

PERENCANAAN BENDUNGAN DI DUSUN SENDANG PAKELAN DESA SAMBIREJO KECAMATAN WIROSARI KABUPATEN GROBOGAN

* Puji Prasetiawan, Erni Mulyandari, Reki Arbianto

Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

^{*)}Email: whawan20puji.prasetiawan@gmail.com

ABSTRACT

Water is one of the factors for food needs, especially to increase the productivity of food barns, especially irrigation water for agricultural rice fields in the agricultural sector. With the dam in Sendang Pakelan Hamlet, Sambirejo Village, Wirosari District, Grobogan Regency, which is located in the Sambirejo river basin, it is expected to reduce water scarcity and increase the food defense index, especially rice, secondary crops, sugar cane and other planting staples.

This research was conducted using a qualitative method, namely the case study approach. The data used is primary data in the form of geological data, hydrology, hydraulics and soil mechanics. In planning the dam, the rain data analysis was carried out first so that the 25-year return period flood discharge was 162.20 m³/sec and the mainstay discharge was obtained at 257.33 m³/sec.

The water reservoir is planned at 205,600 m to irrigate a 150 ha area, with an irrigation water requirement of 0.32 m³/sec dt. The dam is planned with a Zonal Backfill Dam with a Watertight Core which has a height of 16 m with a length of 80 m and a spillway height of 8 m with a length of 30 m. The constituent materials consist of clay (core), backfill, sand, rock for rip-rap. In the analysis of slope stability against landslides using the help of the Geo-Studio Application. From the results of the analysis of the structure and protection declared safe against slopes, seepage and uplift.

Keyword: *Dam in Sendang Pakelan Hamlet, Sambirejo Village, Wirosari District, Grobogan Regency, Flood Discharge, Dam Structure Specifications.*

ABSTRAK

Air merupakan salah satu faktor kebutuhan pangan, terutama untuk meningkatkan produktifitas lumbung pangan khususnya air irigasi untuk persawahan dalam sektor pertanian. Dengan adanya Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan yang terletak di daerah aliran sungai Sambirejo diharapkan dapat mengurangi kelangkaan air dan dapat meningkatkannya indeks pertahanan pangan khususnya padi, palawija, tebu dan bahan pokok tanam lainnya.

Penelitian ini dilakukan dengan metode kualitatif yaitu dengan pendekatan studi kasus. Adapun data yang digunakan adalah data primer berupa data geologi, hidrologi, hidrolika dan mekanika tanah. Dalam perencanaan bendungan dilakukan analisis data hujan terlebih dahulu sehingga di dapatkan Debit Banjir Periode Ulang 25 tahun sebesar 162,20 m³/dt dan debit andalan diperoleh sebesar 257,33 m³/dt. Tampungannya direncanakan sebesar 205.600 m³ untuk mengairi areal 150 ha, dengan kebutuhan air irigasi sebesar 0,32 m³/dt. Bendungan di rencanakan dengan Bendungan Urugan Zonal dengan Inti Kedap Air yang memiliki ketinggian 16 m dengan panjang 80 m dan tinggi pelimpah 8 m dengan panjang 30 m. Material penyusun terdiri dari lempung (inti), tanah urugan, pasir, batu untuk rip-rap. Pada analisis stabilitas lereng terhadap longsoran dengan menggunakan bantuan Aplikasi Geo-Studio. Dari hasil analisa struktur dan stabilitas bendungan dinyatakan aman terhadap stabilitas lereng, rembesan dan uplift.

Kata kunci: Bendungan, Kabupaten Grobogan, Debit Banjir.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Air merupakan salah satu faktor kebutuhan pangan, terutama untuk meningkatkan produktifitas lumbung pangan khususnya air irigasi untuk persawahan di dalam sektor pertanian. Akibat dari perubahan iklim sangat dirasakan dari sektor pertanian karena pihak pertanian merupakan sektor paling rentan terhadap cuaca dan perubahan iklim. Untuk ituantisipasi kelangkaan air dari dampak perubahan iklim yang terjadi pada musim kemarau dan kelebihan air pada musim penghujan bahkan terbuang sia-sia, maka diperlukan pengelolaan air yang bijak. Untuk mengatasi kekurangan air dan kekeringan pada waktu musim kemarau, maka salah satu strategi yang paling tepat adalah dengan menahan aliran air dan menampung air hujan sebanyak-banyaknya di waktu musim penghujan melalui pembangunan bendungan. Sehingga dapat mempertahankan ketersediaan sumber air di dalam sektor pertanian sebagai upaya penyedia air irigasi dan persawahan.

Bendungan adalah suatu bangunan konservasi sumber daya air yang fungsinya untuk menangkap dan menampung air sungai dengan cara meninggikan muka air sungai, sehingga mendukung terciptanya jaringan irigasi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air pada musim. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh peneliti perencanaan pembangunan bendungan memiliki peranan yang sangat penting didalam bidang pertanian. Khususnya daerah pertanian di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan. Dalam proses perancangan desain bendungan, penentuan lokasi titik bendungan dan tubuh bendungan diperlukan data luasan baku sawah, topografi, geologi atau mekanika tanah, hidrologi dan daerah aliran sungai (DAS), Parameter hidrologi yang cukup dominan adalah data curah hujan minimal 10 tahun.

Maksud dan Tujuan

Maksud dilakukan perencanaan ini adalah untuk melakukan perancangan desain Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan yang berguna untuk menampung air.

Adapun tujuan dari dibangunnya Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengetahui kebutuhan air irigasi untuk melayani areal persawahan.
- 2) Mendapatkan desain bendungan yang optimal dengan aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan.
- 3) Mendapatkan panduan perencanaan konstruksi bendungan di Dusun Sendang Pakelan sehingga dapat direalisasikan di lapangan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

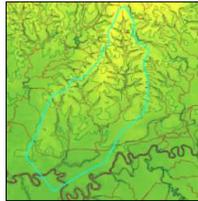
Penelitian yang akan digunakan dalam perencanaan Bendungan Dusun Sendang Pakelan adalah jenis penelitian dengan pendekatan kualitatif yang bersifat deskriptif. Metode penelitian kualitatif menurut (Creswell, 2008) merupakan suatu pendekatan atau penelusuran untuk mengeksplorasi dan memahami suatu gejala sentral. Sedangkan sifat deskriptif adalah prosedur pemecahan masalah dengan menggambarkan objek pada saat sekarang berdasarkan fakta-fakta yang nyata, kemudian dianalisa dan diinterpretasikan bentuknya berupa survei, studi kolerasi, serta studi pengembangan. Dalam perencanaan bendungan ini metodologi penyusunan sebagai berikut :

- 1) Survei dan Investigasi Pendahuluan
- 2) Pengumpulan Data Topografi, Data Geologi, Data Hidrologi
- 3) Pengolahan Data Topografi, Pengujian Data Geologi, Analisis Hidrologi
- 4) Perencanaan Konstruksi Bendungan
- 5) Perhitungan Stabilitas Konstruksi Bendungan

3. ANALISIS HIDROLOGI

Penentuan Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai Sambirejo memiliki dua jaringan anak sungai yaitu sungai sedang yang berlokasi di Dusun Sendang dan sungai pakelan yang berlokasi di Dusun Pakelan. Muara sungai Sambirejo adalah Sungai Lusi Juwana. Panjang sungai utama 8,84 dengan luas daerah aliran sungai 12,39 km².



Gambar 1 Luas Pengaruh Stasiun Hujan di DAS Sungai Sambirejo

Uji Konsistensi Data Hujan

Data hujan yang tersedia adalah data hujan Pos Hujan Waduk Simo selama 12 tahun mulai dari tahun 2010 sampai 2021. Pengujian konsistensi menggunakan metode RAPS.

Tabel 1 Uji Konsistensi Hujan Metode RAPS

k	Tahun	ΣP	ΣP-p̄	(ΣP-p̄) ²	S _p *	S _p **	S _p **	
1	2010	2530	229,71	52765,92	229,71	0,68	0,68	
2	2011	2336	35,71	1275,09	265,42	0,79	0,79	
3	2012	1934	-366,29	134169,59	-100,88	-0,30	0,30	
4	2013	2635	334,71	112029,67	233,83	0,70	0,70	
5	2014	2142	-158,29	25056,25	75,54	0,22	0,22	
6	2015	1779	-521,29	271745,00	-445,75	-1,33	1,33	
7	2016	2904	603,71	364463,75	157,96	0,47	0,47	
8	2017	2308	7,71	59,42	165,67	0,49	0,49	
9	2018	2085	-215,29	46350,50	-49,62	-0,15	0,15	
10	2019	1912	-388,29	150770,42	-437,92	-1,30	1,30	
11	2020	2297	-3,29	10,84	-441,21	-1,31	1,31	
12	2021	2742	441,21	194664,79	0,00	0,00	0,00	
Rata-rata :					2300,29			

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Perhitungan nilai simpangan adalah sebagai berikut :

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\Sigma P - \bar{P})^2}{n} = 112780$$

$$D_y = \sqrt{D_y^2} = 336$$

Tabel 2 Pengujian Nilai Kritik Q dan R (RAPS)

n	Q/n			R/n		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
∞	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00
12	1,06	1,16	1,32	1,24	1,31	1,42

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- a) Perhitungan Q Tabel :

- $\frac{Q}{\sqrt{n}} = 1,16 = 4,00$
- b) Perhitungan R Tabel :
 $\frac{R}{\sqrt{n}} = 1,3 = 4,54$
- c) Hasil Pengujian Konsistensi :
 Max[S_k**] < Q kritik
 1,80 < 4,00 → **KONSISTEN**
 Max S_k** - min < Q kritik
 3,35 < 4,54 → **KONSISTEN**

Analisis Frekuensi Curah Hujan Rencana

Besarnya curah hujan maksimum dari data hujan Pos Hujan Waduk Simo adalah sebagai berikut :

Tabel 3 Analisa Parameter Statistik Curah Hujan Maksimum

No.	Tahun	Hujan Maks (mm) (R _{su})	(X- \bar{X})	(X- \bar{X}) ²	(X- \bar{X}) ³	(X- \bar{X}) ⁴
1	2010	71	-38	1450	-55234	2103487
2	2011	86	-23	533	-12300	283919
3	2012	86	-23	533	-12300	283919
4	2013	98	-11	123	-1361	15090
5	2014	99	-10	102	-1025	10338
6	2015	100	-9	83	-749	6807
7	2016	103	-6	37	-225	1370
8	2017	107	-2	4	-9	19
9	2018	123	14	194	2695	37509
10	2019	130	21	438	9151	191412
11	2020	151	42	1757	73648	3087073
12	2021	155	46	2108	96808	4445099
Jumlah :		1309	0	7361	99099	10466041

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Perhitungan parameter yang digunakan dalam analisis susunan data dari variabel adalah dengan parameter statistik. Sebagai berikut :

- a) Harga Rata-rata \bar{X} .
 $\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i = 109 \text{ mm/detik}$
- b) Deviasi Standar (S_d).
 $S_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = 26$
- c) Koefisien Kemencengan (Skewness) (Cs).
 $C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \sum (X_i - \bar{X})^3 = 0,63$
- d) Pengukuran Kurtosis (C_k).
 $C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3) S_d^4} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 = 3,40$

Pemilihan Jenis Distribusi Sebaran

Penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter statistik dengan syarat jenis distribusi.

Tabel 4 Kesimpulan Pemilihan Jenis Sebaran

No	Jenis Sebaran	Syarat	Perhitungan	Kesimpulan
1.	Normal	Cs ≈ 0 Ck ≈ 3	Cs : 0,62 Ck : 3,40	Tidak Memenuhi
2.	Log Normal	Cs = Cv ³ + 3Cv Ck = Cv ⁴ + 6 Cv ³ + 15 Cv ⁴ + 16 Cv ² + 3	Cs : 0,62 Ck : 3,40	Tidak Memenuhi
3.	Gumbel	Cs = 1,14 Ck = 5,4	Cs : 0,62 Ck : 3,40	Tidak Memenuhi
4.	Log Pearson Tipe III	Selain dari nilai di atas	Cs : 0,62	Memenuhi

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Distribusi Log Pearson Tipe III

Tabel 5 Analisis Curah Hujan Rancangan Metode Log Pearson Tipe III

No	Hujan Maksimum	Log Xi	(LogXi - Log Xrt)	(LogXi - Log Xrt) ²	(LogXi - Log Xrt) ³	(LogXi - Log Xrt) ⁴
1,00	71,00	1,85	-0,18	0,03	-0,01	0,00
2,00	86,00	1,93	-0,09	0,01	0,00	0,00
3,00	86,00	1,93	-0,09	0,01	0,00	0,00
4,00	98,00	1,99	-0,04	0,00	0,00	0,00
5,00	99,00	2,00	-0,03	0,00	0,00	0,00
6,00	100,00	2,00	-0,03	0,00	0,00	0,00
7,00	103,00	2,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
8,00	107,00	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00
9,00	123,00	2,09	0,06	0,00	0,00	0,00
10,00	130,00	2,11	0,09	0,01	0,00	0,00
11,00	151,00	2,18	0,15	0,02	0,00	0,00
12,00	155,00	2,19	0,16	0,03	0,00	0,00
Jumlah :	1309,00	24,32	0,00	0,11	0,00	0,00
Log \bar{X} :				2,03		
S _{log} :				0,10		
Cv :				0,05		
Cs :				0,18		

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari hasil perhitungan Tabel 5 di dapat nilai CS = 0,18. Hasil interpolasi dihitung nilai Kt untuk periode ulang K25 adalah 1,811

Periode Ulang

Perhitungan rekapitulasi analisis curah hujan untuk periode ulang 25 tahun adalah sebagai berikut :

$$X_{25} = 10^{(\text{Log } \bar{x} + Kt \cdot S \log x)} = 162,20 \text{ mm}$$

Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman

Perhitungan hidrograf banjir rancangan menggunakan metode *Alternatif Block Method* (ABM). Dengan periode ulang 25 tahun yaitu P25 = 162,2 mm dan durasi hujan $t_c = 3$ jam.

Tabel 6 Perhitungan Intensitas Hujan Metode ABM

Td (jam)	Δt (jam)	It (mm/jam)	It . Td (mm)	Δp (mm)	Pt (%)	hyetograph	
						%	mm
1	0 - 1	112,46	112,46	112,46	69,34	12,64	20,51
2	1 - 2	70,85	141,69	29,23	18,02	69,34	112,46
3	2 - 3	54,07	162,20	20,51	12,64	18,02	29,23
Jumlah :				162,2	100,0	100,0	162,2

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Pola distribusi hujan ABM disajikan dalam grafik agar mudah diketahui puncak intensitas hujan terjadi pada jam ke 2 (dua) dengan nilai 112,46 mm.



Gambar 2 Grafik Hidrograf Banjir 25 Tahun

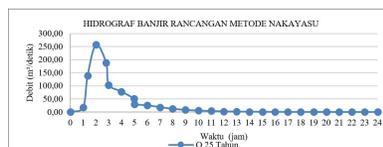
Perhitungan Debit Banjir Jam-Jaman Metode Nakayasu

Dari hasil perhitungan hidrograf satuan di atas, selanjutnya dihitung hidrograf banjir rancangan daerah pengaliran dengan berbagai periode ulang. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8 dibawah ini :

Tabel 7 Perhitungan Debit Rancangan 25 Tahun

T (jam)	Unit Hidrograf iQ (m ³ /dt)	Hujan Rancangan 25 Tahun			Q (m ³ /dt)
		R 1 jam 20,51	R 2 jam 112,46	R 3 jam 29,23	
0	0,00				0,00
1	0,90	18,47	0,00	-	18,47
1,35	1,86	38,07	101,31	0,00	139,38
2	1,08	22,21	208,79	26,33	257,33
2,80	0,56	11,42	121,79	54,27	187,48
3	0,50	10,22	62,64	31,66	104,51
4	0,29	5,87	56,06	16,28	78,21
4,97	0,17	3,43	32,21	14,57	50,20
5	0,17	3,39	18,79	8,37	30,55
6	0,11	2,23	18,57	4,88	25,69
7	0,07	1,47	12,26	4,83	18,56
8	0,05	0,97	8,09	3,19	12,25
9	0,03	0,64	5,34	2,10	8,08
10	0,02	0,42	3,52	1,39	5,33
11	0,01	0,28	2,32	0,92	3,52
12	0,01	0,18	1,53	0,60	2,32
13	0,01	0,12	1,01	0,40	1,53
14	0,00	0,08	0,67	0,26	1,01
15	0,00	0,05	0,44	0,17	0,67
16	0,00	0,03	0,29	0,11	0,44
17	0,00	0,02	0,19	0,08	0,29
18	0,00	0,02	0,13	0,05	0,19
19	0,00	0,01	0,08	0,03	0,13
20	0,00	0,01	0,06	0,02	0,08
21	0,00	0,00	0,04	0,01	0,06
22	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04
23	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02
24	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
25	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Gambar 3 Hidrograf Banjir 25 Tahun

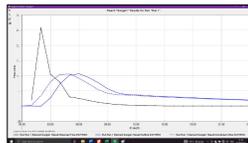
Dari Tabel 8 di atas dapat diketahui hasil perhitungan debit metode nakayasu. Berdasarkan hasil perhitungan dan pertimbangan keamanan dan efisiensi serta ketidakpastian besarnya debit banjir yang terjadi di daerah tersebut, maka debit periode ulang 25 tahun adalah sebesar 257,33 m³/dt.

Perhitungan Debit Banjir Rencana

Dalam perhitungan debit banjir rencana menggunakan bantuan aplikasi Hec-HMS. Dengan menggunakan tinggi hujan jam-jaman dan debit jam-jaman rencana periode ulang 25 tahun, hasil analisis adalah sebagai berikut :

Date	Time	Inflow (M3/S)	Outflow (M3/S)	Gate Flow (M3/S)
01-Jan-2022	00:00	0.0	0.0	0.0
01-Jan-2022	01:00	2.0	-0.2	18.8
01-Jan-2022	02:00	2.0	-0.8	207.0
01-Jan-2022	03:00	20.1	26.7	104.0
01-Jan-2022	04:00	104.3	79.1	28.0
01-Jan-2022	05:00	105.4	121.4	20.0
01-Jan-2022	06:00	91.2	106.3	25.0
01-Jan-2022	07:00	71.1	94.2	18.0
01-Jan-2022	08:00	51.9	76.7	12.0
01-Jan-2022	09:00	31.8	57.1	8.0
01-Jan-2022	10:00	20.8	43.8	5.0
01-Jan-2022	11:00	10.4	32.4	3.0
01-Jan-2022	12:00	6.3	26.7	2.0
01-Jan-2022	13:00	3.0	24.7	1.0
01-Jan-2022	14:00	2.1	22.8	1.0
01-Jan-2022	15:00	2.0	21.4	0.0
01-Jan-2022	16:00	2.1	20.7	0.0
01-Jan-2022	17:00	2.0	20.4	0.0
01-Jan-2022	18:00	2.5	20.0	0.0
01-Jan-2022	19:00	2.2	20.0	0.0
01-Jan-2022	20:00	2.0	20.0	0.0
01-Jan-2022	21:00	2.0	20.0	0.0
01-Jan-2022	22:00	2.0	20.0	0.0
01-Jan-2022	23:00	2.0	20.0	0.0
02-Jan-2022	00:00	2.0	19.9	0.0

Gambar 4 Simulasi Debit Banjir Rencana



Gambar 5 Grafik Simulasi Debit Banjir Rencana



Gambar 6 Volume Debit Banjir

Dari hasil simulasi dengan bantuan aplikasi Hec-HMS di dapatkan nilai sebagai berikut :

- Arus masuk ke waduk = 105,4 m³/dt
- Debit puncak = 106,3 m³/dt
- Volume aliran masuk = 3549,1 m³
- Volume debit = 34,69,3 m³

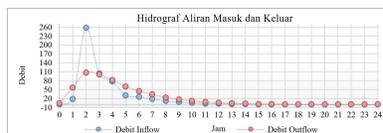
Penelusuran Banjir Waduk

Perhitungan penelusuran banjir dari hidrograf aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) melalui waduk dengan konstanta K = 2 jam, Perhitungan dengan persamaan adalah sebagai berikut :

Tabel 8 Debit Penelusuran Banjir Waduk

waktu Jam	I (m ³ /dt)	C. I. (m ³ /dt)	C. L. (m ³ /dt)	C. O. (m ³ /dt)	O (m ³ /dt)
0	0,00	-	-	-	0,00
1	18,47	3,69	0,00	0,00	3,69
2	257,33	51,47	3,69	2,22	57,38
3	104,51	20,90	51,47	34,43	106,79
4	78,21	15,64	20,90	64,08	100,62
5	30,55	6,11	15,64	60,37	82,13
6	25,69	5,14	6,11	49,28	60,52
7	18,56	3,71	5,14	36,31	45,16
8	12,25	2,45	3,71	27,10	33,26
9	8,08	1,62	2,45	19,96	24,02
10	5,33	1,07	1,62	14,41	17,10
11	3,52	0,70	1,07	10,26	12,03
12	2,32	0,46	0,70	7,22	8,39
13	1,53	0,31	0,46	5,03	5,80
14	1,01	0,20	0,31	3,48	3,99
15	0,67	0,13	0,20	2,39	2,73
16	0,44	0,09	0,13	1,64	1,86
17	0,29	0,06	0,09	1,12	1,26
18	0,19	0,04	0,06	0,76	0,85
19	0,13	0,03	0,04	0,51	0,58
20	0,08	0,02	0,03	0,35	0,39
21	0,06	0,01	0,02	0,23	0,26
22	0,04	0,01	0,01	0,16	0,17
23	0,02	0,00	0,01	0,10	0,12
24	0,02	0,00	0,00	0,07	0,08
25	0,01	0,00	0,00	0,05	0,05
26	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03

(Sumber : Hasil Perhitungan)

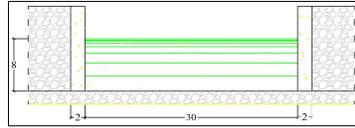


Gambar 7 Hidrograf Aliran Masuk dan Keluar

Dari Gambar 7 terlihat bahwa debit puncak aliran keluar diketahui lebih kecil dari pada aliran masuk sebesar 106,79 m³/dt. Berkurangnya puncak debit tersebut disebabkan karena adanya debit yang tertampung dalam waduk.

Perhitungan Debit Limpasan Pada Waduk Melalui Pelimpah (Spillway)

Besarnya debit banjir waduk melalui pelimpah dihitung berdasarkan analisis banjir menggunakan aliran masuk (*inflow*) berasal dari debit rencana metode HSS Nakayasu. Pecencanaan Bendungan dilengkapi dengan bangunan *spillway tipe ogee* dengan dimensi sebagai berikut :



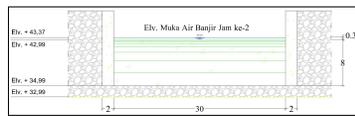
Gambar 8 Rencana Dimensi Bangunan Pelimpah

Diketahui :

- a) Lebar pelimpah (b) = 30 m
- b) Koefesien debit (*C_d*) = 1,7380
- c) Volume tampungan maksimal (V) = 205600 m³
- d) Elevasi mercu pelimpah = 8 m

Perhitungan tinggi peluapan (*H*) pada jam ke 3 adalah sebagai berikut adalah sebagai berikut :

$$H^{3/2} = \frac{Q}{\frac{2}{3} \times C_d \times B \times \sqrt{\frac{2}{3} \times g}} = 0,38 \text{ m}$$



Gambar 9 Elevasi Muka Air Banjir Jam ke 2

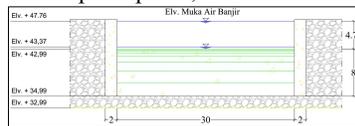
Untuk menentukan elevasi puncak bendungan maka perlu diketahui elevasi muka air banjir pelimpah dengan periode ulang 25 tahun menggunakan data debit aliran jam-jaman yang masuk ke waduk.

Tabel 9 Elevasi Peluapan di Atas Pelimpah

Waktu (t)	Q (m ³ /dt)	Debit Limpasan (m ³ /dt)	Elevasi Muka Air di Atas Pelimpah (m)	Tinggi Peluapan (m)
1	3,69	0,00	8,00	0,00
2	57,38	0,28	8,38	0,38
3	106,79	4,32	10,99	2,99
4	100,62	8,03	12,77	4,77
5	82,13	7,57	12,56	4,56
6	60,52	6,18	11,92	3,92
7	45,16	4,55	11,12	3,12
8	33,26	3,40	10,50	2,50
9	24,02	2,50	9,99	1,99
10	17,10	1,81	9,56	1,56
11	12,03	1,29	9,21	1,21
12	8,39	0,90	8,93	0,93
13	5,80	0,63	8,71	0,71
14	3,99	0,44	8,54	0,54
15	2,73	0,30	8,41	0,41
16	1,86	0,21	8,31	0,31
17	1,26	0,14	8,23	0,23
18	0,85	0,09	8,17	0,17
19	0,58	0,06	8,13	0,13
20	0,39	0,04	8,09	0,09
21	0,26	0,03	8,07	0,07
22	0,17	0,02	8,05	0,05
23	0,12	0,01	8,04	0,04
24	0,08	0,01	8,03	0,03
25	0,05	0,01	8,02	0,02
26	0,03	0,00	8,02	0,02

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari hasil analisis perhitungan di atas didapatkan elevasi muka air tertinggi adalah 12,77 meter pada elevasi + 47.76 m dpl, dengan ketinggian limpasan pada mercu pelimpah 4,77 meter dan besar debit 8,03 m³/dt pada jam ke-4.



Gambar 10 Elevasi Muka Air Banjir

Perhitungan Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit minimal yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan air. Perhitungan ini menggunakan analisis *water balance* dari *Dr. F.J Mock* berdasarkan data curah hujan bulanan. Jumlah hari hujan. Evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran.

Berdasarkan data klimatologi dari stasiun klimatologi di waduk kedungombo menunjukkan data iklim selama 8 tahun yang digunakan sebagai pengolahan pada parameter di program *cropwat*. Perhitungan evapotranspirasi tanaman acuan dengan bantuan aplikasi *Cropwat* metode *Penman-Monteith* (*Monteith, 1965*) di dapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 10 Hasil Perhitungan Evapotranspirasi Tanaman Acuan

Months	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rain	ETo
	°C	°C	%	km/hr	hour	mm/day	mm/day
January	20.1	29.1	95	41	17	143	238
February	20.1	29.1	95	28	4.7	15.5	244
March	20.9	29.9	95	14	5.9	17.1	252
April	20.9	29.4	96	21	5.1	17.3	262
May	20.9	29.6	95	21	7.5	20.4	441
June	20.9	29.3	95	29	6.1	17.9	330
July	20.6	29.2	93	33	7.7	20.4	438
August	20.1	28.2	92	35	7.5	20.6	430
September	20.7	29.9	93	35	7.6	21.5	439
October	20.1	29.0	91	33	7.6	20.4	424
November	20.3	29.1	92	40	5.1	18.7	338
December	20.2	28.4	94	31	3.9	13.6	282
Average	20.9	29.9	92	43	6.9	17.9	331

(Sumber : Hasil Perhitungan *Crowpwt*)

Dari hasil perhitungan evapotranspirasi dengan bantuan aplikasi *crowpwt* pada Tabel 9 di dapatkan nilai rata-rata evapotranspirasi sebesar 3,81 mm/hari.

Perhitungan Hubungan Elevasi Terhadap Volume Waduk

Lokasi as bendungan telah ditentukan berdasarkan pemilihan pondasi, selanjutnya dihitung volume total waduk dengan menggunakan peta topografi skala 1: 10.000 dengan beda tinggi (kontur) 1 m.

1. Kurva Kapasitas

Perhitungan analisa kapasitas tampungan didapatkan dari analisa peta topografi sungai. Dari analisa didapatkan grafik hubungan antara elevasi dengan luas dan volume suatu waduk. Hasil perhitungan volume genangan dari perencanaan waduk adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Luas Tampungan Berdasarkan Topografi

Elevasi (m)	Luas Genangan (m ²)	Volume Genangan (m ³)
34,34	16,59	16,59
34,89	92,00	92,00
35,44	249,00	249,00
35,99	498,00	498,00
36,54	597,00	597,00
37,09	900,00	900,00
37,64	2256,50	2256,50
38,19	3228,50	3228,50
38,74	4415,00	4415,00
39,29	5883,00	5883,00
39,84	7521,00	7521,00
40,39	9270,50	9270,50
40,94	11090,50	11090,50
41,49	12994,50	12994,50
42,04	14982,65	14982,65
42,59	17042,96	17042,96
43,14	19163,20	19163,20
43,69	21344,14	21344,14
44,24	23585,76	23585,76
44,79	25888,08	25888,08
45,34	28251,10	28251,10
45,89	30674,81	30674,81
46,44	33159,20	33159,20
46,99	35704,30	35704,30

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Gambar 11 Hubungan Antara Elevasi, Luas Genangan dan Volume Waduk

2. Kapasitas Tampungan Mati

Tampungan mati tidak dapat dimanfaatkan untuk pengoprasian waduk. Dengan umur rencana 25 tahun diasumsikan volume tampungan mati sebesar 92,00 m³. dari hasil interpolasi volume tampungan mati didapatkan elevasi tampungan mati ± 34,89 m dpl.

3. Kapasitas Tampungan Efektif

Luas genangan diperoleh dengan pengukuran menggunakan Autocad didapatkan luas atas = 35.825 m² pada elevasi + 46.00 m dpl, dan luas bawah = 15.575 m² pada elevasi + 34,99 m dpl. Dengan beda tinggi muka air 8 m maka didapatkan kapasitas volume sebesar :

$$\text{Volume Tampungan} = \frac{35.825 + 15.575}{2} \cdot 8 = 205.600 \text{ m}^3$$

Jadi luas kapasitas tampungan rencana Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan sebesar 205.600 m³.

4. PERENCANAAN STRUKTUR BENDUNGAN

Dalam Perencanaan Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan pada umumnya perlu memperhatikan beberapa aspek yang terpenting yaitu sebagai berikut :

1. Desain Tubuh Bendungan

Pada perencanaan Bendungan Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo direncanakan dengan menggunakan bendungan urugan zonal dengan inti kedap air tegak.

a) Inti Kedap (Core)

Pada inti kedap air bendungan ini menggunakan material tanah lempung dengan ketinggian kedap air dari mercu bendungan hingga pondasi lapisan kedap air.

b) Sisi Inti Kedap (Tubuh Bendungan)

Pada sisi hulu menggunakan material tanah urugan dengan pemberian pasir filter serta *rip-rap* di atasnya sebagai pelindung lerengnya, sedangkan pada sisi hilir menggunakan material tanah urugan.

c) Filter Batuan pada Kaki Hilir Bendungan

Pada kaki hilir bendungan (*toe drain*) menggunakan material pasir halus serta batuan yang bertujuan untuk drainase rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan.

2. Penentuan Tinggi Jagaan

Berdasarkan Buku Panduan Perencanaan Bendungan Urugan, Departemen Pekerjaan Umum, tahun 1999, halaman 34, tinggi jagaan yang diperhitungkan untuk bendungan utama terdiri dari :

a) Tinggi kenaikan permukaan air yang disebabkan oleh banjir abnormal (Δh)

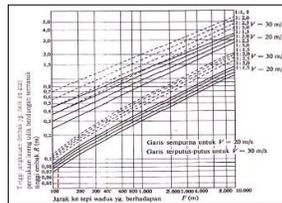
$$\Delta h = \frac{2}{3} \times \frac{\alpha Q_0}{Q} \times \frac{h}{1 + \frac{\Delta h}{Q}} = 0,32 \text{ m}$$

b) Tinggi gelombang karena angin (wave height = H_w)

Panjang lintasan ombak (*fetch*) efektif adalah 100 m (*pengukuran CAD*). dari data di stasiun Klimatologi Waduk Kedungombo kecepatan angin rata-rata sebesar 20 m/dt.

Hasil perhitungan panjang lintasan tinggi gelombang oleh angin adalah sebagai berikut :

$$L_{eff} = \frac{\sum X_i \cdot \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = 109,45 \text{ m}$$



Gambar 12 Nilai Grafik Perhitungan SMB

Perhitungan tinggi ombak (H_w) menggunakan grafik metode SMB yang dikombinasikan dengan metode *Saville*. Dengan kemiringan 1:2, tinggi jangkauan ombak (H_w) yang didapat adalah 0,071 m.

c) Tinggi gelombang akibat gempa (H_e)

H_o = kedalaman air waduk.
= elevasi muka air maksimum – elevasi dasar sungai = 8 m

$$H_e = \frac{K \cdot T}{2 \cdot \pi} \sqrt{g \cdot H_o} = 0,71 \text{ m}$$

d) Tinggi standar keamanan (H_f)

Sehingga didapatkan tinggi jagaan adalah sebagai berikut :

$$\text{Tinggi jagaan} = \Delta h + H_w + H_e + H_f = 3 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, Tinggi Jagaan Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo dengan ketinggian 3 meter.

3. Elevasi Puncak Bendungan

Perhitungan elevasi puncak bendungan adalah sebagai berikut :

$$H = H_{\text{mercu spillway}} + H_{\text{banjir}} + H_{\text{jagaan}} = 15,77 \text{ m} \approx 16 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Puncak bendungan} = \text{elevasi sungai} + \text{tinggi bendungan} = 50,99 \text{ mdpl}$$

4. Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng Bendungan dengan pertimbangan, maka diambil kemiringan sebagai berikut :

- Kemiringan hulu bendungan = 1 : 2,0
- Kemiringan hilir bendungan = 1 : 2,0
- Kemiringan filter Kasar = 1 : 0,35
- Kemiringan filter halus = 1 : 0,29
- Kemiringan zona inti = 1 : 0,25

5. Lebar Puncak Bendungan

Menurut Bendungan Tipe Urugan lebar puncak bendungan minimum dengan ketinggian 6 m ditentukan dengan rumus perhitungan dari *ICOLD* sebagai berikut :

$$b = 3,6 H^{1/2} - 3.0 = 6,07 \approx 6 \text{ m}$$

6. Panjang Bendungan

Dari hasil pengukuran topografi didapatkan panjang bendungan yang efektif dilihat dari pengukuran situasi di lapangan didapatkan panjang calon bendungan adalah 80 m. (*pengukuran topografi CAD*).

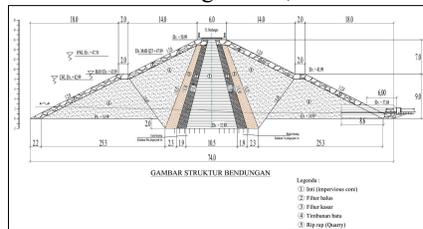
7. Elevasi Bangunan Pelimpah Pelimpah (*Spillway*)

Elevasi pelimpah (*spillway*) adalah sebagai berikut :

- Tinggi pelimpah = Tinggi bendungan – Tinggi jagaan – H banjir = 8,23 m ≈ 8 m
- Elevasi bangunan pelimpah = Elv. Dasar Sungai + 8 = 42,99 mdpl

8. Analisa Desain Struktur Bendungan

Berdasarkan analisis desain struktur Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan untuk penyediaan air baku sawah. Didapat dimensi tubuh bendungan sebagai berikut. Tinggi Bendungan = 16 m, Lebar Puncak Bendungan = 6 m, Lebar Dasar Bendungan = 74 m, Tinggi Jagaan = 3 m, Panjang Bendungan = 80 m, Tinggi Pelimpah = 8 m, Pelinding Lereng (rip rap) = hamparan batu, Kemiringan Lereng Bendungan dengan pertimbangan, maka diambil kemiringan 1 : 2,0 untuk sebelah hulu dan 1 : 2,0 untuk sebelah hilir.



Gambar 13 Desain Struktur Bendungan

5. ANALISIS STABILITAS BENDUNGAN

Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan direncanakan bertipe urugan batu dengan inti kedap air di tengah, dengan tinggi 16 m pada elevasi 47,99 m dpl. sampai galian pondasi.

1) Parameter Desain

Parameter desain untuk perhitungan stabilitas tubuh bendungan diambil dari hasil uji laboratorium untuk masing-masing material.

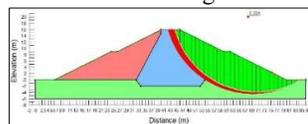
Tabel 11 Prameter Desain Bendungan

No	Material	Zona	SG	γ_{dry} gr/cm ³	γ_{wet} gr/cm ³	γ_{sat} gr/cm ³	γ_{sub} gr/cm ³	C		ϕ derajat	Keterangan
								kg/cm ²	kPa		
1	Lempung	Inti	2,643	1,47	1,812	1,914	0,914	0,345	3,45	18	data hasil uji lab pada empat sample lempung yang bisa dipakai sebagai material inti
2	Pasir	Filter	2,79	1,53	1,56	1,93	0,95	0	0	31	nilai γ_{dry} , γ_{wet} , γ_{sat} , C dan ϕ diperoleh dari korelasi kelas SW dengan tingkat kepadatan
3	Gravel	Filter	2,67	1,55	1,59	1,97	0,97	0	0	32	nilai γ_{dry} , γ_{wet} , γ_{sat} , C dan ϕ diperoleh dari korelasi kelas GW dengan tingkat kepadatan
4	Batuan	Isian	2,69	2,27	2,31	2,44	1,42	0	65	38	nilai γ_{dry} , γ_{wet} , γ_{sat} , C dan ϕ diperoleh dari korelasi kelas GM dengan tingkat kepadatan
5	Batuan	Rip Rap	2,69	2,27	2,31	2,44	1,42	0	0	35	nilai γ_{dry} , γ_{wet} , γ_{sat} , dengan asumsi jika rip rap itu seragam dan lepas-lepas
6	Tanah Asli	Tanah Asli	2,4	2,183	21,41			0,641	6,41	33,58	data hasil uji lab pada pada sampel dari lokasi perencanaan as bendungan dipakai sebagai tanah asli

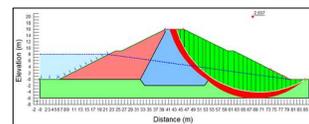
(Sumber : Hasil Uji Laboratorium)

2) Analisis Stabilitas Lereng

a) Hilir Tanpa Tekanan Air dan Hilir Dengan Tekanan Air

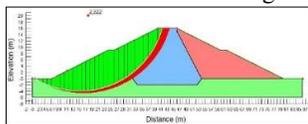


Gambar 14 Tanpa Tekanan Air

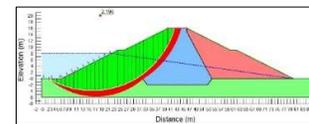


Gambar 15 Hilir Dengan Tekanan Air

b) Hulu Tanpa Tekanan Air dan Hulu Dengan Tekanan Air



Gambar 16 Hulu Tanpa Tekanan Air



Gambar 17 Hulu Dengan Tekanan Air

Hasil analisis dengan menggunakan *Geo Slope* menunjukan nilai faktor keamanan yang didapatkan dari masing-masing analisis. Nilai ini menurut standar kriteria perencanaan masih dibatas yang di ijinakan.

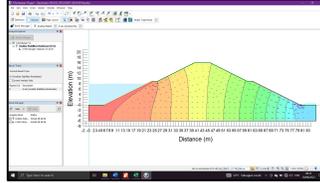
Tabel 12 Hasil Analisis Menggunakan *Geo Slope*

No	Analisis	Total Gaya Pengaktifan (kN)	Safety Faktor	Faktor keamanan FS > 1,2	Keterangan
1	Hilir tanpa tekanan air	792,01	1,2	2,331	Aman
2	Hilir dengan tekanan air	797,32	1,2	2,037	Aman
3	Hulu tanpa tekanan air	801,76	1,2	2,322	Aman
4	Hulu dengan Tekanan air	642,69	1,2	2,196	Aman

(Sumber : Hasil analisis *Geo Slope*)

3) Analisis Stabilitas Rembesan

Analisa stabilitas bendungan baik waduk maupun pondasinya diharuskan mampu menahan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah tanah pembentuk tubuh bendungan.

Gambar 18 Aliran Rembesan *Water Total Head*

Pemodelan rancangan rembesan pada penelitian ini memiliki tinggi urugan 16 m dengan lebar 62,2 m seperti terlihat pada Gambar 18 dan ketinggian air diasumsikan dengan ketinggian sebesar 8 m. hasil pemodelan didapatkan debit rembesan sebesar $Q_f = 7,42E-23 \text{ m}^3/\text{dt} \approx 0,00 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pemetaan topografi luas area lahan persawahan adalah 150 ha.
2. Panjang utama sungai sambirejo adalah 8,84 km dan luas DAS 12,39 km².
3. Berdasarkan hasil perhitungan data hujan menggunakan metode rata-rata diketahui Besar curah hujan periode ulang 25 tahun sebesar 162,20 mm.
4. Debit banjir rencana ditentukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu atas pertimbangan efisiensi dan ketidakpastian besarnya debit banjir. Dari hasil perhitungan debit andalan diperoleh sebesar 257,33 m³/dt dengan periode ulang 25 tahun. dengan kebutuhan air irigasi (KAI) sebesar 0,32 m³/dt perbulan dengan pola tanam MT 1, MT 2, MT 3.
5. Volume tampungan air direncanakan sebesar 205.600 m³ untuk memenuhi kebutuhan irigasi dengan pola tanam MT 1 Padi, MT 2 Padi, MT 3 Padi.
6. Dimensi bendungan direncanakan dengan ketinggian 16 m dengan panjang 80 m dan dimensi bangunan pelimpah tipe ogee memiliki ketinggian 8 m, lebar mercu 2 m dengan panjang 30 m.
7. Dari hasil analisa struktur dan stabilitas bendungan dinyatakan aman terhadap stabilitas lereng, rembesan dan Gaya Angkat (*Uplift Pressure*).
8. Material urugan struktur bendungan pada lapisan zona inti menggunakan material lempung untuk urugan menggunakan batuan dengan struktur tanah asli. Untuk melindungi agar tubuh bendungan terjaga terhadap naik turunnya permukaan air maka pada lereng hulu bendungan dipasang batuan yang tahan terhadap pelapukan (*rip-rap*).

Saran

Agar Bendungan di Dusun Sendang Pakelan Desa Sambirejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan berfungsi sesuai dengan yang diharapkan maka hal yang harus diperhatikan adalah perlu adanya perbaikan struktur tanah asli supaya dapat menahan beban material struktur bendungan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Frick, Heinz. 1979. Ilmu dan Alat Ukur Tanah. Yogyakarta: Kanisius.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. Mekanika Tanah 2. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Hary Budieni, Claudia R atna KD, Dwiarta A Lubis, Sutarto Edhisono. 2017. "Perencanaan Bendungan Bener Kabupaten Purworejo". Jurnal. Semarang. UNDIP.
- Indah Kriyanti, Martina. 2019. "Perencanaan Struktur Bendungan Bandungharjo Desa Bandungharjo Kecamatan Toroh Kabupaten Grobogan". Skripsi. Surakarta. UNS.
- Kustamar. 2018. Pemilihan Type Tubuh Embung Pengendali Banjir. Malang. Dream Litera Buana.
- Muchtar, Muhammad. 2017. "Analisa dan Evaluasi Kondisi Fisik Bangunan Pelengkap Waduk Kedungombo Pada Daerah Irigasi Sedadi". Skripsi. Surakarta. UNS.
- Ni'am, Aulawi. 2018. "Analisis Stabilitas Statistik dan Respon Dinamik Terhadap Displacement Selama Gempa Pada Bendungan Urugan Zonal Inti Tegak". Skripsi. Surakarta. UNS.
- Sosrodarsono, Suyono. 1983. Hidrologi Untuk Pengairan. Pradnya Pramita. Jakarta
- Soedibyo. 2003. Teknik Bendungan. Pradnya Pramita. Jakarta
- Sri, Harto, BR. 1993. Analisis Hidrologi, Penerbit Gramedia Pustaka Utama.
- Sostrodarsono, Suyono., dan Kensaku Takeda. 1987. Bendungan Type Urugan, Jakarta. PT. Pradya Paramitha