guling adalah :

1. Kondisi banjir :

$$Sf = \frac{\Sigma MV1}{\Sigma MH1} = \frac{531,433}{167,719} = 3,169 \geq 1,5 \rightarrow \text{aman}$$

2. Kondisi normal :

$$Sf = \frac{\Sigma MV2}{\Sigma MH2} = \frac{464,395}{112,798} = 4,117 \geq 1,5 \rightarrow \text{aman}$$

2) Stabilitas terhadap gaya geser

Nilai faktor aman yang disarankan adalah $sf = 1,2$ (untuk $H \leq 15$ m). Maka stabilitas terhadap geser adalah :

a) Kondisi banjir :

$$Sf = \frac{f \times \Sigma V1}{\Sigma H1} = \frac{0,6 \times 124,348}{52,811} = 1,413 \geq 1,2 \rightarrow \text{aman}$$

b) Kondisi normal :

$$Sf = \frac{f \times \Sigma V2}{\Sigma H2} = \frac{0,6 \times 112,160}{40,799} = 1,649 \geq 1,2 \rightarrow \text{aman}$$

3) Stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah

Stabilitas terhadap gaya runtuh dihitung dengan rumus pondasi menerus sebagai berikut (terzaghi):

$$Q_{ult} = c.N_c + \gamma_s.hp.N_q + 1/2.\gamma_s.b.N_\gamma$$

Pada lokasi sabo dam, dianggap data tanah dasar untuk lokasi pondasi adalah sebagai berikut :

$$c = 1,000$$

$$\gamma_s = 1,100 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi = 45^\circ$$

$$H_p = 4 \text{ m}$$

$$B = 8,40 \text{ m}$$

berdasarkan tabel daya dukung tanah terzaghi maka diperoleh nilai

$$N_c = 172,3 ; N_c' = 51,2$$

$$N_q = 173,3 ; N_q' = 35,1$$

$$N_Y = 297,5 ; N_Y' = 37,7$$

Perhitungan :

Keruntuhan geser umum :

$$Q_{ult} = 1 \times 172,3 + 1,10 \times 4 \times 173,3 + 1/2 \times 1,10 \times 8,40 \times 297,5$$

$$Q_{ult} = 2309,270 \text{ ton/m}^3$$

Faktor keamanan diambil 3, maka besar stabilitas tidak runtuh adalah :

$$\sigma = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{2309,270}{3} = 769,757 \text{ ton/m}^3$$

Keruntuhan geser lokal :

$$Q_{ult}' = 1 \times 51,2 + 1,10 \times 4 \times 35,1 + 1/2 \times 1,10 \times 8,40 \times 37,7$$

$$Q_{ult}' = 379,814 \text{ ton/m}^3$$

Faktor keamanan diambil 3, maka besar stabilitas tidak runtuh adalah :

$$\sigma' = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{379,814}{3} = 126,605 \text{ ton/m}^3$$

a) Kondisi banjir :

Nilai Eksentrisitas :

$$e = \frac{\Sigma MV1 - \Sigma MH1}{\Sigma V1} - \frac{b}{2} \leq (b/6)$$

$$e = \frac{531,433 - 167,719}{124,348} - \frac{8,40}{2} = -1,275 \leq 1,400 \rightarrow \text{aman}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\sigma_{max/min} = \left(\frac{\Sigma v1}{b} \right) \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{b} \right)$$

$$\sigma_{max/min} = \left(\frac{124,348}{8,40} \right) \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot (-1,275)}{8,40} \right)$$

$$\sigma_{max} = 27,624 \text{ ton/m}^2 < \sigma \text{ dan } \sigma' \rightarrow \text{aman}$$

$$\sigma_{min} = 1,983 \text{ ton/m}^2 > 0 \rightarrow \text{aman}$$

b) Kondisi Normal :

Nilai Eksentrisitas :

$$e = \frac{\Sigma MV2 - \Sigma MH2}{\Sigma V2} - \frac{b}{2} \leq (b/6)$$

$$e = \frac{464,395 - 112,798}{112,160} - \frac{8,40}{2} = -1,065 \leq 1,4 \rightarrow \text{aman}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\sigma_{max/min} = \left(\frac{\Sigma v1}{b} \right) \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{b} \right)$$

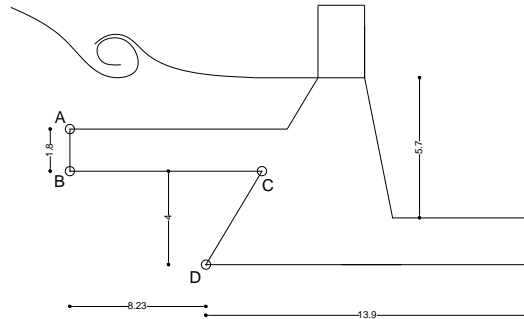
$$\sigma_{max/min} = \left(\frac{112,160}{8,40} \right) \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot (-1,065)}{8,40} \right)$$

$$\sigma_{max} = 27,254 \text{ ton/m}^2 < \sigma \text{ dan } \sigma' \rightarrow \text{aman}$$

$$\sigma_{min} = 2,352 \text{ ton/m}^2 > 0 \rightarrow \text{aman}$$

4) Stabilitas terhadap bahaya *piping*

Metode angka rembesan *lane* adalah cara yang dianjurkan untuk mengecek bangunan guna mengetahui erosi bawah tanah. Panjang rembesan *lane* untuk masing-masing jenis tanah pondasi dapat dilihat pada gambar 6 dan hasil perhitungan panjang rembesan dapat dilihat pada tabel 10.



Gambar 6. Sketsa Panjang Rembesan

Tabel 10. Panjang Rembesan

Titik	Garis	Panjang Rembesan			ΔH m
		LV M	LH m	1/3.LH m	
A		0	0	0	5,700
B	AB	1,800	-	-	
C	BC	-	8,230	2,743	
D	CD	4,000	-	-	
E	DE	-	13,900	4,633	
F	EF	2,000	-	-	
Σ		7,800		7,377	

Berdasarkan tabel nilai minimum angka rembesan *lane* adalah 2,5

$$C_L = \frac{7,800 + 7,377}{5,700} = 2,633 \geq 2,5 \rightarrow \text{aman}$$

3.7. Pengendalian Sedimen

Tabel 11. Sedimen Periode Ulang T Tahunan

Periode Ulang (tahun)	Q (m ³ /dt)	Qs (m ³ /dt)	Sedimen		V. Tampung (m ³)
			(m ³ /dt)	(m ³ /hari)	
2	116,620	139,944	23,324	2.015.198,821	4.993.419,961
5	146,687	176,025	29,337	2.534.758,475	
10	166,074	199,289	33,215	2.869.762,672	
25	190,173	228,207	38,035	3.286.183,350	
50	207,846	249,415	41,569	3.591.577,978	
100	225,506	270,607	45,101	3.896.738,110	

Berdasarkan hasil volume tampung sedimen di DAS Kali Woro sebesar 4.993.419,961 m³ dan sedimen yang dihasilkan per hari sangat besar saat terjadi aliran debris dari Gunung Merapi melalui Kali Woro, maka beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk pengendalian sedimen berupa, yaitu :

- 1) Melakukan pengerukan material sedimen di lokasi sabo dam saat tampungan sedimen mulai penuh.
- 2) Melakukan pemeliharaan secara rutin atau rehabilitasi sabo dam yang rusak agar fungsi dari bangunan dapat bekerja dengan baik.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan di awal, maka dapat ditarik kesimpulan diantaranya, sebagai berikut:

- 1) Hasil dari analisis pada DAS Kali Woro dengan luas DAS 21,776 km² didapatkan tinggi curah hujan periode 2 tahun sebesar 85,758 mm, 5 tahun sebesar 107,868 mm, 10 tahun sebesar 122,124 mm, 25 tahun sebesar 139,845 mm, 50 tahun sebesar 152,841 mm dan 100 tahun sebesar 165,827 mm.
- 2) Besaran debit banjir rancangan tanpa sedimen dengan menggunakan metode HSS Nakayasu pada 2 tahun sebesar 116,620 m³/dt, 5 tahun sebesar 146,687 m³/dt, 10 tahun sebesar 166,074 m³/dt, 25 tahun sebesar 190,173 m³/dt, 50 tahun sebesar 207,846 m³/dt, dan 100 tahun sebesar 225,506 m³/dt.
- 3) Analisis Stabilitas Bangunan *Sabo Dam* WO-C3 (Oprit Kendalsari) dengan periode banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun masih aman terhadap gaya guling, gaya geser, keruntuhan daya dukung tanah dan bahaya *piping*.
- 4) Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan pada *Sabo Dam* WO-C3 (Oprit Kendalsari) dapat menampung sedimen statis sebesar 228.723,750 m³ dan sedimen dinamis sebesar 114.361,875 m³, sehingga *sabo dam* dapat menampung sedimen sebesar 343.085,625 m³

4. SARAN

Pemerintah sebaiknya memberikan pemahaman tentang bangunan sabo dam terhadap masyarakat supaya tidak terjadi anggapan bahwa bangunan sabo dam tidak ada fungsinya, dikarenakan bangunan sabo dam pada umumnya jauh dari pemukiman dan cara kerja bangunan sabo dam pada saat banjir lahar atau ada aliran sedimen.

Volume tampung sedimen yang penuh perlu pengerukan material sedimen, agar fungsi dari bangunan tidak terganggu dan dapat berfungsi dengan baik karena sedimen yang akan mengalir dari Gunung Merapi melalui Kali Woro masih berjumlah besar maka perlu dilakukannya pemeliharaan secara rutin atau rehabilitasi sabo dam yang rusak.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena rahmat dan kehendak-Nya peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini. Peneliti sadari skripsi ini tidak akan selesai tanpa doa, dukungan dan dorongan dari berbagai pihak. Adapun dalam kesempatan ini peneliti ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada Ibu Andrea Sumarah Asih, ST, M.Eng selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Anggi Hermawan, ST, M.Eng selaku Dosen Pembimbing II.

DAFTAR PUSTAKA

- Andharini, Enggar Dyah. 2015. Desain Sabo Dam Di Pa-C4 Kali Pabelan Merapi. *Naskah Publikasi*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo.
- Cahyono, Joko. 2000. Pengantar Teknologi. Yayasan Sabo Indonesia. Yogyakarta.
- Harseno, Edy dan Marsinus. 2008. Analisis Stabilitas Sabo Dam Dan Gerusan Lokal Kali Woro Gunung Merapi Kabupaten Klaten. *Majalah Ilmiah UKRIM*. 1 (8): 1-3.
- Madiastuti, Sri dkk. 2020. Analisis Stabilitas Bangunan Sabo Dam Ge-C13 Kali Gendol Merapi. *Jurnal Teknik Sipil*. 9 (1): 41-46.
- Sri Harto. 2005. Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. Hidrologi Terapan. Beta Offset. Yogyakarta.

