

STUDI PERENCANAAN TUBUH BENDUNGAN UTAMA (MAIN DAM) PADA PEMBANGUNAN WADUK BENDO KABUPATEN PONOROGO

Yeni Safitri¹, Eko Noerhayati², Bambang Suprpto³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, email : safitriyeni90@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, email : eko.noerhayati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, email : bambang.suprpto@unisma.ac.id

ABSTRAK

Beberapa wilayah di Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur memiliki suatu permasalahan pengelolaan SDA, diantaranya banjir saat musim penghujan dan kekurangan air bersih ketika musim kemarau tiba. Untuk mengatasi permasalahan tersebut direncanakan Bendungan Bendo. Metode perencanaan diawali dengan menentukan letak lokasi, hidrologi, dan hidrolis yang akhirnya didapatkan informasi untuk menentukan desain bendungan. Dari hasil studi didapatkan dimensi tubuh bendungan berdasarkan Q1000th antara lain tinggi bendungan 88 m, elevasi puncak bendungan El.224.00, Panjang puncak bendungan 15 m. Material penyusun tubuh bendungan memiliki sifat fisik dan mekanis yang memenuhi kriteria yang ada. debitnya sebesar 649.16 m³/dtk untuk mendapatkan besarnya debit aliran sungai digunakan metode *HSS Nakayasu*. Sehingga total tampungan bendungan adalah sebesar 43,599 x 10⁶ m³. Hasil Stabilitas lereng bagian hulu Kondisi setelah bendungan selesai dibangun Keadaan normal yaitu 2,376 > 1,5 (aman) dan di keadaan gempa yaitu 1,772 > 1,1 (aman). Hasil analisa stabilitas terhadap rembesan sebagai berikut 0.0094 m³/detik < 0.05% < 21799.5 m³/detik (aman).

Kata Kunci : Perencanaan Main Dam, Bendungan Tipe Urugan, Bendungan Bendo.

ABSTRAC

Some areas in Ponorogo Regency, East Java Province have a natural resource management problem, including flooding during the rainy season and lack of clean water when the dry season arrives. To overcome these problems, Bendo Dam is planned. The planning method begins by determining the location, hydrology, and hydraulic location, which finally obtained information to determine the design of the dam. From the results of the study we found the dimensions of the dam body based on Q1000th, including the dam height of 88 m, the elevation of the dam peak El.224.00, the length of the dam peak 15 m. The building material of the dam body has physical and mechanical properties that meet the existing criteria. discharge is 649.16 m³ / sec to get the magnitude of the river flow discharge using the Nakayasu HSS method. So that the total dam reservoir is 43,599 x 10⁶ m³. Results Upstream slope stability after the dam has been built The normal state is 2.337> 1.5 (safe) and in an earthquake situation is 1.772> 1.1 (safe). The results of the analysis of the stability of seepage are as follows: 0.0094 m³ / sec < 0.05% < 21799.5 m³ / sec (safe).

Keywords: Main Dam Planning, Urugan Type Dam, Bendo Dam.

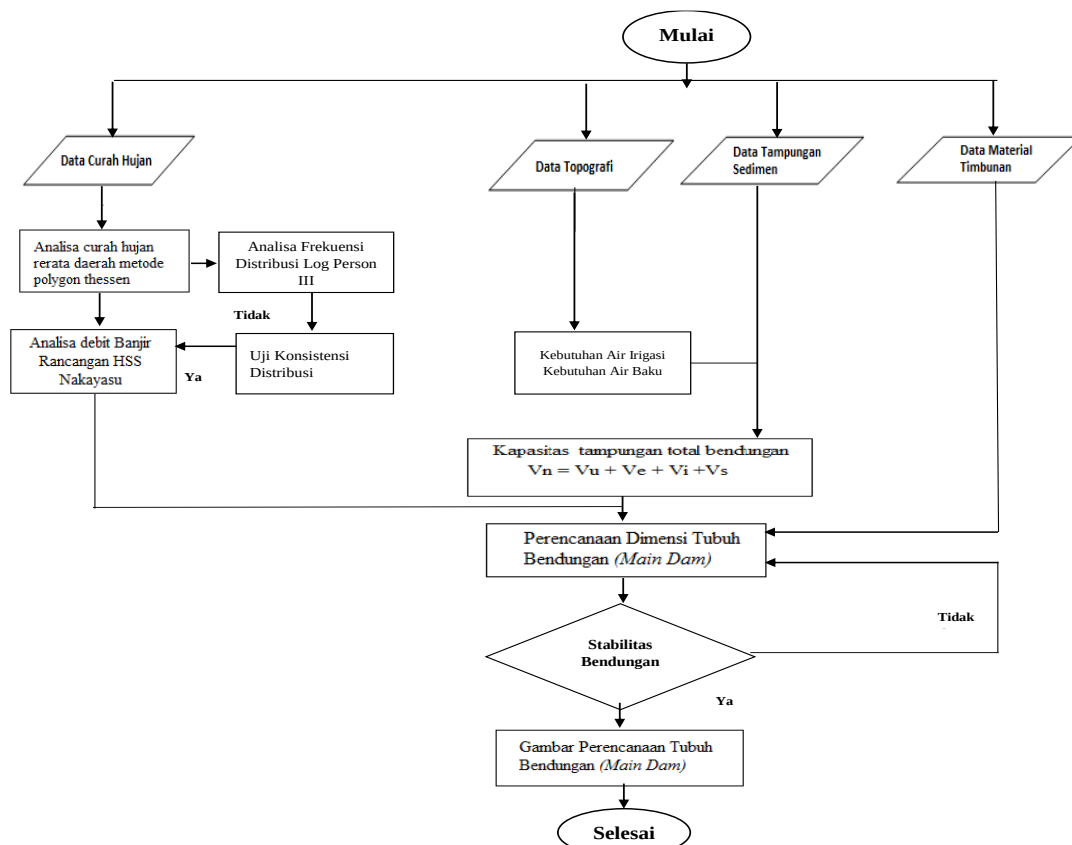
PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan ditujukan sebagai penampung air bagi kegiatan pertanian (*Single-Purposed Dam*). Mengingat ketertinggalan di bidang pembangunan waduk memicu berbagai permasalahan; diantaranya penurunan kualitas air tanah dan air permukaan sungai. Di berbagai daerah masih sering terjadi kekurangan air ketika musim kemarau, walau hanya untuk kebutuhan sehari-hari, hingga menurunnya tingkat kesejahteraan masyarakat. (Anonim). Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan pembangunan bendungan, pembangunan bendungan di Kabupaten Ponorogo menjadi suatu hal yang penting yang berguna untuk menampung air selama musim hujan agar air di sungai keyang dan sungai ngindeng tidak tebuang begitu saja. Disamping itu dengan adanya bendungan ini maka akan menambah cadangan air tambahan untuk daerah sekitar dan kepada masyarakat Bendo khususnya dan akan menaikkan muka air tanah di sekitarnya.

METODOLOGI PENELITIAN

Waduk Bendo terletak di Kali Ngindeng anak Kali Madiun. Menurut wilayah administrasi pemerintahan, lokasi ini masuk dalam wilayah Dukuh Bendo, Desa Ngindeng, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur atau ± 14 km sebelah tenggara Kota Ponorogo. Secara geografis lokasi rencana Waduk Bendo terletak pada posisi antara $70^{\circ} 49' 33''$ – $70^{\circ} 59' 36''$ LS dan $111^{\circ} 34' 57''$ – $111^{\circ} 44' 40''$ BT. Penyusunan akhir Perencanaan Bendung Bendo menggunakan metodologi seperti Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Perencanaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Konsistensi Data

Tabel 1. Uji Konsistensi Data

TAHUN	STASIUN SAWOO	STASIUN SOKOO	KUMULATIF STASIUN SAWOO (mm)	KUMULATIF STASIUN SOKOO (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2009	732	2598	732	2598
2010	792	2071	1524	4669
2011	817	2220	2341	6889
2012	3054	3908	5395	10797
2013	1410	1786	6805	12583
2014	1722	2190	8527	14773
2015	2107	2442	10634	17215
2016	1196	1702	11830	18917
2017	1571	2103	13401	21020
2018	1793	2542	15194	23562

Sumber : Pengolahan Data

Curah Hujan Maksimum Tahunan

Dalam analisis curah hujan rata – rata digunakan metode Arithmetic dengan dua stasiun hujan yang berpengaruh dalam perhitungan yaitu Stasiun Sawoo dan Stasiun Sokoo. Dari data yang didapat, hasil perhitungan curah hujan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Curah Hujan

TAHUN	STASIUN PENGAMATAN		RATA - RATA
	SAWOO (mm)	SOKOO (mm)	
1	2	3	4
2009	39	136	88
2010	62	70	66
2011	65	70	68
2012	112	93	103
2013	78	83	81
2014	64	92	78
2015	64	90	77
2016	47	104	76
2017	64	90	77
2018	83	94	89

Sumber : Pengolahan Data

Analisa Distribusi Frekuensi Curah Hujan Rancangan

Tabel 3. Uji Chi Square

No	p (%)	X	Jumlah Data		Fe-Ft	(Fe-Ft) ² /Ft
			Fe	Ft		
1	0 < x ≤ 25	0 - 50,2852	2	2.5	-0.5	0.10
2	25 < x ≤ 50	50,2852 - 90,3583	2	2.5	-0.5	0.10
3	50 < x ≤ 75	90,3583 - 100,8692	4	2.5	1.5	0.90
4	75	100,8691 >	2	2.5	-0.5	0.10
Jumlah			10	10		1.20

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 4. Tabel Uji Smirnov-Kolmogorov

No	Pe (x)	X (m/dt)/ X	log X	G (log X- log X rerata)/S	Pr (%)	Pt (x) 100- Pr/ 100	Pe(x)- Pt(X)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1	0.076	66	1.820	-2.169	80.072	0.199	-0.122
2	0.153	68	1.833	-1.819	80.054	0.199	-0.122
3	0.230	76	1.881	-0.517	79.985	0.199	-0.045
4	0.307	77	1.886	-0.364	60.021	0.200	0.030
5	0.384	77	1.886	-0.364	60.021	0.399	-0.092
6	0.461	78	1.892	-0.213	60.014	0.399	-0.015
7	0.538	81	1.908	0.229	59.994	0.399	0.061
8	0.615	88	1.944	1.199	59.951	0.400	0.138
9	0.692	89	1.949	1.331	59.945	0.400	0.214
10	0.769	103	2.013	3.041	19.926	0.400	0.291
Jumlah			19.0	Δ max			0.3397
Rerata			1,90				

Sumber : Pengolahan Data

Uji Kesesuaian Distribusi

Berdasarkan analisis distribusi data hujan menggunakan distribusi sebaran Log Pearson Tipe III di dapat rekapitulasi curah hujan rencana sebagai berikut :

Tabel 5. Curah Hujan Rancangan Metode Log Person Type III dengan Berbagai Kala Ulang.

Kala Ulang (Tr)	Pr(%)	Cs	G	log Xrerata	log X	X (mm)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
2	50	0.1	0.857	1.9	1.94619	88.3471
5	20	0.1	0.983	1.9	1.9530	89.7351
10	10	0.1	1.200	1.9	1.9647	92.1837
20	5	0.1	1.473	1.9	1.9794	95.3632
50	2	0.1	1.720	1.9	1.9927	98.3266
100	1	0.1	1.543	1.9	1.9832	96.1984
200	0.5	0.1	1.886	1.9	2.0017	100.3819
1000	0.1	0.1	1.934	1.9	2.0042	100.9817

Sumber : Pengolahan Data

Distribusi Hujan Jam-Jaman

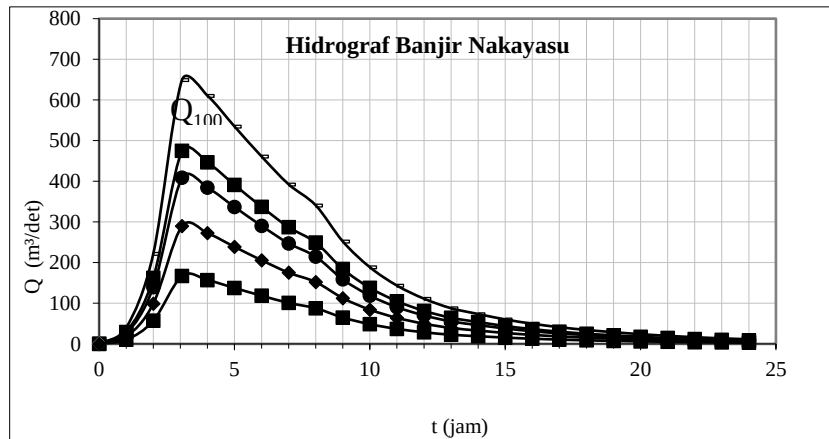
Curah hujan netto jam-jaman adalah hasil perkalian antara curah rancangan dengan kala ulang tertentu dengan koefisien pengaliran dengan memperhitungkan distribusi hujan tiap jamnya. Curah hujan harian maksimum selama 24 jam diambil terpusat 6 jam.

$$R_t = \frac{R_{24}}{t} \left[\frac{t}{T} \right]^{2/3}$$

Analisa Hidrograf Satuan dan Hidrograf Banjir

Tabel 6. Hidrograf banjir rancangan dengan Q1000 Metode Nakayasu

t (jam)	U (t,1) (m³/det/mm)	Debit Banjir Dengan Kala Ulang (m³/det)									
		2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
		tahun	tahun	tahun	tahun	tahun	tahun	tahun	tahun	tahun	tahun
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.55	5.99	10.30	13.48	17.09	17.88	21.43	25.22	29.29	37.11	40.04
2	2.91	33.18	57.03	74.64	94.63	99.00	118.66	139.68	162.21	205.49	221.76
3	8.875	97.13	166.93	218.50	277.00	289.79	347.36	408.88	474.83	601.54	649.16
4	5.69	91.35	156.99	205.49	260.50	272.53	326.66	384.52	446.54	565.70	610.49
5	3.92	80.03	137.54	180.02	228.22	238.76	286.19	336.87	391.21	495.61	534.84
6	2.70	68.98	118.55	155.18	196.72	205.81	246.69	290.38	337.22	427.20	461.03
7	1.86	58.72	100.92	132.09	167.45	175.19	209.99	247.18	287.04	363.65	392.43
8	1.58	51.00	87.65	114.73	145.44	152.16	182.38	214.69	249.31	315.85	340.85
9	1.24	37.71	64.81	84.83	107.55	112.51	134.86	158.75	184.35	233.55	252.04
10	0.96	28.21	48.49	63.46	80.46	84.17	100.89	118.76	137.92	174.72	188.55
11	0.75	21.48	36.91	48.31	61.24	64.07	76.80	90.40	104.98	132.99	143.52
12	0.59	16.64	28.60	37.43	47.46	49.65	59.51	70.05	81.35	103.06	111.22
13	0.46	13.14	22.58	29.55	37.46	39.19	46.98	55.30	64.21	81.35	87.79
14	0.43	11.00	18.91	24.75	31.37	32.82	39.34	46.31	53.78	68.13	73.53
15	0.35	9.01	15.48	20.27	25.69	26.88	32.22	37.93	44.04	55.80	60.21
16	0.29	7.42	12.75	16.69	21.15	22.13	26.53	31.23	36.26	45.94	49.58
17	0.24	6.15	10.57	13.83	17.53	18.34	21.99	25.88	30.05	38.07	41.09
18	0.20	5.13	8.82	11.54	14.63	15.31	18.35	21.60	25.08	31.77	34.29
19	0.17	4.31	7.41	9.70	12.30	12.87	15.42	18.15	21.08	26.71	28.82
20	0.14	3.58	6.15	8.05	10.21	10.68	12.80	15.07	17.50	22.17	23.92
21	0.12	2.97	5.11	6.68	8.47	8.86	10.62	12.51	14.52	18.40	19.86
22	0.10	2.47	4.24	5.55	7.03	7.36	8.82	10.38	12.05	15.27	16.48
23	0.08	2.05	3.52	4.60	5.84	6.11	7.32	8.62	10.01	12.68	13.68
24	0.07	1.70	2.92	3.82	4.84	5.07	6.08	7.15	8.30	10.52	11.35



Merupakan hasil penggambaran hidrograf metode Nakayasu dengan hubungan antara debit dan waktu dengan jumlah debit sebesar $649.153 \text{ m}^3/\text{dt}^3$.

Kebutuhan Air Irigasi

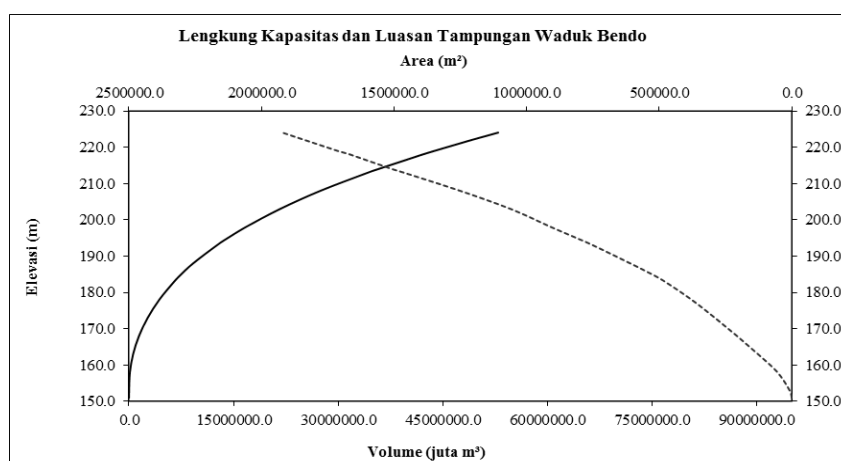
Kebutuhan air irigasi adalah sejumlah air irigasi yang diperlukan untuk mencukupi keperluan bercocok tanam pada petak sawah ditambah dengan kehilangan air pada jaringan irigasi. Daerah irigasi yang akan dilayani oleh Bendungan Bendo adalah Kebutuhan air penduduk pertahun sebesar 3.229 ha, Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi.

Kebutuhan Air Baku

Proyeksi jumlah penduduk pada tahun proyeksi 2006 lt/hari/jiwa. Berdasarkan jumlah jiwa, daerah rencana bendungan termasuk dalam kategori kota kecil. (Anonim)

Volume Tampungan Bendungan

Merupakan hasil penggambaran lengkung kapasitas waduk dengan hubungan antara elevasi dan volume tampungan waduk. Dimana pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa volume tampungan dan luas genangan seimbang, pada elevasi El 203 pada ketinggian 52 dengan luas $1.061.681 \text{ m}^2$ dan Volume $34.148.488 \text{ m}^3$.



Gambar 2. Hubungan antara elevasi, luas area dan tampungan bendungan Bendo

Tabel 7. Hasil rekapitulasi perhitungan antara volume tampungan bendungan dan kebutuhan air

Luas sawah DI Bendo + DI Jati	: 7,799	Ha
Outflow Air Minum	: 0.37	m ³ /det
Volume Total Waduk Bendo	: 43,114,234	m ³
Volume Tidak Efektif Waduk Bendo	: 9,176,086	m ³
Volume Efektif Waduk Bendo	: 33,938,148	m ³
Elevasi Puncak Muka Air Waduk (HWL)	: 218.60	m
Elevasi MAW Minimum Untuk Operasi (MOL)	: 188.00	m
Elevasi Tampungan Mati Waduk	: 185.00	m
Tinggi Genangan	: 33.60	m
Aliran Dasar Musim Kemarau	: 2.32	m ³ /det
Aliran Dasar Musim Hujan	: 2.40	m ³ /det

Intensitas Tanam Per periode

	MT I	MT II	MT III
Sistem Bendo	100%	100%	100%
Sistem Jati	100%	30%	95%

Intensitas Tanam = 300%

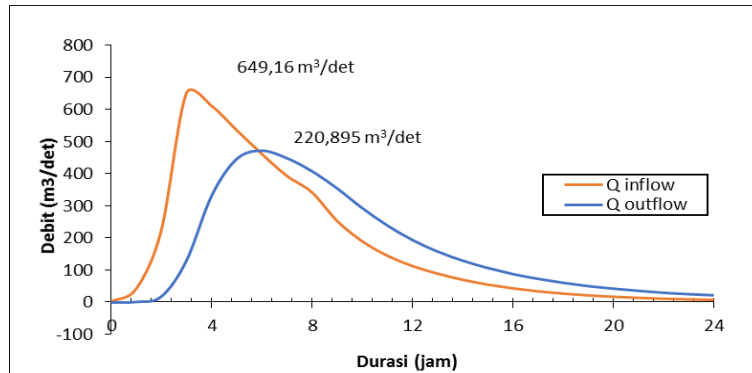
Intensitas Tanam = 225%

Tingkat Keberhasilan = 100%

Tahun	Bulan	Periode	Juml. hari	Debit	Base Flow	Volume Inflow	Kebutuhan Air Irigasi		Kebutuhan Air Baku		Maintenance Flow		Kehilangan		Total Outflow	Vin-Vout	Vol.Efektif	Tamp. Waduk Pada waktu t St+1=St+It-Ot	Spillout	Defisit	Elevasi Muka Air
				(m ³ /dt)	(m ³ /dt)	(10 ⁶ m ³)	(m ³ /det)	(10 ⁶ m ³)	(m ³ /dt)	(10 ⁶ m ³)	(m ³ /dt)	(10 ⁶ m ³)	(mm/hari)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
2016	April	1	10	34.704	2.400	32.058	4.00	3.453	0.00	0.000	0.100	0.000	4.66	0.624	4.077	27.981	33.938	43.114	27.981	0.000	218.60
		2	10	13.944	2.400	14.121	2.01	1.738	0.00	0.000	0.100	0.000	4.66	0.624	2.362	11.760	33.938	43.114	11.760	0.000	218.60
	Mei	3	10	5.633	2.400	6.941	1.75	1.512	0.00	0.000	0.100	0.000	4.66	0.624	2.136	4.805	33.938	43.114	4.805	0.000	218.60
		1	10	1.33	2.320	3.155	5.18	4.472	0.37	0.320	0.500	0.014	4.37	0.584	5.389	-2.234	31.704	40.880	0.000	0.000	217.10
		2	10	4.31	2.320	5.728	6.16	5.319	0.37	0.320	0.500	0.014	4.37	0.584	6.236	-0.508	31.197	40.373	0.000	0.000	216.77
	Juni	3	11	0.91	2.320	3.072	6.22	5.911	0.37	0.352	0.500	0.015	4.37	0.642	6.920	-3.848	27.348	36.525	0.000	0.000	214.21
		1	10	0.827	2.320	2.719	5.03	4.348	0.37	0.320	0.500	0.014	3.87	0.517	5.199	-2.480	24.869	34.045	0.000	0.000	212.53
		2	10	0.790	2.320	2.687	4.93	4.256	0.37	0.320	0.500	0.014	3.87	0.517	5.106	-2.419	22.450	31.626	0.000	0.000	210.84
	Juli	3	10	0.750	2.320	2.652	4.82	4.163	0.37	0.320	0.500	0.014	3.87	0.517	5.014	-2.361	20.089	29.265	0.000	0.000	209.12
		1	10	0.710	2.320	2.618	3.89	3.357	0.37	0.320	0.500	0.014	4.23	0.565	4.256	-1.638	18.451	27.627	0.000	0.000	207.86
		2	10	0.668	2.320	2.582	2.04	1.758	0.37	0.320	0.500	0.014	4.23	0.565	2.657	-0.076	18.375	27.551	0.000	0.000	207.80
	Agustus	3	11	0.624	2.320	2.798	4.01	3.811	0.37	0.352	0.500	0.015	4.23	0.622	4.800	-2.002	16.373	25.549	0.000	0.000	206.19
		1	10	0.578	2.320	2.504	0.94	0.810	0.37	0.320	0.500	0.014	4.06	0.542	1.686	0.818	17.191	26.367	0.000	0.000	206.86
		2	10	0.534	2.320	2.466	2.91	2.512	0.37	0.320	0.500	0.014	4.06	0.542	3.388	-0.922	16.269	25.445	0.000	0.000	206.10
	September	3	11	0.489	2.320	2.670	3.07	2.920	0.37	0.352	0.500	0.015	4.06	0.596	3.883	-1.213	15.056	24.232	0.000	0.000	205.07
		1	10	0.444	2.320	2.388	4.02	3.470	0.37	0.320	0.500	0.014	4.16	0.556	4.360	-1.972	13.084	22.261	0.000	0.000	203.32
		2	10	0.402	2.320	2.352	4.88	4.216	0.37	0.320	0.500	0.014	4.16	0.556	5.105	-2.754	10.331	19.507	0.000	0.000	200.66
	Oktober	3	10	0.362	2.320	2.317	5.69	4.913	0.37	0.320	0.500	0.014	4.16	0.556	5.803	-3.485	6.845	16.022	0.000	0.000	196.91
		1	10	0.324	2.320	2.284	3.13	2.708	0.37	0.320	0.500	0.014	4.43	0.592	3.634	-1.350	5.496	14.672	0.000	0.000	195.33
		2	10	0.285	2.320	2.251	2.94	2.543	0.37	0.320	0.500	0.014	4.43	0.592	3.469	-1.218	4.278	13.454	0.000	0.000	193.83
	November	3	11	0.250	2.320	2.443	2.82	2.680	0.37	0.352	0.500	0.015	4.43	0.652	3.698	-1.256	3.022	12.198	0.000	0.000	192.21
		1	10	2.760	2.400	4.458	0.28	0.242	0.00	0.000	0.250	0.000	5.21	0.697	0.939	3.519	6.541	15.717	0.000	0.000	196.56
		2	10	3.436	2.400	5.042	2.34	2.018	0.00	0.000	0.250	0.000	5.21	0.697	2.715	2.328	8.868	18.045	0.000	0.000	199.14
	Desember	3	10	3.785	2.400	5.344	3.21	2.776	0.00	0.000	0.250	0.000	5.21	0.697	3.473	1.871	10.740	19.916	0.000	0.000	201.07
		1	10	12.276	2.400	12.680	4.01	3.464	0.00	0.000	0.100	0.000	4.73	0.633	4.096	8.584	19.323	28.499	0.000	0.000	208.54
		2	10	15.017	2.400	15.048	1.85	1.596	0.00	0.000	0.100	0.000	4.73	0.633	2.228	12.820	32.143	41.319	0.000	0.000	217.40
	Januari	3	11	6.129	2.400	8.106	2.82	2.676	0.00	0.000	0.100	0.000	4.73	0.696	3.372	4.734	33.938	43.114	4.734	0.000	218.60
		1	10	14.148	2.400	14.297	1.78	1.541	0.00	0.000	0.000	0.000	4.57	0.611	2.152	12.145	33.938	43.114	12.145	0.000	218.60
		2	10	1.122	2.400	3.043	1.88	1.620	0.00	0.000	0.000	0.000	4.57	0.611	2.232	0.811	33.938	43.114	0.811	0.000	218.60
	Pebruari	3	11	10.920	2.400	12.659	1.73	1.645	0.00	0.000	0.000	0.000	4.57	0.672	2.317	10.342	33.938	43.114	10.342	0.000	218.60
		1	10	33.296	2.400	30.841	1.51	1.304	0.00	0.000	0.000	0.000	4.69	0.628	1.932	28.910	33.938	43.114	28.910	0.000	218.60
		2	10	18.356	2.400	17.933	1.47	1.272	0.00	0.000	0.000	0.000	4.69	0.628	1.900	16.033	33.938	43.114	16.033	0.000	218.60
	Maret	3	8	5.838	2.400	5.694	1.69	1.168	0.00	0.000	0.000	0.000	4.69	0.502	1.670	4.023	33.938	43.114	4.023	0.000	218.60
		1	10	13.738	2.400	13.943	0.49	0.427	0.00	0.000	0.000	0.000	4.77	0.638	1.065	12.879	33.938	43.114	12.879	0.000	218.60
		2	10	11.317	2.400	11.851	0.07	0.061	0.00	0.000	0.000	0.000	4.77	0.638	0.699	11.153	33.938	43.114	11.153	0.000	218.60
		3	11	2.968	2.400	5.102	3.26	3.097	0.00	0.000	0.000	0.000	4.77	0.702	3.799	1.303	33.938	43.114	1.303	0.000	218.60

Penelusuran Banjir Melalui Pelimpah

Penelusuran banjir adalah sebuah cara untuk menentukan nilai hidrograf outflow dari suatu hidrograf inflow. Hal ini berdasar pada konfigurasi gelombang banjir yang bergerak pada suatu tampungan. Penelusuran banjir melalui pelimpah sebagai dasar untuk perencanaan dimensi lebar pelimpah dan tinggi jagaan bendungan utama (Soedibyo,2003).



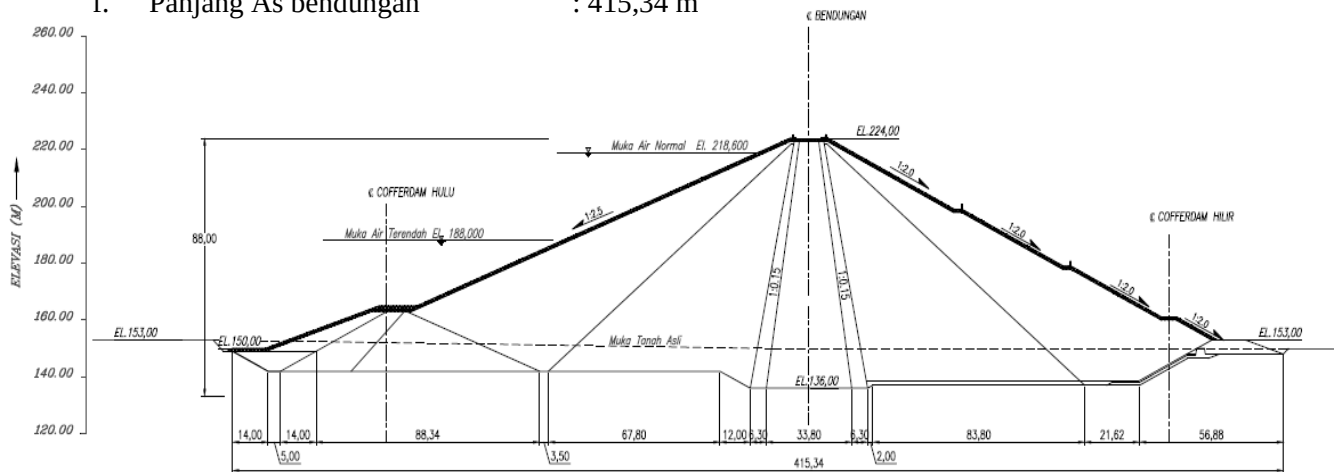
Gambar 3. Grafik hasil perhitungan penelusuran banjir Q1000 tahun melalui pelimpah

Hasil penggambaran penelusuran banjir kala ulang 1000 tahun dengan hubungan antara debit inflow dan outflow terhadap waktu. Dimana dapat kita ketahui bahwa Qinflow $649,16 \text{ m}^3/\text{det}$ lebih besar dari Qoutflow $220,895 \text{ m}^3/\text{det}$ sehingga tidak akan terjadi kekurangan air.

PERENCANAAN TUBUH BENDUNGAN

Perencanaan konstruksi Bendungan Bendo ini dibatasi pada perencanaan tubuh bendungan, analisis stabilitas. Berdasarkan analisis tampungan bendungan, muka air normal, banjir dan tampungan mati, didapat dimensi tubuh bendungan sebagai berikut:

- Tinggi bendungan : 88 m
- Elevasi puncak bendungan : El. 224,00 m
- Lebar puncak bendungan : 15,00 m
- Kemiringan lereng bagian hulu : 1 : 2,50
- Kemiringan lereng bagian hilir : 1 : 2,00
- Panjang As bendungan : 415,34 m



Gambar 4. Perencanaan Bendungan Utama (Main Dam)

Tinjauan perhitungan stabilitas tubuh bendungan meliputi tinjauan stabilitas lereng dan stabilitas rembesa bendungan.

a. Stabilitas lereng bagian hulu

- Kondisi setelah bendungan selesai dibangun

Kadaan Normal

$$FS = \frac{\sum\{C \cdot L + (N - U) \tan \theta\}}{\sum(T)}$$

$$= \frac{59,325 + 2345,094}{1012,864}$$

$$= \frac{2404,359}{1012,864}$$

$$= 2,376 > 1,5 \text{ (aman)}$$

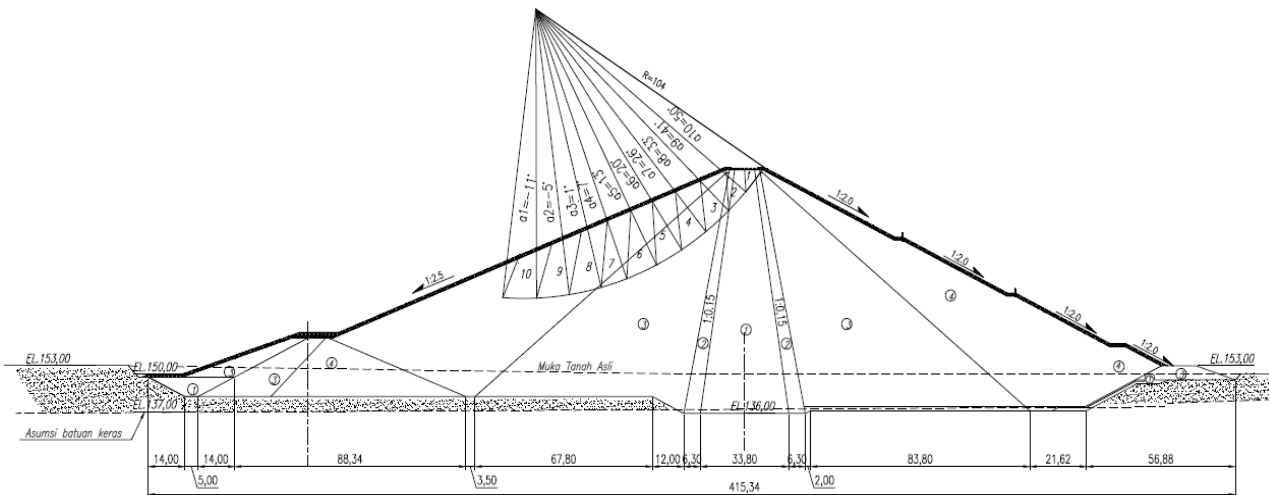
Kadaan Gempa

$$FS = \frac{\sum\{C \cdot L + (N - U - N_e) \tan \theta\}}{\sum(T + T_e)}$$

$$= \frac{59,325 + 2264,142}{(1012,864 + 298,239)}$$

$$= \frac{2323,408}{(1311,103)}$$

$$= 1,772 > 1,1 \text{ (aman)}$$



Gambar 5. Skema Perhitungan Stabilitas Lereng Bagian Hulu

b. Stabilitas lereng bagian hilir

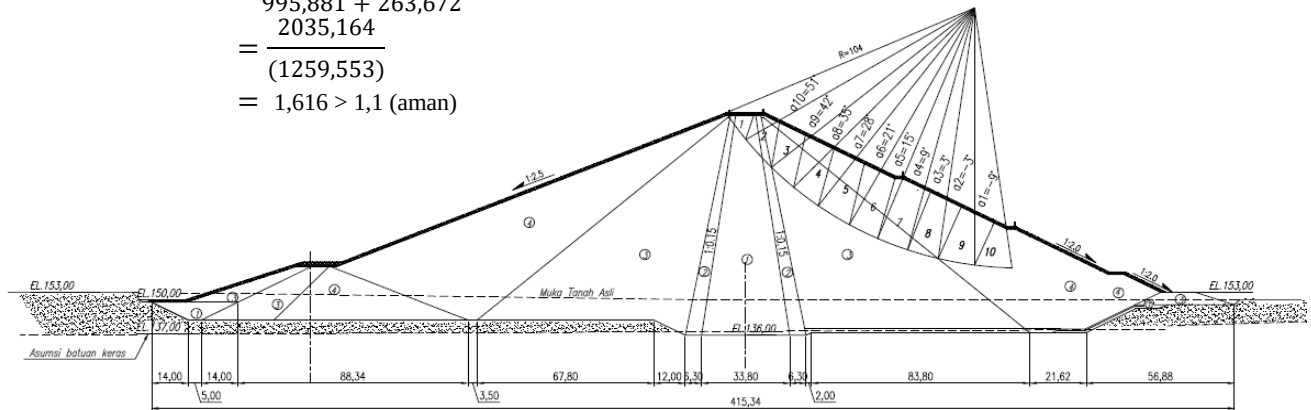
- Kondisi setelah bendungan selesai dibangun

Kadaan Normal

$$FS = \frac{\sum\{C \cdot L + (N - U) \tan \theta\}}{\sum(T)}$$

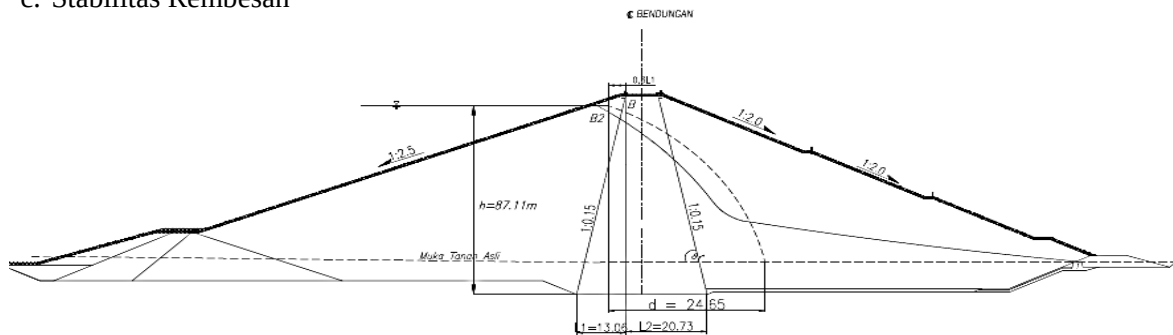
$$= \frac{51.852 + 2063.771}{995,881}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2115,509}{995,881} \\
 &= 2,124 > 1,5 \text{ (aman)} \\
 \text{Keadaan Gempa} \\
 FS &= \frac{\sum \{C \cdot L + (N - U - Ne) \tan \theta\}}{\sum (T + Te)} \\
 &= \frac{51,852 + 1983,425}{995,881 + 263,672} \\
 &= \frac{2035,164}{(1259,553)} \\
 &= 1,616 > 1,1 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

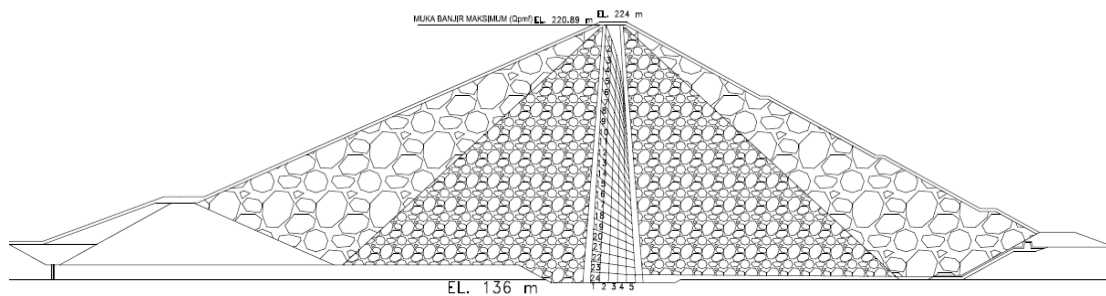


Gambar 6. Skema Perhitungan Stabilitas Lereng Bagian Hilir

c. Stabilitas Rembesan



Gambar 7. Garis Depresi



$$\begin{aligned}
 N_f &= 5 \\
 N_e &= 24
 \end{aligned}$$

Gambar 8. Jaringan Trayektori

Kapasitas Aliran Filtrasi

$$Q_f = \frac{N_f}{N_e} \cdot K \cdot H \cdot L$$

$$\begin{aligned} Q_f &= 24/5 \times 4.25 \times 10^{-8} \times 87.11 \times 188.295 \\ &= 3.346 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik} = 3.346 \text{ liter/detik} \\ &= 289.10 \text{ m}^3/\text{hari.} \end{aligned}$$

- Syarat besarnya aliran filtrasi :

$$Q_f < 1 \% \text{ dari limpasan tahunan rata-rata}$$

$$1\% \text{ dari limpasan tahunan rata-rata}$$

$$= 0.0094 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 812 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_f = 289.10 \text{ m}^3/\text{hari. (Ok!)}$$

Jadi, perkiraan besar debit yang mengalir melalui tubuh bendungan Bendo sebesar 0,0094 m³/detik. Besar debit yang mengalir melalui tubuh bendungan adalah lebih kecil dari 0,05% dari tampungan atau bila dijabarkan $Q_f < 0,05\% < \text{tampungan total}$

Dimana : Q_f = Debit Filtrasi Adapun prosedur untuk menghitung besarnya kapasitas filtrasi dengan analisa jaringan aliran (flownets) adalah sebagai berikut

$$0,05\% \times \text{tampungan total} = 0,05\% \times 43,599 \times 10^6 = 21799.5 \text{ m}^3/\text{detik.}$$

Dari perhitungan rembesan diatas di ketahui $0.0094 \text{ m}^3/\text{detik} < 0.05\% < 21799.5 \text{ m}^3/\text{detik}$ (aman).

KESIMPULAN

Dari Analisa dan hasil perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Debit banjir rancangan dengan Metode *HSS Nakayasu* kala ulang 1000th, debitnya sebesar 649.16 m³/detik.
2. Tampungan mati sebesar $9,661 \times 10^6 \text{ m}^3$ pada elevasi + El. 185.00 m dpl untuk usia guna waduk 100 tahun. Sedangkan kapasitas tampungan efektif yang dihasilkan sebesar $33,938 \times 10^6 \text{ m}^3$ pada elevasi + El. 185.00 m dpl, sehingga total tampungan bendungan adalah sebesar $43,599 \times 10^6 \text{ m}^3$.
3. Dimensi tubuh bendungan utama (*Mian Dam*) diperoleh sebagai berikut:
 - a. Tinggi bendungan : 88 m
 - b. Elevasi puncak bendungan : El. 224,00 m
 - c. Lebar puncak bendungan : 15.00 m
 - d. Kemiringan lereng bagian hulu : 1 : 2,50
 - e. Kemiringan lereng bagian hilir : 1: 2,00
 - f. Panjang As bendungan : 415,34 m
4. Hasil perhitungan stabilitas tubuh bendungan utama (*Main Dam*) waduk Bendo sebagai berikut :
 - Stabilitas lereng bagian hulu
 - Kondisi setelah bendungan selesai dibangun
Keadaan normal = $2,376 > 1,5$ (aman)
Keadaan gempa = $1,772 > 1,1$ (aman)
 - Stabilitas lereng bagian hilir
 - Kondisi setelah bendungan selesai dibangun
Keadaan normal = $2,124 > 1,5$ (aman)

- Keaadaan gempa = $1,616 > 1,1$ (aman)
- Hasil analisa stabilitas terhadap rembesan dihasilkan sebagai berikut
 $0.94 \text{ m}^3/\text{detik} < 0.05\% < 21799.5 \text{ m}^3/\text{detik}$ (aman).

SARAN

Berdasarkan analisa perhitungan pada bendungan bendu, yang sudah dilakukan sesuai dengan rumusan masalah maka disarankan berbagai hal sebagai berikut :

1. Dalam perhitungan analisa hidrologi dapat menggunakan metode yang lainya, misalkan Gumbel dan lain-lain.
2. Dari hasil simulasi perhitungan kapasitas tampungan volume air waduk masih banyak tersisa, sehingga dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan yang lainnya, misalkan kebutuhan untuk air baku.
3. Dalam mengitung stabilitas dapat mennggunakan aplikasi misalnya aplikasi Plaxis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1999. *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Volume II (Analisa Hidrologi)*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Pengairan Direktorat Bina Teknik irrigation enginnering service center Bersama japan international, Agency.
- Anonim. 2018. *Data statistik kabupaten Ponorogo*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Ponorogo.
- Anonim. 2019. *Data Hidrologi DAS Kecamatan Sawoo*. Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.
- Kamiana, 2010. *Uji Konsistensi Data*. Surabaya: Erlangga
- Soedibyo.2003. *Teknik bendungan*. Jakarta: Padma Paramitha
- Soewarno.2002. *Analisa Debit Banjir dan Debit Minimum*. Bandung: Penerbit Departemen Pemukiman dan prasarana wilayah.
- Sosrodarsono, S dan K Takeda.1988. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Padma Paramitha
- Sosrodarsono, Suyono dan K Takeda.1977. *Bendungan type Urugan*. Jakarta: PT. Padma Paramitha