

**Analisis Stabilitas Bendung
(Studi Kasus Perencanaan Bendung di Aliran Sungai Pebendungan)
Sudarmanto¹⁾, Siswanto²⁾, Manyuk Fauzi²⁾**

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email: sudarmanto.nton@gmail.com

ABSTRACT

In order to fulfill the water irrigation requirements for Koto Rajo Irrigation Area, will be planned Pebendungan Weir that can be used to accommodate the additional water supply from Pebendungan River to the Irrigation System in Koto Rajo. Weir is transverse building river server to elevate water to be taken down and streamed to a channel through the building retrieval. The research was using secondary data of daily rainfall during 15 years from Sentajo stations. The forces that counts was gravity itself, seismic force, hidrostatis, uplift pressure and the analysis of the stability of weir stability that counts was the overturning and slip. The results of the study were obtained the design of weir hydraulics plan had been accepted for the conditions of $Q_{50th} = 36,946 \text{ m}^3/\text{sec}$. Height of weir is 1,30 m with circle spillway and width is 13,62 m. From dimensions of the flood discharge obtained value Froude of 2,34. and been building an megrim vluhter type. Dimensions of weir was safe to overturning and slip that work well during normal water level conditions and maximum water level condition.

Keywords: Weir, stability analysis, overturning, sliding

A. PENDAHULUAN

DI Koto Rajo ini merupakan daerah irigasi yang terletak di Kecamatan Kuantan Hilir Seberang Kabupaten Kuantan Singingi dengan sistem irigasi menggunakan tampungan (waduk) yang berasal dari sungai pebatu yang dibendung. Dari volume tampungan waduk tersebut kemudian dioperasikan untuk mengairi sawah. Berdasarkan informasi dari Unit Pelayanan Daerah (UPTD) pada saat ini waduk koto rajo mengalami kekurangan air sehingga tidak mampu lagi untuk mengairi sawah yang ada, direncanakanlah bangunan bendung di sungai pebendungan yang akan memberikan suplesi ke waduk koto rajo melalui saluran pembawa (suplesi) yang diperkirakan mampu menambah kekuarangan air di waduk koto rajo tersebut.

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang berfungsi meninggikan muka air sungai agar bisa di sadap. Bendung merupakan salah satu dari bagian bangunan utama. Bangunan utama adalah bangunan air (*hydraulic structure*) yang terdiri dari bagian-bagian: bendung (*weir structure*), bangunan pengelak (*diversion structure*), bangunan pengambilan (*intake structure*), bangunan pembilas (*flushing structure*), dan bangunan kantong lumpur (*sediment trapstructure*).

Bendung harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan di sungai sedemikian sehingga dengan menaikkan muka airnya, air dapat dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Definisi bendung menurut analisa upah dan bahan BOW (*Burgerlijke Openbare Werken*), bendung adalah bangunan air (beserta kelengkapannya) yang dibangun melintang sungai untuk meninggikan taraf muka air sehingga dapat dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkannya.

Melihat dari fungsinya maka dalam suatu perencanaan konstruksi bangunan bendung diharapkan memperhatikan syarat-syarat konstruksi bangunan bendung, diantaranya konstruksi bendung harus stabil dan mampu menahan tekanan air ketika banjir. Oleh karena itu diperlukan analisis stabilitas bendung agar tercapai bangunan bendung yang sesuai dengan fungsinya.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis stabilitas bendung yang direncanakan pada aliran sungai pebendungan yang terletak di kecamatan Kuantan Hilir Seberang Kabupaten Kuantan Singingi.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Adapun tinjauan pustaka dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

B.1. Umum

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang memberikan tinggi muka air minimum kepada bangunan pengambilan (intake) untuk keperluan irigasi. Bendung merupakan salah satu bagian dari Diversion Head Work yaitu bangunan utama dalam suatu jaringan irigasi yang berfungsi untuk menyadap air dari sungai sebagai sumber airnya. Dari pengertian dia atas muka dapat dikatakan bahwa fungsi utama bendung adalah menaikkan tinggi muka air sungai tetapi tidak menampung air karena air sungai dapat terus melewati tubuh bendung.

B.2. Analisis Hidrologi

Hidrologi adalah cabang ilmu teknik sipil yang mempelajari pergerakan, distribusi dan kualitas air di seluruh bumi termasuk siklus hidrologi dan sumber daya air. Untuk mendapatkan debit banjir rencana yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum pada daerah aliran sungai yang diperoleh dari beberapa stasiun pengamatan yang terdekat pada daerah aliran Sungai Pebendungan dari tahun 2001 - 2015.

B.3. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi digunakan untuk menghitung curah hujan rencana. Analisis frekuensi dapat diterapkan untuk data debit sungai atau data hujan. Data yang digunakan adalah data debit atau hujan maksimum tahunan, yaitu data terbesar yang terjadi selama satu tahun, yang terukur selama beberapa tahun. Hasil yang diperoleh tergantung dari kualitas dan panjang data yang dianalisis.

Parameter statistik data curah hujan yang perlu diperkirakan untuk pemilihan distribusi yang sesuai dengan sebaran data adalah sebagai berikut (Suripin, 2003).

a. Rata-rata

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

b. Standar deviasi

$$Sd = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

c. Koefisien variansi

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{x}} \quad (3)$$

d. Koefisien skewness

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad (4)$$

e. Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (5)$$

Keterangan :

$\bar{x}$ = rata-rata (mm)

Sd = standar deviasi (mm)

Cv = koefisien variansi

Cs = asimetri (skewness)

Ck = kurtosis

n = jumlah data yang di Analisis

x_i = curah hujan (mm)

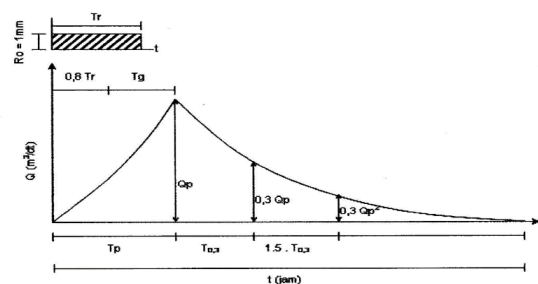
Tabel 1. Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi

Jenis Distribusi	Persyaratan
Normal	$Cs \approx 0,00$ $Ck \approx 3,00$
Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3Cv$ $Ck = Cv^8 + 6 Cv^6 + 15 Cv^4 + 16 Cv^2 + 3$
Gumbel	$Cs \approx 1,14$ $Ck \approx 5,40$
Log Pearson tipe III	Selain dari nilai diatas

Sumber : Triatmodjo, 2009

B.4. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dari Jepang, telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Nakayasu membuat rumus hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu merupakan hidrograf yang sampai saat ini umum digunakan baik oleh para ahli maupun para praktisi di Indonesia.



Gambar 1. Sketsa Hidrograf Satuan Sintetik Model Nakayasu

Rumus yang digunakan untuk menghitung debit rencana adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{A.R_0}{3,6.(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (6)$$

Untuk menghitung Waktu Puncak (T_p) dan waktu 30% dari debit puncak ($T_{0,3}$) digunakan rumus :

$$T_p = T_g + 0,88 T_r \quad (7)$$

$$T_{0,3} = \alpha T_g \quad (8)$$

$$T_r = 0,75 T_g \quad (9)$$

$$T_g = 0,4 + 0,058 L \quad (10)$$

$$T_g = 0,21 \cdot L^{0,7} \quad (11)$$

$$\alpha = 3,604 \cdot \frac{A^{0,215}}{L^{0,528}} \quad (12)$$

Keterangan :

Q_p = debit puncak banjir

A = luas das (km^2)

R_e = curah hujan efektif (1 mm)

T_p = waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)

$T_{0,3}$ = waktu dari puncak banjir sampai 0.3 kali debit puncak (jam)

T_g = waktu konsentrasi (*jam*)

T_r = satuan waktu dari curah hujan (jam)

α = koefisien karakteristik das

L = panjang sungai utama (jam)

B.5. Sebaran Hujan Monobe

Dalam analisa data pengamatan sebaran hujan jam – jaman ini perhitungannya menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R_t = \left(\frac{R_{24}}{T_c} \right) \times \left(\frac{T_c}{t} \right)^{2/3} \quad (13)$$

Dengan :

R_t = Rata-rata hujan pada jam ke- n (mm)

R_{24} = Curah hujan efektif dalam 1 hari (mm)

T_c = Waktu konsentrasi hujan (jam)

t = Waktu hujan (jam)

B.6. Perencanaan Hidraulis Bendung

1. Elevasi Mercu Bendung

Elevasi mercu bendung ditentukan berdasarkan muka air rencana pada bangunan sadap. Disamping itu kehilangan tinggi energi perlu ditambahkan untuk alat ukur, pengambilan, saluran primer dan pada kantong Lumpur.

2. Lebar Bendung

Lebar bendung di sini adalah jarak antar pangkal-pangkalnya (abutment), menurut kriteria lebar bendung ini diambil sama dengan lebar rata-rata sungai yang setabil atau lebar rata-rata muka air banjir tahunan sungai yang bersangkutan atau diambil lebar maksimum bendung tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil. Berikut adalah persamaan lebar bendung :

$$B_e = B - 2(nK_p K_a)H_1 \quad (14)$$

Keterangan:

B_e = lebar efektif bendung (m).

n = jumlah pilar.

K_p = koefisien kontraksi pilar.

K_a = koefisien kontraksi pangkal bendung.

H_1 = tinggi energi di atas mercu (m).

3. Elevasi Muka Air Maksimum di Atas Mercu

Elevasi muka air maksimum di atas bendung dihitung dengan persamaan debit banjir rencana yang lewat di atas mercu bendung sebagai berikut :

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} g \cdot B_e \cdot H_1^{1,5} \quad (15)$$

Keterangan :

Q = debit banjir rencana (m^3/dt)

Cd = koefisien debit (C0.C1.C2)

B_e = lebar efektif mercu bendung (m)

H_1 = tinggi energi di atas mercu (m)

4. Perencanaan Kolam Olak

Aliran air setelah keluar dari saluran peluncur biasanya mempunyai kecepatan atau energi yang cukup tinggi yang dapat menyebabkan erosi di hilirnya dan menyebabkan distabilitas bangunan spillway. Oleh karenanya perlu dibuatkan bangunan peredam energi sehingga air yang keluar dari bangunan peredam cukup aman.

B.7. Analisis Stabilitas Bendung

1. Syarat-Syarat Stabilitas Bendung

- Pada konstruksi batu kali dengan selimut beton, tidak boleh terjadi tegangan tarik.
- Momen tahan lebih besar dari pada momen guling.
- Konstruksi tidak boleh menggeser.
- Tegangan tanah yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tanah yang diijinkan.
- Setiap titik pada seluruh konstruksi harus tidak boleh terangkat oleh gaya ke atas

(*balance* antara tekanan ke atas dan tekanan ke bawah).

2. Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Bendung

Pengaruh gaya luar yang perlu diperhitungkan dalam kontrol kestabilan konstruksi antara lain akan meliputi :

- Berat sendiri konstruksi.
- Beban gempa
- Tekanan hidrostatik.
- Gaya angkat air (*uplift pressure*)

3. Kontrol Stabilitas

a. Stabilitas Terhadap Geser

Kestabilan suatu konstruksi terhadap pengaruh gelincir dianalisis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$SF = \frac{f \sum (V-U)}{\sum H} \quad (16)$$

Keterangan :

SF = Angka keamanan

f = Koefisien gesekan

(V-U) = Keseluruhan gaya vertikal (v), dikurangi gaya tekan ke atas yang bekerja pada bangunan (ton)

H = Gaya horozontal (ton)

b. Stabilitas Terhadap Guling

Stabilitas konstruksi bangunan terhadap guling dianalisis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$SF = \frac{Mr}{Mg} \quad (17)$$

Keterangan :

SF = Angka keamanan

Mr = Momen tahan (tm)

Mg = Momen guling (tm)

Tabel 2. Faktor Keamanan

No.	Kombinasi Pembebanan	Faktor Keamanan
1	M + H + K + T + Thn	1,5
2	M + H + K + T + Thn + G	1,3
3	M + H + K + T + Thb	1,3
4	M + H + K + T + Thb + G	1,1
5	M + H + K + T + Thb + Ss	1,2

Sumber : (DPU & Dirjen Pengairan, Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan KP-06, 1986)

Keterangan :

M = Beban mati

H = Beban hidup

K = Beban kejut

T = Beban tanah

Thn = Tekan air normal

Thb = Tekanan air banjir

G = Beban gempa

Ss = Beban sementara

C. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

C.1. Pengumpulan Data

Dalam Tahapan ini dilakukan kegiatan pengumpulan data yang diperlukan dalam studi ini. Pengumpulan data ini harus terencana dengan baik agar tepat sasaran dan efektif. Data yang dijadikan bahan acuan dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Skripsi ini dapat diklasifikasikan dalam dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder

C.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada ruas sungai Pebendungan Desa Kasang Limau Sundai Kecamatan Kuantan Hilir Seberang Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau, yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

C.3. Analisis dan Pengolahan Data

- Analisis Hidrologi
- Perencanaan Hidraulik Bendung
- Perhitungan Gaya-Gaya yang Bekerja
- Menentukan Stabilitas Bendung

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1. Hasil

D.1.1 Debit Banjir Rancangan

1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi ini dilakukan untuk mendapatkan data debit banjir rancangan. Data hujan yang digunakan adalah data hujan maksimum 15 tahun terakhir.

Tabel 3. Curah Hujan Maksimum

No	Tahun	R Max (mm) Stas. Sentajo
1	2001	81.50
2	2002	120.00
3	2003	80.50
4	2004	120.00
5	2005	82.00
6	2006	109.70
7	2007	81.00
8	2008	111.50
9	2009	108.00
10	2010	98.00
11	2011	98.00
12	2012	97.40
13	2013	83.00
14	2014	71.00
15	2015	93.50

Sumber : Perhitungan (2017)

2. Analisis Frekuensi

Tabel 4. Hasil Perhitungan Parameter Statistika

No	Curah Hujan	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^3$	$(x_i - \bar{x})^4$
1	81.50	-14.17	200.88	-2847.19	40354.13
2	120.00	24.33	591.79	14396.20	350211.51
3	80.50	-15.17	230.23	-3493.36	53005.87
4	120.00	24.33	591.79	14396.20	350211.51
5	82.00	-13.67	186.96	-2556.37	34954.06
6	109.70	14.03	196.75	2759.71	38709.53
7	81.00	-14.67	215.31	-3159.27	46356.98
8	111.50	15.83	250.48	3964.32	62741.92
9	108.00	12.33	151.95	1873.00	23087.80
10	98.00	2.33	5.41	12.60	29.30
11	98.00	2.33	5.41	12.60	29.30
12	97.40	1.73	2.98	5.15	8.89
13	83.00	-12.67	160.61	-2035.51	25796.66
14	71.00	-24.67	608.77	-15020.47	370605.03
15	93.50	-2.17	4.72	-10.27	22.31
Jumlah	1435.100	0.000	3404.049	8297.338	1396124.813

Sumber : Perhitungan (2017)

Dari hasil perhitungan tabel di atas didapatkan nilai parameter statistik berikut:

$$\bar{x} = 95,673$$

$$Sd = 15,593$$

$$Cv = 0,163$$

$$Cs = 0,180$$

$$Ck = 2,433$$

3. Distribusi Log Pearson III

Tabel 5. Perhitungan Distribusi Log Pearson III

No.	Tahun	CH Max (Ri)	log xi	log $\bar{x}$	log xi - log $\bar{x}$	$(\log xi - \log \bar{x})^2$	$(\log xi - \log \bar{x})^3$
1	2001	81.50	1.91	1.98	-0.07	0.0048	-0.0003
2	2002	120.00	2.08	1.98	0.10	0.0097	0.0010
3	2003	80.50	1.91	1.98	-0.07	0.0056	-0.0004
4	2004	120.00	2.08	1.98	0.10	0.0097	0.0010
5	2005	82.00	1.91	1.98	-0.07	0.0045	-0.0003
6	2006	109.70	2.04	1.98	0.06	0.0035	0.0002
7	2007	81.00	1.91	1.98	-0.07	0.0052	-0.0004
8	2008	111.50	2.05	1.98	0.07	0.0044	0.0003
9	2009	108.00	2.03	1.98	0.05	0.0028	0.0001
10	2010	98.00	1.99	1.98	0.01	0.0001	0.0000
11	2011	98.00	1.99	1.98	0.01	0.0001	0.0000
12	2012	97.40	1.99	1.98	0.01	0.0001	0.0000
13	2013	83.00	1.92	1.98	-0.06	0.0038	-0.0002
14	2014	71.00	1.85	1.98	-0.13	0.0168	-0.0022
15	2015	93.50	1.97	1.98	-0.01	0.0001	0.0000
TOTAL		1435.10	29.63	29.71	-0.081	0.0712	-0.0013

Sumber : Perhitungan (2017)

$$\text{Nilai Rata-rata} = 1,98$$

$$\text{Simpangan Baku (S)} = 0,071$$

$$\text{Koefisien Kemencengan (Cs)} = -0,293$$

Berdasarkan harga koefisien kemencengan (Cs) serta probabilitas. Hasil perhitungan curah hujan rencana Distribusi Log Pearson III ditabelkan seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 6. Perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Log Pearson III

No.	Kala Ulang (Tahun)	log x	K	Log X_T	X_T
1	1.01	1.981	-2.54	1.80	63.042
2	1.25	1.981	-0.83	1.92	83.544
3	2	1.981	0.05	1.98	96.440
4	5	1.981	0.85	2.04	110.092
5	10	1.981	1.25	2.07	117.401
6	25	1.981	1.65	2.10	125.402
7	50	1.981	1.89	2.12	130.589
8	100	1.981	2.11	2.13	135.306

Sumber : Perhitungan (2017)

4. Sebaran Hujan Jam-Jaman

Hujan jam-jaman di hitung menggunakan metode Mononobe. Lamanya hujan terpusat adalah 6 jam. Hasil perhitungan hujan jam-jaman disajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Sebaran Hujan Jam-Jaman

Jam Ke-	Kala Ulang (Tahun)							
	1.01	1.25	2	5	10	25	50	100
1	5.855	12.778	17.404	22.476	25.254	28.338	30.360	32.213
2	1.522	3.321	4.524	5.842	6.564	7.366	7.891	8.373
3	1.067	2.330	3.173	4.098	4.604	5.167	5.535	5.873
4	0.850	1.855	2.526	3.262	3.666	4.113	4.407	4.676
5	0.718	1.566	2.133	2.755	3.095	3.474	3.721	3.948
6	0.627	1.369	1.865	2.408	2.706	3.036	3.253	3.451

Sumber : Perhitungan (2017)

5. Debit Banjir Rancangan

Dalam penelitian ini, banjir rencana maksimum untuk bangunan bendung diambil sebagai debit banjir dengan periode ulang 50 tahun. Metode yang digunakan untuk analisis banjir rancangan pada penelitian ini menggunakan HSS Nakayasu. Dari hasil perhitungan didapatkan debit banjir rancangan kala ulang 50 tahun maksimum (Q_{50}) adalah 36,946 m³/dtk.

Tabel 8. Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan
- Sungai Pebendungan

Waktu (t) (jam)	Debit Banjir Ulang Tahunan (m ³ /detik)							
	Q 1,01 Th	Q 1,25 Th	Q 2 Th	Q 5 Th	Q 10 Th	Q 25 Th	Q 50 Th	Q 100 Th
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.500	0.42	0.92	1.25	1.62	1.82	2.04	2.18	2.32
1.000	2.33	5.09	6.93	8.95	10.05	11.28	12.09	12.82
1.500	6.53	14.26	19.42	25.08	28.18	31.62	33.87	35.941
2.000	7.12	15.55	21.18	27.35	30.73	34.49	36.946	39.20
2.500	7.05	15.38	20.95	27.05	30.40	34.11	36.54	38.77
3.000	6.76	14.76	20.11	25.97	29.18	32.74	35.08	37.22
3.500	6.36	13.87	18.89	24.40	27.42	30.76	32.96	34.97
4.000	5.75	12.54	17.09	22.07	24.79	27.82	29.81	31.62
4.500	4.81	10.49	14.29	18.45	20.73	23.26	24.92	26.45
5.000	4.04	8.82	12.01	15.52	17.43	19.56	20.96	22.24
5.500	3.46	7.56	10.30	13.30	14.95	16.77	17.97	19.06
6.000	2.99	6.54	8.90	11.50	12.92	14.50	15.53	16.48
6.500	2.61	5.69	7.75	10.01	11.24	12.62	13.52	14.34
7.000	2.28	4.98	6.79	8.77	9.85	11.05	11.84	12.57
7.500	2.01	4.39	5.98	7.73	8.68	9.74	10.44	11.08
8.000	1.78	3.89	5.29	6.83	7.68	8.62	9.23	9.80
8.500	1.57	3.44	4.68	6.04	6.79	7.62	8.17	8.66
9.000	1.39	3.04	4.14	5.35	6.01	6.74	7.22	7.66
9.500	1.23	2.69	3.66	4.73	5.31	5.96	6.39	6.78
10.000	1.10	2.40	3.27	4.22	4.74	5.32	5.70	6.05
10.500	0.99	2.16	2.94	3.80	4.27	4.79	5.13	5.44
11.000	0.89	1.95	2.65	3.43	3.85	4.32	4.63	4.91
11.500	0.81	1.77	2.41	3.11	3.49	3.92	4.20	4.45
12.000	0.74	1.60	2.19	2.82	3.17	3.56	3.81	4.05
Max	7.125	15.550	21.180	27.351	30.732	34.485	36.946	39.200

Sumber : Perhitungan (2017)

D.1.2 Perencanaan Hidroulis Bendung

1. Elevasi Mercu Bendung

Berikut hasil perhitungan elevasi mercu bendung pebendungan :

- Elevasi mercu bendung = +41,636 m
- Elevasi dasar sungai = +40,336 m
- Tinggi mercu bendung = 1,30 m
- Tipe Mercu = Tipe Bulat

2. Lebar Bendung Efektif

Lebar rata-rata sungai (b) = 11,638 m

Maka lebar bendung (B) = 1,2 x 11,638
= 14m

Lebar efektif bendung

$$B_e = B - 2(nK_p K_a)H_1$$

$$B_e = 14 - 0,420 H_1$$

3. Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu

Perhitungan tinggi muka air banjir di atas mercu menggunakan persamaan debit bendung dengan mercu bulat :

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} g \cdot B_e \cdot H_1^{1,5}$$

Diketahui :

$$Q_{50 \text{ Th}} = 36,946 \text{ m}^3/\text{dt (dari tabel 8.)}$$

$$Cd = \text{koefisien debit} = 2,100$$

$$g = \text{Gaya gravitasi} = 9,81 \text{ m/dt}^2$$

$$B_e = 14 - 0,420 H_1$$

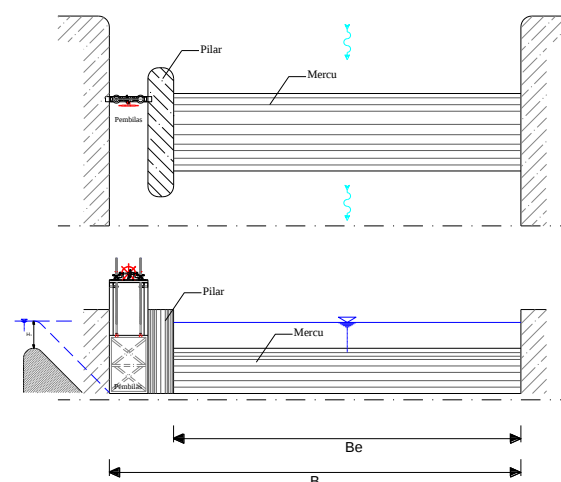
Dengan cara coba-coba diperoleh :

$$H_1 = 0,831 \text{ m}$$

Dan lebar efektif bendung :

$$B_e = 14 - 0,420 (0,831)$$

$$B_e = 13,62 \text{ m}$$



Gambar 3. Lebar Efektif Bendung

4. Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung

Untuk menghitung tinggi muka air banjir di hilir bendung ini menggunakan rumus Chezy.

Luas Penampang Basah

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

Keliling Basah

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

Perhitungan dilakukan dengan cara coba-coba.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Nilai h

h (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	c	V (m/dtk)	Q (m ³ /dtk)
0.50	5.944	12.756	0.466	27.210	1.554	9.237
0.75	9.0098	13.315	0.677	30.813	2.121	19.106
0.90	10.879	13.6504	0.797	32.460	2.425	26.377
1.09	13.279	14.0752	0.943	34.194	2.779	36.902

Sumber : Perhitungan (2017)

Dari hasil perhitungan pada tabel 9. didapatkan nilai h yang mendekati dengan Q rencana 50 tahunan dimana h sebesar 1,09 m dengan nilai Q = 36,946 m³/dt. Dengan didapatkannya nilai h (tinggi air di hilir bendung), maka elevasi muka air banjir di hilir dapat ditentukan.

Elevasi banjir di hilir = Elevasi dasar sungai + h

Elevasi banjir di hilir = 41,426 m

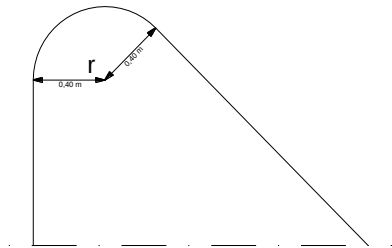
6. Penentuan Dimensi Mercu Bulat

Bendung pebendungan yang digunakan untuk saluran suplesi waduk kotorajo direncanakan menggunakan pasangan beton sehingga besar jari-jari mercu bendung (r) =

$0,1H_1 - 0,7 H_1$. Dalam penelitian ini penulis menggunakan jari-jari mercu (r) = $0,5H_1$.

$$r = 0,5 \times 0,831$$

$$r = 0,416 \approx 0,40 \text{ m}$$



Gambar 4. Jari-Jari Mercu Bendung

D.1.3 Perencanaan Kolam Olak

1. Penentuan Tipe Kolam Olak

Tipe kolam olak yang akan direncanakan di sebelah hilir bangunan, bergantung pada energi yang masuk, yang dinyatakan dengan bilangan-bilangan Froude dan pada bahan konstruksi kolam olak. Untuk mengecek apakah diperlukan kolam olak atau tidak, maka perlu dicari nilai Froude (Fr) terlebih dahulu.

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot y_1}} = 2,345$$

Berdasarkan KP-04 bila $1,7 < Fr \leq 2,5$ maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Pada umumnya kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik. Untuk penurunan muka air $\Delta Z < 1,5 \text{ m}$ dapat dipakai bangunan terjun tegak. Pada penelitian ini penulis merencanakan kolam olak dengan tipe Vlugter.

2. Dimensi Kolam Olak

a. Menghitung kedalaman kritis (h_c)

$$h_c = \frac{2}{3} H_1 = \frac{2}{3} 0,831 = 0,554 \text{ m}$$

b. Tinggi air diatas lantai kolam olak (t)

$$t = 2,4 h_c + 0,4z = 1,730 \text{ m}$$

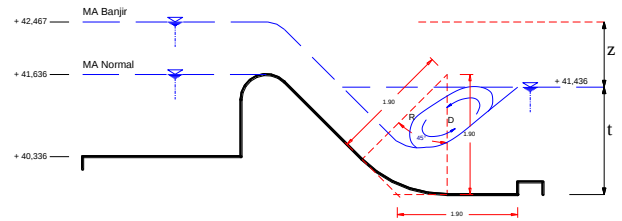
c. Tinggi ambang (a)

$$a = 0,28 h_c \sqrt{\frac{h_c}{z}} = 0,2 \text{ m}$$

d. Panjang Lantai Kolam Olak (L)

$$L = z + t - H_1 = 1,899 \text{ m}$$

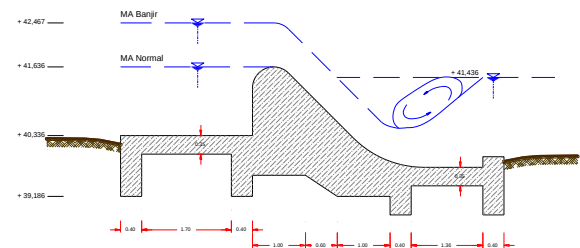
$$D = R = L$$



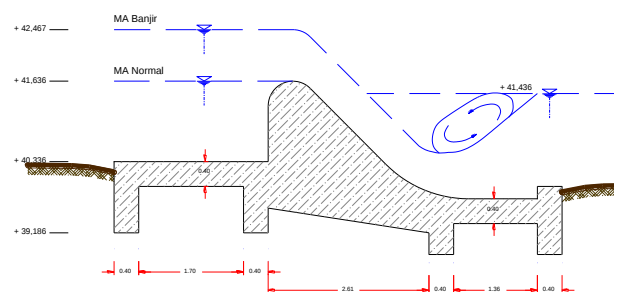
Gambar 5. Dimensi Kolam Olak Type Vlugter

D.4. Dimensi Bendung Pebendungan

Penulis merencanakan bangunan bendung di sungai pebendungan ini terbuat dari pasangan beton dengan mercu tipe bulat dan kolam olak tipe vlughter. Disini penulis merencanakan dua model desain bendung sebagai perbandingan, yaitu model A dan model B. Berikut adalah gambar rencana bendung pebendungan dengan dimensi berdasarkan hasil analisis dan perhitungan.



Gambar 6. Dimensi Bendung Pebendungan Model A



Gambar 7. Dimensi Bendung Pebendungan Model B

D.2. Pembahasan

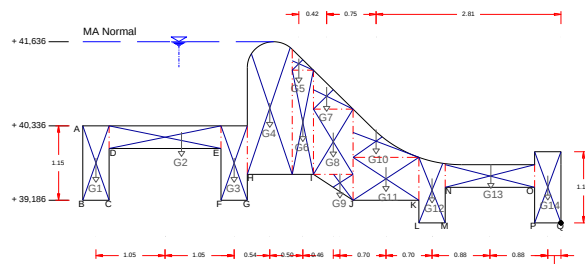
D.2.1 Stabilitas Bendung Model A

Analisis stabilitas bendung ini dilakukan untuk mengetahui besarnya tekanan gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung, seperti gaya berat, gaya gempa, tekanan lumpur, gaya hidrostatik, dan gaya *uplift pressure*.

1. Gaya Berat Bangunan (G)

Gaya berat ini dihitung dengan arah vertikal ke bawah yang garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Untuk mempermudah perhitungan maka bangunan

bendung dibagi menjadi beberapa bagian/pias. Gaya berat bangunan dihitung dengan persamaan berikut
 $G1 = B \times H \times \gamma$



Gambar 8. Berat Bendung Model A

Untuk lengan momen adalah jarak antara titik berat dengan titik tinjau. Titik tinjau terdapat pada titik Q.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Gaya Berat Bendung Model A

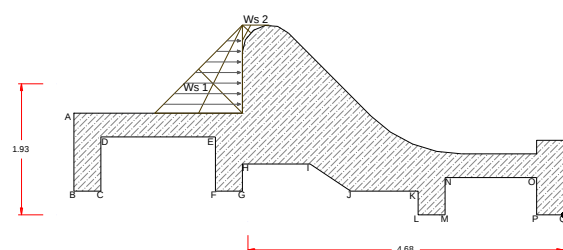
Pias	γ (Ton/m ³)	Luas (m ²)	Volume (m ³)	Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
G1	2.400	0.460	0.460	-1.104	7.070	-7.805
G2	2.400	0.595	0.595	-1.428	6.020	-8.597
G3	2.400	0.460	0.460	-1.104	4.970	-5.487
G4	2.400	1.355	1.355	-3.252	4.420	-14.376
G5	2.400	0.051	0.051	-0.122	3.980	-0.487
G6	2.400	0.518	0.518	-1.243	3.920	-4.873
G7	2.400	0.181	0.181	-0.434	3.560	-1.546
G8	2.400	0.607	0.607	-1.457	3.480	-5.070
G9	2.400	0.120	0.120	-0.288	3.360	-0.968
G10	2.400	0.315	0.315	-0.756	2.810	-2.124
G11	2.400	0.663	0.663	-1.591	2.660	-4.233
G12	2.400	0.383	0.383	-0.919	1.960	-1.802
G13	2.400	0.476	0.476	-1.142	1.080	-1.234
G14	2.400	0.440	0.440	-1.056	0.200	-0.211
Jumlah		6.624	6.624	-15.898		-58.81

Sumber : Perhitungan (2017)

2. Tekanan Lumpur (Ps)

Berikut merupakan hasil perhitungan tekanan lumpur arah horizontal bendung serta momen yang bekerja pada bendung, dengan menggunakan rumus:

$$Ps = \frac{\gamma x h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$$



Gambar 9. Tekanan Lumpur Pada Bendung Model A

Hasil perhitungan tekanan lumpur disajikan pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Tekanan Lumpur Pada Bendung Model A

Pias	γ_s (Ton/m ³)	Ps (Ton/m ²)	Gaya (Ton)		Lengan (m)	Momen (Ton.m)
			H	V		
Ws1	1.60	0.451	0.721		1.930	1.392
Ws2	1.60	1.352		-2.163	4.680	-10.124
Jumlah			0.721	-2.163		-8.732

Sumber : Perhitungan (2017)

3. Gaya Gempa (K)

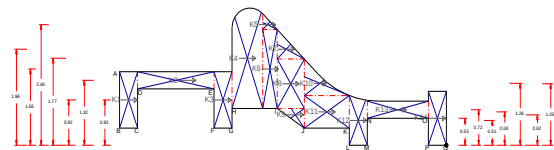
Percepatan Gempa

$$a_d = n(a_c \times z)^m = 130 \text{ cm/dt}^2$$

$$E = a_d/g = 0,133$$

Gaya Gempa (K)

$$K = E \times G$$



Gambar 10. Gaya Akibat Gempa Pada Bendung Model A

Tabel 12. Hasil Perhitungan Gaya Gempa Pada Bendung Model A

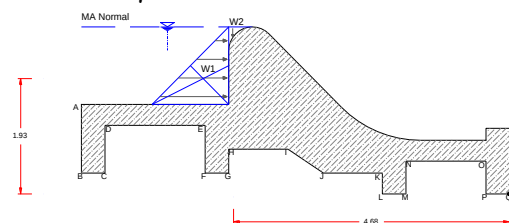
Pias	E	Gaya Berat (Ton)	Gaya Gempa K (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
K1	0.133	1.104	0.146	0.920	0.135
K2	0.133	1.428	0.189	1.320	0.250
K3	0.133	1.104	0.146	0.920	0.135
K4	0.133	3.252	0.432	1.770	0.764
K5	0.133	0.122	0.016	2.460	0.040
K6	0.133	1.243	0.165	1.560	0.257
K7	0.133	0.434	0.058	1.960	0.113
K8	0.133	1.457	0.193	1.250	0.242
K9	0.133	0.288	0.038	0.620	0.024
K10	0.133	0.756	0.100	1.260	0.126
K11	0.133	1.591	0.211	0.680	0.144
K12	0.133	0.919	0.122	0.510	0.062
K13	0.133	1.142	0.152	0.720	0.109
K14	0.133	1.056	0.140	0.550	0.077
Jumlah		15.898	2.110		2.478

Sumber : Perhitungan (2017)

4. Gaya Hidrostatik (W)

a. Gaya Hidrostatik Muka Air Normal

$$W = \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$



Gambar 11. Gaya Hidrostatik Muka Air Normal Pada Bendung Model A

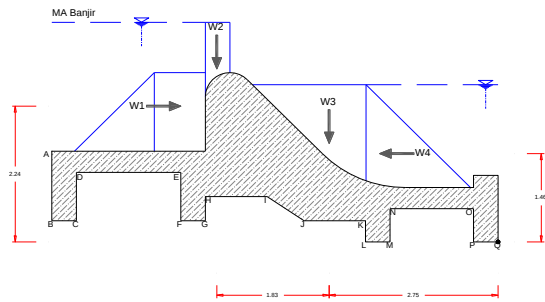
Hasil perhitungan gaya hidrostatik kondisi muka air normal disajikan pada tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Hasil Perhitungan Gaya Hidrostatik Muka Air Normal Bendung Model A

Pias	Luas (m ²)	γ_w (Ton/m ³)	Gaya (Ton)		Lengan (m)	Momen (Ton.m)	
			H	V		Guling	Tahan
W1	0.845	1.000	0.845		1.930	1.631	
W2	0.034	1.000		-0.034	4.680		-0.159
Jumlah	0.879		0.845	-0.034		1.631	-0.159

Sumber : Perhitungan (2017)

- b. Gaya Hidrostatik Muka Air Banjir
 $W1 = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 + \gamma_w H.y$



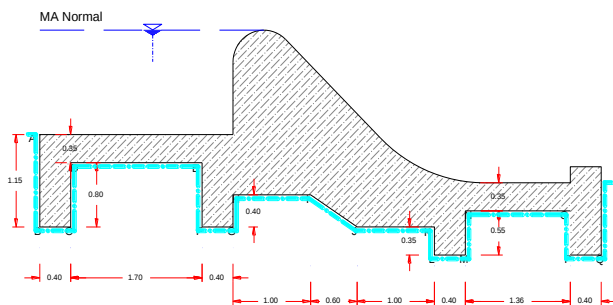
Gambar 12. Gaya Hidrostatik Muka Air Banjir Pada Bendung Model A

Tabel 14. Hasil Perhitungan Gaya Hidrostatik Muka Air Banjir Bendung Model A

Pias	Luas (m ²)	γ_w (Ton/m ³)	Gaya (Ton)		Lengan (m)	Momen (Ton.m)	
			H	V		Guling	Tahan
W1	1.926	1.00	1.926		2.240	4.314	
W2	0.367	1.00		-0.367	4.580		-1.681
W3	1.572	1.00		-1.572	2.750		-4.323
W4	1.445	1.00	-1.445		1.460	-2.110	
Jumlah	5.310		0.481	-1.939		2.205	-6.004

Sumber : Perhitungan (2017)

5. Rembesan/Rayapan Pada Lantai Muka
 Panjang rembesan yang terjadi pada apron bendung pebendungan ini dihitung dengan menggunakan metode *Lane*.



Gambar 13. Panjang Rembesan Pada Lantai Apron Bendung Model A

- L = Total panjang rayapan aktual (m)
 Lv = Panjang rayapan arah vertikal (m)
 Lh = Panjang rayapan arah horizontal (m)

Total panjang rembesan aktual :
 $L = \Sigma L_v + \Sigma (1/3 L_h) = 5,20 + 2,22 = 7,42 \text{ m}$

Panjang rembesan yang dibutuhkan menurut *Lane* (L_p)

$$L_p = H \times c$$

$$H = 1,80 \text{ m}$$

$$c = 3,00$$

$$L_p = 1,80 \times 3,00 = 5,350 \text{ m}$$

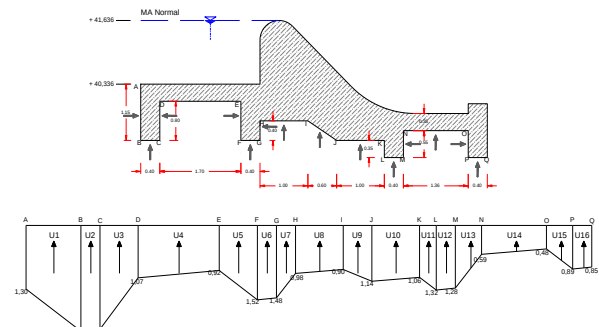
Dari hasil perhitungan di atas $L > L_p$, berarti panjang lantai apron bendung memenuhi syarat terhadap rembesan/rayapan.

6. Gaya Angkat Air (*Uplift Pressure*)
 a. Gaya Angkat Air Muka Air Normal
 $P_x = H_x - (L_x/L) \cdot \Delta H$

Tabel 14. Hasil Perhitungan Tekanan Air Pada Bendung Model A Kondisi Muka Air Normal

Titik	Lx	ΣL	Hx	ΔH	Px (Ton)
A	0	7.42	1.30	1.90	1.30
B	1.15	7.42	2.45	1.90	2.16
C	1.28	7.42	2.45	1.90	2.12
D	2.08	7.42	1.60	1.90	1.07
E	2.65	7.42	1.60	1.90	0.92
F	3.45	7.42	2.40	1.90	1.52
G	3.58	7.42	2.40	1.90	1.48
H	3.98	7.42	2.00	1.90	0.98
I	4.32	7.42	2.00	1.90	0.90
J	4.92	7.42	2.40	1.90	1.14
K	5.25	7.42	2.40	1.90	1.06
L	5.60	7.42	2.75	1.90	1.32
M	5.73	7.42	2.75	1.90	1.28
N	6.28	7.42	2.20	1.90	0.59
O	6.74	7.42	2.20	1.90	0.48
P	7.29	7.42	2.75	1.90	0.89
Q	7.42	7.42	2.75	1.90	0.85

Sumber : Perhitungan (2017)



Gambar 14. Gaya Angkat Air yang Bekerja Pada Bendung Model A Kondisi Muka Air Normal

Hasil perhitungan semua momen akibat gaya tekanan air pada kondisi muka air normal disajikan pada tabel 15.

Tabel 15. Hasil Perhitungan Momen Akibat Gaya Tekanan Air Pada Bendung Model A Kondisi Muka Air Normal

No. Gaya	Luas (m ²)	γ_w (Ton/m ³)	Gaya (Ton)		Arah Gaya	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
			H	V			
U1	1.99	1.00	1.99		→	0.88	1.74
U2	0.86	1.00		0.86	↑	7.07	6.05
U3	1.28	1.00	-1.28		←	0.79	-1.01
U4	1.69	1.00		1.69	↑	6.04	10.21
U5	0.98	1.00	0.98		→	0.72	0.70
U6	0.60	1.00		0.60	↑	4.97	2.98
U7	0.49	1.00	-0.49		←	0.56	-0.28
U8	0.94	1.00		0.94	↑	4.27	4.00
U9	0.61	1.00	0.61		→	0.64	0.39
U10	1.10	1.00		1.10	↑	2.67	2.93
U11	0.42	1.00	0.42		→	0.17	0.07
U12	0.52	1.00		0.52	↑	1.96	1.02
U13	0.52	1.00	-0.52		←	0.31	-0.16
U14	0.73	1.00		0.73	↑	1.10	0.80
U15	0.37	1.00	0.37		→	0.25	0.09
U16	0.35	1.00		0.35	↑	0.20	0.07
Jumlah (Σ)			2.08	6.78			29.62

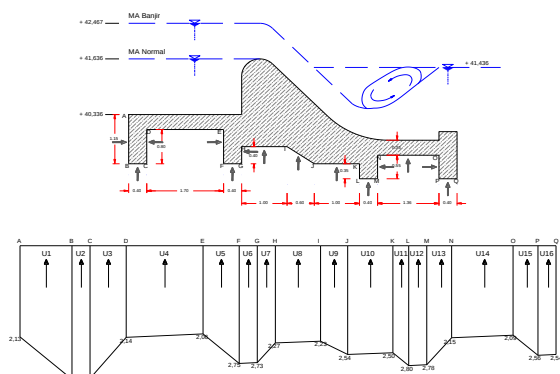
Sumber : Perhitungan (2017)

b. Gaya Angkat Air Muka Air Banjir

Tabel 15. Hasil Perhitungan Tekanan Air Pada Bendung Model A Kondisi Muka Air Banjir

Titik	Lx	ΣL	Hx	ΔH	Px (Ton)
A	0	7.42	2.13	1.04	2.13
B	1.15	7.42	3.28	1.04	3.12
C	1.28	7.42	3.28	1.04	3.10
D	2.08	7.42	2.43	1.04	2.14
E	2.65	7.42	2.43	1.04	2.06
F	3.45	7.42	3.23	1.04	2.75
G	3.58	7.42	3.23	1.04	2.73
H	3.98	7.42	2.83	1.04	2.27
I	4.32	7.42	2.83	1.04	2.23
J	4.92	7.42	3.23	1.04	2.54
K	5.25	7.42	3.23	1.04	2.50
L	5.60	7.42	3.58	1.04	2.80
M	5.73	7.42	3.58	1.04	2.78
N	6.28	7.42	3.03	1.04	2.15
O	6.74	7.42	3.03	1.04	2.09
P	7.29	7.42	3.58	1.04	2.56
Q	7.42	7.42	3.58	1.04	2.54

Sumber : Perhitungan (2017)



Gambar 15. Gaya Angkat Air yang Bekerja Pada Bendung Model A Kondisi Muka Air Banjir

Hasil perhitungan semua momen akibat gaya tekanan air pada kondisi muka air normal disajikan pada tabel 16.

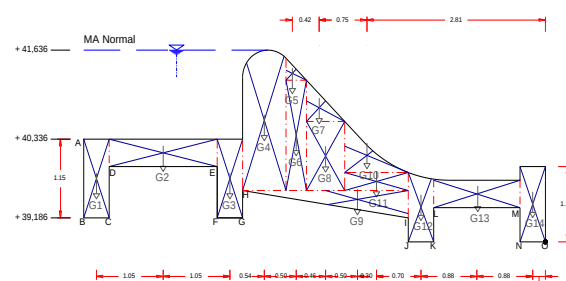
Tabel 16. Hasil Perhitungan Momen Akibat Gaya Tekanan Air Pada Bendung Model A Kondisi Muka Air Banjir

No. Gaya	Luas (m ²)	γ_w (Ton/m ³)	Gaya (Ton)		Arah Gaya	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
			H	V			
U1	3.02	1.00	3.02		→	0.89	2.68
U2	1.24	1.00		1.24	↑	7.07	8.80
U3	2.10	1.00	-2.10		←	0.77	-1.62
U4	3.57	1.00		3.57	↑	6.03	21.51
U5	1.92	1.00	1.92		→	0.73	1.41
U6	1.10	1.00		1.10	↑	4.97	5.44
U7	1.00	1.00	-1.00		←	0.56	-0.56
U8	2.25	1.00		2.25	↑	4.26	9.59
U9	1.43	1.00	1.43		→	0.64	0.92
U10	2.52	1.00		2.52	↑	2.66	6.70
U11	0.93	1.00	0.93		→	0.17	0.16
U12	1.11	1.00		1.11	↑	1.96	2.19
U13	1.36	1.00	-1.36		←	0.29	-0.39
U14	2.88	1.00		2.88	↑	1.08	3.12
U15	1.28	1.00	1.28		→	0.27	0.34
U16	1.02	1.00		1.02	↑	0.20	0.20
Jumlah (Σ)			4.13	15.69			60.49

Sumber : Perhitungan (2017)

D.2.1 Stabilitas Bendung Model B

1. Gaya Berat Bangunan (G)



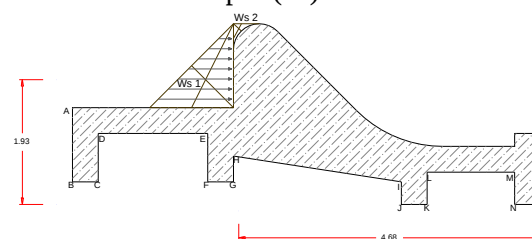
Gambar 16. Berat Bendung Model B

Tabel 17. Hasil Perhitungan Gaya Berat Bendung Model B

Pias	γ (Ton/m ³)	Luas (m ²)	Volume (m ³)	Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
G1	2.400	0.460	0.460	-1.104	7.070	-7.805
G2	2.400	0.680	0.680	-1.632	6.020	-9.825
G3	2.400	0.460	0.460	-1.104	4.970	-5.487
G4	2.400	1.355	1.355	-3.252	4.420	-14.376
G5	2.400	0.051	0.051	-0.122	3.980	-0.487
G6	2.400	0.518	0.518	-1.243	3.920	-4.873
G7	2.400	0.181	0.181	-0.434	3.560	-1.546
G8	2.400	0.607	0.607	-1.457	3.480	-5.070
G9	2.400	0.521	0.521	-1.251	3.360	-4.205
G10	2.400	0.263	0.263	-0.631	2.660	-1.679
G11	2.400	0.663	0.663	-1.591	2.960	-4.710
G12	2.400	0.383	0.383	-0.919	1.960	-1.802
G13	2.400	0.544	0.544	-1.306	1.080	-1.410
G14	2.400	0.440	0.440	-1.056	0.200	-0.211
Jumlah		7.127	7.127	-17.104		-63.49

Sumber : Perhitungan (2017)

2. Tekanan Lumpur (Ps)



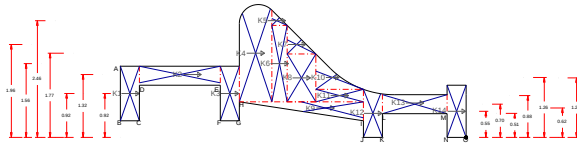
Gambar 17. Tekanan Lumpur Pada Bendung Model B

Tabel 18. Hasil Perhitungan Tekanan Lumpur Pada Bendung Model B

Pias	γ_s (Ton/m ³)	Ps (Ton/m ²)	Gaya (Ton)		Lengan (m)	Momen (Ton.m)
			H	V		
Ws1	1.60	0.451	0.721		1.930	1.392
Ws2	1.60	1.352		-2.163	4.680	-10.124
Jumlah			0.721	-2.163		-8.732

Sumber : Perhitungan (2017)

3. Gaya Gempa (K)



Gambar 18. Gaya Gempa Pada Bendung Model B

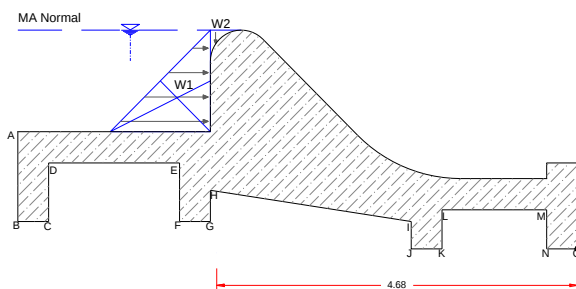
Tabel 19. Hasil Perhitungan Gaya Gempa Pada Bendung Model B

Pias	E	Gaya Berat (Ton)	Gaya Gempa K (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
K1	0.133	1.104	0.146	0.920	0.135
K2	0.133	1.632	0.217	1.320	0.286
K3	0.133	1.104	0.146	0.920	0.135
K4	0.133	3.252	0.432	1.770	0.764
K5	0.133	0.122	0.016	2.460	0.040
K6	0.133	1.243	0.165	1.560	0.257
K7	0.133	0.434	0.058	1.960	0.113
K8	0.133	1.457	0.193	1.250	0.242
K9	0.133	1.251	0.166	0.620	0.103
K10	0.133	0.631	0.084	1.260	0.106
K11	0.133	1.591	0.211	0.880	0.186
K12	0.133	0.919	0.122	0.510	0.062
K13	0.133	1.306	0.173	0.700	0.121
K14	0.133	1.056	0.140	0.550	0.077
Jumlah		17.104	2.270		2.626

Sumber : Perhitungan (2017)

4. Gaya Hidrostatik (W)

a. Gaya Hidrostatik Muka Air Normal



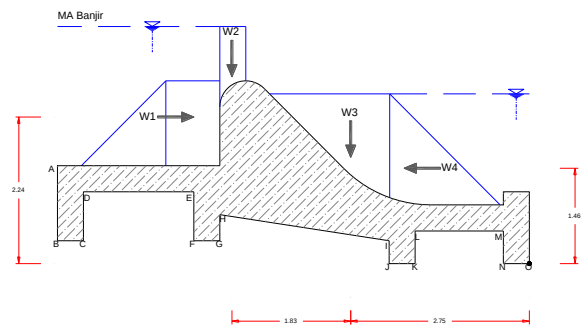
Gambar 19. Gaya Hidrostatik Kondisi Muka Air Normal Pada Bendung Model B

Tabel 20. Hasil Perhitungan Gaya Hidrostatik Muka Air Normal Pada Bendung Model B

Pias	Luas (m ²)	γ_w (Ton/m ³)	Gaya (Ton)		Lengan (m)	Momen (Ton.m)	
			H	V		Guling	Tahan
W1	0.845	1.000	0.845		1.930	1.631	
W2	0.034	1.000		-0.034	4.680		-0.159
Jumlah	0.879		0.845	-0.034		1.631	-0.159

Sumber : Perhitungan (2017)

b. Gaya Hidrostatik Muka Air Banjir



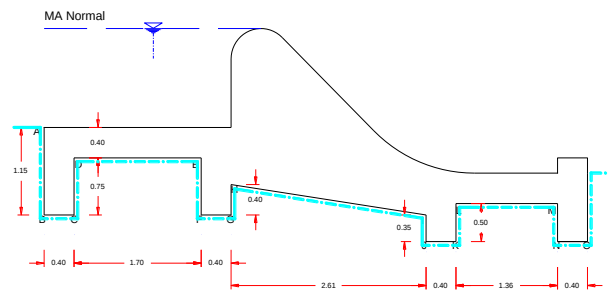
Gambar 19. Gaya Hidrostatik Kondisi Muka Air Banjir Pada Bendung Model B

Tabel 21. Hasil Perhitungan Gaya Hidrostatik Muka Air Banjir Pada Bendung Model B

Pias	Luas (m ²)	γ_w (Ton/m ³)	Gaya (Ton)		Lengan (m)	Momen (Ton.m)	
			H	V		Guling	Tahan
W1	1.926	1.00	1.926		2.240	4.314	
W2	0.367	1.00		-0.367	4.580		-1.681
W3	1.572	1.00		-1.572	2.750		-4.323
W4	1.445	1.00	-1.445		1.460	-2.110	
Jumlah	5.310		0.481	-1.939		2.205	-6.004

Sumber : Perhitungan (2017)

5. Rembesan/Rayapan Pada Lantai Muka



Gambar 20. Panjang Rembesan Pada Lantai Apron Bendung Model B

L = Total panjang rayapan aktual (m)

L_v = Panjang rayapan arah vertikal (m)

L_h = Panjang rayapan arah horizontal (m)

Total panjang rembesan aktual :

$$L = \Sigma L_v + \Sigma (1/3 L_h) = 4,40 + 2,42 = 6,82 \text{ m}$$

 Panjang rembesan yang dibutuhkan menurut Lane (L_p)

$$L_p = H \times c$$

$$H = 1,80 \text{ m}$$

$$c = 3,00$$

$$L_p = 1,80 \times 3,00 = 5,350 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan di atas $L > L_p$, berarti panjang lantai apron bendung memenuhi syarat terhadap rembesan/rayapan.

6. Gaya Angkat Air (Uplift Pressure)

Gaya angkat air (uplift pressure) yang bekerja pada dasar/pondasi bendung model B

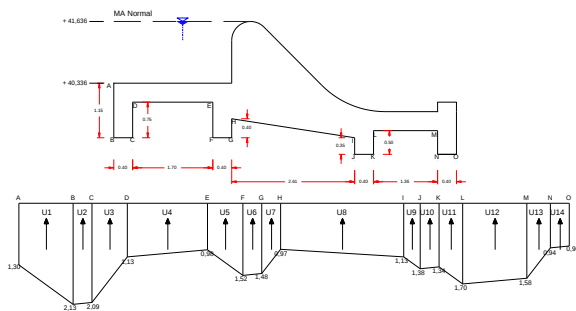
ini akan mengakibatkan berkurangnya berat efektif bangunan. Arah gaya angkat ini adalah tegak lurus dengan bidang kontakannya. Model perhitungannya sama seperti perhitungan sebelumnya.

a. Gaya Angkat Air Muka Air Normal

Tabel 22. Hasil Perhitungan Tekanan Air Pada Bendung Model B Kondisi Muka Air Normal

Titik	Lx	ΣL	Hx	ΔH	Px (Ton)
A	0	6.82	1.30	1.90	1.30
B	1.15	6.82	2.45	1.90	2.13
C	1.28	6.82	2.45	1.90	2.09
D	2.03	6.82	1.70	1.90	1.13
E	2.60	6.82	1.70	1.90	0.98
F	3.35	6.82	2.45	1.90	1.52
G	3.48	6.82	2.45	1.90	1.48
H	3.88	6.82	2.05	1.90	0.97
I	4.75	6.82	2.45	1.90	1.13
J	5.10	6.82	2.80	1.90	1.38
K	5.24	6.82	2.80	1.90	1.34
L	5.74	6.82	3.30	1.90	1.70
M	6.19	6.82	3.30	1.90	1.58
N	6.69	6.82	2.80	1.90	0.94
O	6.82	6.82	2.80	1.90	0.90

Sumber : Perhitungan (2017)



Gambar 21. Gaya Angkat Air yang Bekerja Pada Bendung Model B Kondisi Muka Air Normal

Tabel 23. Hasil Perhitungan Momen Akibat Gaya Tekanan Air Pada Bendung Model B Kondisi Muka Air Normal

No.	Luas (m ²)	γ _w (Ton/m ³)	Gaya (Ton)		Arah	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
			H	V			
U1	1.97	1.00	1.97		→	0.88	1.73
U2	0.84	1.00		0.84	↑	7.07	5.97
U3	1.21	1.00	-1.21		←	0.76	-0.92
U4	1.79	1.00		1.79	↑	6.04	10.84
U5	0.94	1.00	0.94		→	0.70	0.65
U6	0.60	1.00		0.60	←	4.97	2.98
U7	0.49	1.00	-0.49		↑	0.56	-0.28
U8	2.74	1.00		2.74	→	3.43	9.39
U9	0.44	1.00	0.44		↑	0.17	0.07
U10	0.54	1.00		0.54	→	1.96	1.07
U11	0.76	1.00	-0.76		←	0.24	-0.18
U12	2.23	1.00		2.23	↑	1.09	2.43
U13	0.63	1.00	-0.63		→	0.27	-0.17
U14	0.37	1.00		0.37	↑	0.20	0.07
Jumlah (Σ)			0.26	9.12			33.66

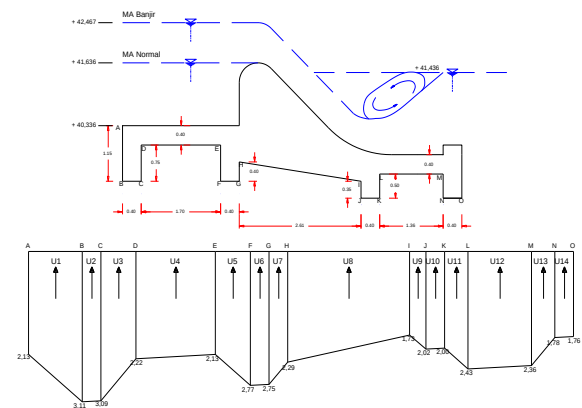
Sumber : Perhitungan (2017)

b. Gaya Angkat Air Muka Air Banjir

Tabel 24. Hasil Perhitungan Tekanan Air Pada Bendung Model B Kondisi Muka Air Banjir

Titik	Lx	ΣL	Hx	ΔH	Px (Ton)
A	0	6.82	2.13	1.04	2.13
B	1.15	6.82	3.28	1.04	3.11
C	1.28	6.82	3.28	1.04	3.09
D	2.03	6.82	2.53	1.04	2.22
E	2.60	6.82	2.53	1.04	2.13
F	3.35	6.82	3.28	1.04	2.77
G	3.48	6.82	3.28	1.04	2.75
H	3.88	6.82	2.88	1.04	2.29
I	4.75	6.82	2.45	1.04	1.73
J	5.10	6.82	2.80	1.04	2.02
K	5.24	6.82	2.80	1.04	2.00
L	5.74	6.82	3.30	1.04	2.43
M	6.19	6.82	3.30	1.04	2.36
N	6.69	6.82	2.80	1.04	1.78
O	6.82	6.82	2.80	1.04	1.76

Sumber : Perhitungan (2017)



Gambar 22. Gaya Angkat Air yang Bekerja Pada Bendung Model B Kondisi Muka Air Banjir

Tabel 24. Hasil Perhitungan Momen Akibat Gaya Tekanan Air Pada Bendung Model B Kondisi Muka Air Banjir

No.	Luas (m ²)	γ _w (Ton/m ³)	Gaya (Ton)		Arah	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
			H	V			
U1	3.01	1.00	3.01		→	0.89	2.68
U2	1.24	1.00		1.24	↑	7.07	8.76
U3	1.99	1.00	-1.99		←	0.75	-1.48
U4	3.70	1.00		3.70	↑	6.03	22.31
U5	1.84	1.00	1.84		→	0.71	1.30
U6	1.10	1.00		1.10	←	4.97	5.49
U7	1.01	1.00	-1.01		↑	0.56	-0.56
U8	5.24	1.00		5.24	→	3.53	18.47
U9	0.66	1.00	0.66		↑	0.17	0.11
U10	0.80	1.00		0.80	→	1.96	1.58
U11	1.11	1.00	-1.11		←	0.24	-0.27
U12	3.25	1.00		3.25	↑	1.08	3.52
U13	1.03	1.00	1.03		→	0.26	0.27
U14	0.71	1.00		0.71	↑	0.20	0.14
Jumlah (Σ)			2.44	16.05			62.32

Sumber : Perhitungan (2017)

D.2.3 Rekapitulasi Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Bendung

Total gaya yang bekerja pada kedua model bendung disajikan dalam dua kondisi yaitu pada kondisi muka air normal dan pada kondisi muka air banjir seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 25. Rekapitulasi Gaya yang Bekerja Pada Kondisi Muka Air Normal

No.	Gaya yang Bekerja	Bendung Model A				Bendung Model B			
		Gaya (Ton)		Momen (Ton.m)		Gaya (Ton)		Momen (Ton.m)	
		H	V	Guling	Tahan	H	V	Guling	Tahan
1	Berat Bangunan (G)		-15.898		-58.813		-17.104		-63.486
2	Tekanan Lumpur (Ws)	0.721	-2.163	1.392	-8.732	0.721	-2.163	1.392	-8.732
3	Gempa (K)	2.110		2.478		2.270		2.626	
4	Hidrostatik (W)	0.845	-0.034	1.631	-0.159	0.845	-0.034	1.631	-0.159
5	Uplift-Pressure (U)	2.080	6.777	29.615		0.256	9.118	33.661	
Jumlah (Σ)		5.755	-11.318	35.115	-67.704	4.091	-10.183	39.309	-72.377

Sumber : Perhitungan (2017)

Tabel 26. Rekapitulasi Gaya yang Bekerja Pada Kondisi Muka Air Banjir

No.	Gaya yang Bekerja	Bendung Model A				Bendung Model B			
		Gaya (Ton)		Momen (Ton.m)		Gaya (Ton)		Momen (Ton.m)	
		H	V	Guling	Tahan	H	V	Guling	Tahan
1	Berat Bangunan (G)		-15.898		-58.813		-17.104		-63.486
2	Tekanan Lumpur (Ws)	0.721	-2.163	1.392	-8.732	0.721	-2.163	1.392	-8.732
3	Gempa (K)	2.110		2.478		2.270		2.626	
4	Hidrostatik (W)	0.481	-1.939	2.205	-6.004	0.481	-1.939	2.205	-6.004
5	Uplift-Pressure (U)	4.125	15.694	60.489		2.436	16.049	62.324	
Jumlah (Σ)		7.437	-4.307	66.563	-73.549	5.908	-5.157	68.547	-78.222

Sumber : Perhitungan (2017)

D.2.4 Kontrol Stabilitas Bendung

kontrol stabilitas pada kedua model bendung ditinjau terhadap geser dan guling dengan cara membandingkan dengan faktor keamanan.

1. Kontrol terhadap geser

$$SF = \frac{f \Sigma(V-U)}{\Sigma H}$$

Dimana :

SF = Angka keamanan

F = Koefisien gesekan

V = Gaya vertikal (Ton)

U = Gaya tekan ke atas (Ton)

ΣH = Gaya horozontal (Ton)

Berdasarkan kombinasi gaya-gaya yang bekerja pada bendung pebendungan ini maka nilai faktor aman terhadap geser adalah sebagai berikut:

- a. Kondisi muka air normal, $SF \geq 1,3$
- b. Kondisi muka air banjir, $SF \geq 1,1$

2. Kontrol terhadap guling

$$SF = \frac{\Sigma Mr}{\Sigma Mg}$$

Dimana :

SF = Angka keamanan

ΣMr = Momen tahan (tm)

ΣMg = Momen guling (tm)

Berdasarkan kombinasi gaya-gaya yang bekerja pada bendung pebendungan ini maka nilai faktor aman terhadap geser adalah sebagai berikut:

- a. Kondisi muka air normal, $SF \geq 1,3$
- b. Kondisi muka air banjir, $SF \geq 1,1$

Hasil perhitungan angka keamanan pada bendung pebendungan ini disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 27. Hasil Perhitungan Faktor Keamanan (SF) Bangunan Bendung

No.	Tinjauan Stabilitas	Bendung Model A		Bendung Model B	
		MAN	MAB	MAN	MAB
1	SF Terhadap Geser	2.36	2.02	3.54	2.69
2	SF Terhadap Guling	1.93	1.10	1.84	1.14

Sumber : Perhitungan (2017)

Berdasarkan hasil perhitungan angka keamanan pada tabel 27, kedua model bendung masi memenuhi syarat stabilitas bendung dimana angka keamanan hasil hitung lebih besar dari pada angka keamanan izin dalam kondisi muka air normal dan banjir. Maka bendung pebendungan dengan dimensi seperti pada model A dan Model B ini aman terhadap geser dan guling.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dibahas maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dimensi Bendung

- Bendung pada aliran sungai pebendungan ini di desain dengan menggunakan data debit banjir rencana kala ulang 50 Tahun
- Bangunan direncanakan terbuat dari pasangan beton dengan lebar bendung efektif 13,62 m dan tinggi mercu 1,30 m
- Kolam olak pada bendung pebendungan ini di rencanakan menggunakan kolam olak tipe Vlughter

- b. Stabilitas Bendung

- SF hitung terhadap geser dan guling lebih besar dari pada SF ijin
- Momen tahan lebih besar dari pada momen guling
- Kontruksi bendung tidak bergeser

- Setiap titik pada seluruh pondasi konstruksi tidak terangkat oleh gaya ke atas (*balance* antara tekanan ke atas dan tekanan ke bawah)

E.1 Saran

Dalam melakukan analisis stabilitas suatu bendung sebaiknya menggunakan data daya dukung tanah karena dalam perhitungan analisis stabilitas data daya dukung tanah perannya sangat penting supaya mendapatkan hasil yang lebih baik dan sempurna. Penelitian ini masi bisa dikembangkan karena masi banyak bagian-bagian bendung yang belum dikaji seperti pilar, pintu penguras, pintu intake dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Dirjen SDA, & Direktorat Irgasi dan Rawa. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan KP-04*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum.
- Dirjen SDA, & Direktorat Irgasi dan Rawa. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan KP-06*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum.
- Dirjen SDA, & Direktorat Irigasi dan Rawa. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum.
- DPU, & Dirjen Pengairan. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi*. Bandung: CV. Galang Persada.
- DPU, & Dirjen Pengairan. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan KP-04*. Bandung: Galang Persada.
- DPU, & Dirjen Pengairan. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02*. Bandung: Galang Persada.
- DPU, & Dirjen Pengairan. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan KP-06*. Bandung: CV. Galang Persada.
- Joetata. (1997). *Irigasi dan Bangunan Air*. Jakarta: Gunadarma.
- Putra, E., & Pratama, H. (2008). *Perencanaan Bangunan Suplesi Pegadis Daerah Irigasi Batang Samo*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Soedibyo, I. (1993). *Teknik Bendungan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, D. S. (2002). *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Triatmodjo, B. (1996). *Hidraulika I*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, I. (2010). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset: Yogyakarta.
- Wilayah, K. M. (2004). *Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasaranan Wilayah.