

**ANALISIS PERENCANAAN BENDUNG  
(STUDI KASUS BENDUNG BOTUNG)**

**Sadewa Sabihi<sup>1</sup>, Manyuk Fauzi<sup>2</sup>, Siswanto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email : [sadewa.sabihi@student.unri.ac.id](mailto:sadewa.sabihi@student.unri.ac.id)

***Abstract***

*This research will discuss the analysis of the stability of the dam in the area Botung against weir botung in the area Botung it self actually has no weir bronjong but the dam is temporary and has damaged it needs to be made weir remains to be utilized in the long term, so it takes the design of the lighthouse and the pool megrim secure against rolling, sliding and piping. Based on the results of the discussion of final project study entitled "Analysis weir Planning Case of Studies weir Botung" it can be concluded, using data of rain 10 Years of 2005-2014 years gained 100 year flood discharge plan for,  $Q_{100} = 16.617 \text{ m}^3/\text{sec}$ . High water levels in the upstream dam is 2,456 m, and the water level downstream of the weir is 0.673 m, while the weir height following the existing dam is not fixed in the amount of 1,35m. And the dimensions of the flood discharge obtained value Froude of 7.632, and been building an megrim type USBR of type III. Safety Factor Values sliding obtained a value of  $1.74 \geq 1.5$  and qualify. Safety Factor Values rolling obtained a value of  $2.10 \geq 1.5$  and qualify. Planning this dam safe against piping for WCR value of 4.145 which is secure against gravel and clay.*

*Keywords: weir, Curved tile, stability of the dam, rolling, sliding and piping*

## **A. PENDAHULUAN**

Indonesia memiliki wilayah sungai banyak sungai besar maupun kecil yang menguasai hampir 80% hajat hidup masyarakat Indonesia, terutama petani, sebagai dasar negara Agraris. Sehingga perlu dikembangkan potensi-potensi sungai tersebut guna meningkatkan hasil produksi pertanian, salah satunya dengan membangun bendung.

Bendung yang merupakan bangunan air memiliki cakupan segala macam aspek keteknik sipil diantaranya struktur, tanah, air dan manajemen konstruksi. Agar mendapatkan hasil perencanaan struktur yang tepat perlu dilakukan analisis stabilitas pada bendung botung tersebut agar mengetahui kestabilan bendung botung itu sendiri terhadap

guling dan geser. Salah satu persyaratan keamanan bendung yaitu harus stabil terhadap geser dan guling (Mawardi dan Memet 2010)

Dalam hal ini bendung yang akan dilakukan perhitungan stabilitas bendung adalah Sungai Botung berada dari desa Botung yang merupakan salah satu desa yang ada dikecamatan Kotanopan, Kabupaten Mandailing Natal Provinsi Sumatera utara, Indonesia. Kecamatan Kotanopan sendiri dilewati pegunungan bukit barisan sehingga bentuk daratannya sendiri berbukit-bukit. Sungai Batang Gadis berkontribusi banyak bagi perekonomian masyarakat sebagai irigasi, Pembangkit Listrik,

Pemeliharaan Ikan, Kebutuhan sehari-hari.

Pertanian sebagai mata pencaharian utama masyarakat desa botung, maka tingkat keberadaan bendung sangat diperlukan, maka dari itu bendung harus direncanakan dan dibangun semaksimal mungkin dan mampu bertahan lama, bendung yang dibangun harus memenuhi persyaratan stabilitas yang menjadi salah satu persyaratan penting guna menjamin umur bendung dan kemampuannya untuk menaikkan muka air yang mengalir menuju bagian irigasi di wilayah Sungai Botung

Pada penelitian ini akan membahas analisis stabilitas bendung pada daerah Botung terhadap bendung botung dan akan bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dengan topik yang sama, karena di daerah Indonesia membutuhkan penelitian analisis bendung untuk mencegah kejadian kerusakan bendung.

Pada daerah Botung sendiri sebenarnya sudah ada bendung bronjong tetapi bendung tersebut bersifat sementara dan sudah mengalami kerusakan maka perlu dibuat bendung tetap agar bisa dimanfaatkan dalam jangka panjang, sehingga dibutuhkan desain mercu dan kolam olak yang aman terhadap guling, geser dan piping.

Bertujuan untuk mengetahui stabilitas desain mercu dan kolam olak bendung botung yang terletak di kecamatan Kotonopan kabupaten Mandailing Natal pada sungai Botung.

Penelitian ini diharapkan bisa menjadi bahan referensi bagi pihak yang ingin melakukan penelitian terkait stabilitas suatu bendung.

## **B. TINJAUAN PUSTAKA**

### **B.1 Bendung**

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*). Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2401-1991 tentang pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai adalah bangunan ini dapat didesain dan dibangun sebagai bangunan tetap, bendung gerak, atau kombinasinya, dan harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan di sungai sedemikian sehingga dengan menaikkan muka airnya, air dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhannya. Definisi bendung menurut analisis 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.

### **B.2 Syarat-Syarat Konstruksi Bendung**

Syarat bendung harus memenuhi beberapa faktor yaitu:

1. Bendung harus stabil dan mampu menahan tekanan air pada waktu banjir.
2. Pembuatan bendung harus memperhitungkan kekuatan daya dukung tanah di bawahnya.
3. Bendung harus dapat menahan bocoran (*seepage*) yang disebabkan oleh aliran air sungai dan aliran air yang meresap ke dalam tanah.
4. Tinggi ambang bendung harus dapat memenuhi tinggi muka air minimum yang diperlukan untuk seluruh daerah irigasi.

- Bentuk peluap harus diperhitungkan, sehingga air yang membawa pasir, kerikil, dan batu-batu dari sebelah hulu tidak menimbulkan kerusakan pada tubuh bendung.

### B.3 Analisa Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam kita ini. Meliputi berbagai bentuk air, yang menyangkut perubahan perubahannya antar keadaan cair, padat dan gas dalam atmosfer, diatas dan dibawah permukaan tanah. Didalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan kehidupan diplanet bumi ini. (Soemarto, 1999)

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi, seperti besarnya curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai, akan selalu berubah terhadap waktu.

Data hidrologi dianalisis untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan sebagian data tersebut yang dikumpulkan untuk perencanaan bendung, analisis hidrologi yang terpenting, yaitu menentukan debit banjir rencana.

### B.4 Analisa Frekuensi

Analisa Frekuensi memiliki tujuan mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Analisa frekuensi dapat diterapkan untuk debit sungai sungai atau data hujan. Data yang digunakan adalah data debit hujan maksimum tahunan, yaitu data yang tersebar terjadi selama satu tahun, yang terukur selama beberapa tahun.

Parameter statistik data curah hujan yang perlu diperkirakan untuk pemilihan

distribusi yang sesuai dengan sebaran data adalah sebagai berikut.

- Rata-rata

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

- Standar Deviasi

$$S_d = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

- Koefesien Variasi

$$Cv = \frac{S_d}{\bar{x}} \quad (2.3)$$

- Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (2.4)$$

- Koefesien Skewness

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \quad (2.5)$$

Dengan :

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

$S_d$  = Standar deviasi (mm)

$Cv$  = Koefesien variasi

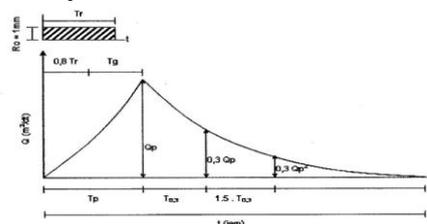
$Cs$  = Asimetri (Skewness)

$Ck$  = Kurtosis

$n$  = Jumlah data yang dianalisis

$x_i$  = Curah hujan (mm)

### B.4 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu



Gambar 1 Sketsa Hidrograf Satuan Sintetik Model Nakayasu (Harto,1993)

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. Rumus yang digunakan untuk menghitung debit rencana adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{C_A \cdot R_0}{3,6 \cdot (0,3T_p + T_{0,3})} \quad (2.7)$$

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

$$T_p = T_g + 0,8T_r \quad (2.8)$$

$$T_{0,3} = \alpha T_g \quad (2.9)$$

$$T_r = 0,75 T_g \quad (2.10)$$

dengan :

a) Jika panjang sungai > 15 km maka  
 $T_g = 0,4 + 0,058 L$  (2.11)

b) Jika panjang sungai < 15 km maka  
 $T_g = 0,21 \cdot L^{0,7}$  (2.12)

Keterangan

$Q_p$  = debit puncak banjir

$A$  = luas DAS ( $km^2$ )

$R_e$  = curah hujan efektif ( $mm$ )

$T_p$  = 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 ( $jam$ )

$\alpha$  = koefisien karakteristik DAS

$L$  = panjang sungai utama ( $km$ )

### B.6 Sebaran Hujan Mononobe

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

$$R_r = \left( \frac{R_{24}}{T_c} \right) x \left( \frac{T_c}{t} \right)^{2/3} \quad (2.13)$$

Dimana :

$R_r$  = 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 ( $jam$ )

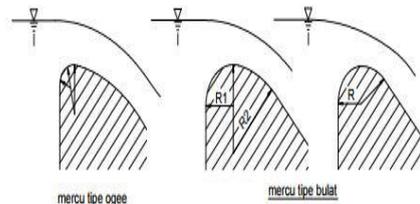
### B.7 Lebar Bendung

Lebar bendung, yaitu jarak antara pangkal-pangkalnya (abutment), sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Di bagian ruas bawah sungai, lebar rata-rata ini dapat diambil pada debit penuh di bagian ruas atas mungkin sulit untuk menentukan debit penuh. Dalam hal ini banjir tahunan dapat diambil untuk menentukan lebar rata-rata bendung. Lebar maksimum bendung hendaknya tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil.

Untuk sungai-sungai yang mengangkut bahan-bahan sedimen kasar yang berat, lebar bendung tersebut harus lebih disesuaikan lagi terhadap lebar rata-rata sungai, yakni jangan diambil 1,2 kali lebar sungai tersebut.

### B.8 Mercu

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah tipe Ogee dan tipe bulat lihat Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk-bentuk Mercu (KP-02, 2010)

Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya. Kemiringan maksimum muka bendung bagian hilir yang dibicarakan di sini berkemiringan 1 banding 1 batas bendung dengan muka hilir vertikal mungkin menguntungkan jika bahan pondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olak.

### B.9 Stabilitas Bendung

Salah satu persyaratan keamanan bendung yaitu harus stabil terhadap geser guling dan piping. Untuk itu harus dihitung gaya-gaya yang bekerja pada bangunan itu sendiri yaitu:

1. Berat sendiri bangunan
2. Tekanan Air normal setinggi bendung dan setinggi muka air banjir.
3. Tekanan lumpur
4. Gaya Gempa
5. Piping

Selanjutnya gaya-gaya yang bekerja pada bangunan itu dianalisis dan dikontrol satabilitasnya terhadap faktor-faktor keamanannya. (Mawardi dan Memet 2010).

Selanjutnya gaya-gaya yang berkerja pada bangunan ini dianalisis dan dikontrol stabilitasnya terhadap faktor-faktor keamanannya. Perhitungan dilakukan dengan tinjauan panjag satu meter.

Setelah menganalisis gaya-gaya tersebut, kemudian diperiksa stabilitas bendung terhadap guling dan geser. Akibat adanya gempa akan ada penambahan momen guling yang terjadi secara horizontal menekan bendung.

Persamaan yang digunakan (Teknik Bendung Ir.Soedibyo, 2003), yaitu:

a. Keadaan normal :  $sf = \frac{M_T}{M_G} \geq 1.5$  (2.20)

b. Keadaan gempa :  $sf = \frac{M_T}{M_G} \geq 1.3$  (2.21)

Dimana :

$sf$  = faktor keamanan

$M_T$  = besarnya momen vertikal / momen tahan (kN.m)

$M_G$  = besarnya momen horisontal / momen guling (kN.m)

Persamaan yang digunakan (Hinds Creager Justin, 1961), yaitu:

a. Keadaan normal :  $sf = \frac{\Sigma V}{\Sigma H} \geq 1.5$  (2.22)

b. Keadaan gempa :  $sf = \frac{\Sigma V}{\Sigma H} \geq 1.3$  (2.23)

Di mana :

$sf$  = faktor keamanan

$\Sigma V$  = besarnya total gaya vertikal (kN)

$\Sigma H$  = besarnya total gaya horisontal (kN)

### B.10 Piping

Bangunan utama Bendung harus di cek Stabilitasnya terhadap erosi bawah tanah (*paping*) dan bahan runtuh akibat naiknya dasar galian (*heave*) atau rekahnya pangkal hilir bangunan. Bahaya terjadinya erosi bawah tanah dapat dicek dengan beberapa metode empiris, seperti metode Bligh, metode lane, dan metode Koshia.

Meode Lane yang juga disebut juga angka rembesan lane adalah metode yang di anjurkan untuk mengecek bangunan-bangunan utama untuk mengetahui adanya erosi bawah tanah (*paping*). Metode ini memberikan hasil yang aman dan mudah dipakai, untuk bangunan-bangunan yang relatif kecil.

$$L_w = \frac{\Sigma L_h + \Sigma L_v}{3} \quad (2.24)$$

Dengan :

$L_w$  = *Weight - Creep - Distance*

$\Sigma L_h$  = Jumlah Panjang Horizontal (m)

$\Sigma L_v$  = Jumlah panjang Vertikal (m)

*Weight - creep - ratio (WCR)* dapat dihitung dengan rumus :

$$WCR = \frac{\Sigma L_w}{H_1 - H_2} \quad (2.25)$$

Dengan :

$L_w$  = *Weight-Creep-Distance*

$H_1$  = Tinggi Muka Air Hulu (m)

$H_2$  = Tinggi Muka Air Hilir (m)

## C. METODOLOGI PENELITIAN

### C.1 Studi Literatur

Untuk memahami penelitian yang dilakukan perlu didapatkan teori - teori yang berhubungan dengan penelitian stabilitas bendung ini, sehingga teori - teori tersebut bisa dijadikan referensi penelitian stabilitas bendung ini.

## C.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan sarana pokok untuk menemukan penyelesaian suatu masalah secara ilmiah. Dalam pengumpulan data, peranan instansi yang terkait sangat diperlukan sebagai pendukung dalam memperoleh data yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian.

Adapun data-data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data debit, agar dapat diolah dan dianalisis menggunakan metode HSS Nakayasu untuk menentukan Q100 nya. Juga tinggi bendung sementara yang ada dilokasi, sebagai pedoman tinggi mercu.

## D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### D.1 Analisis Hujan Rencana

#### D.1.1 Hujan Harian Maksimum Rata-rata

Untuk perancangan ini dipakai data curah hujan dari 3 stasiun pencatat curah hujan terdekat, yaitu Arse, Hutaraja dan Jae. Dari 3 data curah hujan harian maksimum tahunan tersebut diperoleh curah hujan rata-rata dan maksimum keseluruhan.

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum dan Rata-rata.

No	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum [mm]			Maksimum	Rata-rata
		Jae	Arse	Hutaraja	[mm]	[mm]
1	2005	83,0	120,0	65,0	120,0	89,3
2	2006	48,0	77,0	16,0	77,0	47,0
3	2007	79,0	64,0	98,0	98,0	80,3
4	2008	55,7	90,0	81,0	90,0	75,6
5	2009	98,0	74,0	78,0	98,0	83,3
6	2010	142,0	37,0	54,0	142,0	77,7
7	2011	109,4	55,5	69,3	109,4	78,1
8	2012	121,5	46,3	67,4	121,5	78,4
9	2013	133,5	50,9	65,5	133,5	83,3
10	2014	145,6	48,6	63,6	145,6	85,9

#### D.1.2 Analisa Frekuensi

Berdasarkan data curah hujan rata-rata yang sudah didapatkan selanjutnya dicari nilai koefisien skewness (Cs) dan Kurtosis (Ck). Untuk menentukan jenis distribusi yang tepat dengan kondisi statistik data. Tabel 2 berikut merupakan tahap perhitungan untuk mencari nilai Cs dan Ck.

Tabel 2. Perhitungan Nilai Cs dan Ck

No	Curah Hujan	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Sd	Cv	$(x_i - \bar{x})^3$	Cs	$(x_i - \bar{x})^4$	Ck
1	120,0	113,5	6,5	42,25	22,927	0,202	274,625	-0,047	1785,063	2,932
2	77,0	113,5	-36,5	1332,25			-48627,125		1774890,063	
3	98,0	113,5	-15,5	240,25			-3723,875		57720,063	
4	90,0	113,5	-23,5	552,25			-12977,875		304980,063	
5	98,0	113,5	-15,5	240,25			-3723,875		57720,063	
6	142,0	113,5	28,5	812,25			23149,125		659750,063	
7	109,4	113,5	-4,1	16,81			-68,921		282,576	
8	121,5	113,5	8,0	64,00			512,000		4096,000	
9	133,5	113,5	20,0	400,00			8000,000		16000,000	
10	145,6	113,5	32,1	1030,41			33076,161		1061744,768	
Jumlah				4730,72			-4109,760		4082968,719	

Berdasarkan Perhitungan yang dilakukan didapat nilai Cs : -0,0471 dan nilai Ck : 2,9321 . Jenis distribusi ditentukan dengan mencocokkan nilai Cs dan Ck dengan syarat masing-masing jenis distribusi yang tertera pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi

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

Nilai  $\bar{x}$  dan Sd telah didapatkan diperhitungan sebelumnya sedangkan nilai KT diambil dari Tabel Variabel Reduksi Gauss. Setelah diperoleh nilai K100 : 2,326 kemudian dicari hujan rencana dengan periode ulang 100 tahun.

$$XT = 113,5 + 22,9267 \cdot 2,326 = 166,828 \text{ mm}$$

Tabel 4. Hujan Rencana

Kala ulang	Nilai K	XT
2	0	113,500
5	0,842	132,804
10	1,282	142,892
25	1,751	153,645
50	2,051	160,523
100	2,326	166,828

#### D.1.3 Analisis Banjir Rencana HSS Nakayasu

Banjir adalah suatu keadaan aliran sungai, dimana permukaan airnya lebih tinggi daripada suatu ketinggian tertentu (pada umumnya ditetapkan sama dengan titik tinggi bantaran sungai). Metode yang disarankan dalam

SNI untuk analisis banjir rencana diantaranya adalah HSS Nakayasu dan berikut tabel 4.6 data karakteristik sungai Botung yang diperlukan dalam perhitungan.

Tabel 5 Karakteristik sungai Botung

DAS	Luas [km <sup>2</sup> ]	Panjang Sungai [km]
Botung	2,0	2,20

Sumber: Data penelitian

Perhitungan pada DAS Botung dengan data-data :

$$A = 2,0 \text{ Km}^2$$

$$L = 2,2 \text{ Km}$$

Perhitungan *time lag* (Tg)

$$T_g = 0,21 \cdot L^{0,7} (L < 15 \text{ Km})$$

$$= 0,21 \cdot 2,2^{0,7}$$

$$= 0,365 \text{ jam}$$

Perhitungan Waktu Hujan satuan (Tr)

$$T_r = 0,75 \cdot T_g$$

$$= 0,75 \cdot 0,365$$

$$= 0,274 \text{ jam}$$

Perhitungan Tp (*time peak*)

$$T_p = T_g + 0,8 T_r$$

$$= 0,365 + 0,8 \cdot 0,274$$

$$= 0,583 \text{ jam}$$

Perhitungan Waktu 80% dari debit banjir (T<sub>0,8</sub>) Pada perhitungan T<sub>0,8</sub> dapat digunakan persamaan

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

dan untuk mencari nilai  $\alpha$  digunakan persamaan yang berhubungan dengan nilai Luas dan panjang sungai. Perhitungan ini dapat dilihat seperti berikut:

$$\begin{aligned} \alpha &= 3,604 \cdot \frac{A^{0,215}}{L^{0,528}} \\ &= 3,604 \cdot \frac{2^{0,215}}{2,2^{0,528}} \\ &= 2,759 \end{aligned}$$

$$T_{0,8} = \alpha \cdot T_g$$

$$= 2,759 \cdot 0,365$$

$$= 1,006 \text{ jam}$$

Perhitungan Debit puncak (Qp)

$$Q_p = \frac{A \cdot R_0}{3,6 \cdot (0,3 T_p + T_{0,8})} = \frac{2 \cdot 1}{3,6 \cdot (0,3 \cdot 0,583 + 1,006)}$$

$$= 0,470 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$$

Lampiran 1 merupakan gambar grafik hidrograf satuan sintetik metode Nakayasu DAS Botung berdasarkan kurva naik turunnya.

Untuk sebaran hujan ini perhitungannya dikalikan koefisien pengairan contoh kala ulang 100 tahun.

$$F = 1 - 6,6/R_{24}^{1/2}$$

$$= 1 - 6,6/166,828^{1/2}$$

$$= 0,38$$

Untuk sebaran hujan jam – jaman ini perhitungannya menggunakan rumus mononobe sebagai berikut :

$$R_T = \left( \frac{R_{24}}{T_c} \right) x \left( \frac{T_c}{t} \right)^{2/3}$$

Dimana :

R<sub>T</sub> = Rata-rata hujan pada jam ke- n (mm)

R<sub>24</sub> = Curah hujan efektif dalam 1 hari (mm)

T<sub>c</sub> = Waktu konsentrasi hujan (jam)

T = Waktu hujan (jam)

Contoh distribusi hujan 6 jam pada jam pertama.

RT

$$= \left( \frac{166,828 x 0,38}{6} \right) x \left( \frac{6}{166,828 x 0,38} \right)^{2/3}$$

$$RT = 44,896$$

Dari data debit dan waktu diperhitungan HSS Nakayasu dan hujan rencana tahunan XT di tabel 4 maka diperoleh banjir rencana tahunan pada tabel 5 berikut.

Tabel 6 Rekapitulasi banjir rencana tahunan

Waktu (t) (jam)	Q Ulang Tahunan					
	Q <sub>0.7%</sub>	Q <sub>1%</sub>	Q <sub>10.7%</sub>	Q <sub>20%</sub>	Q <sub>50.7%</sub>	Q <sub>100%</sub>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	7.72	10.14	11.44	12.84	13.74	14.58
1.00	8.80	11.56	13.04	14.63	15.66	16.62
1.50	6.91	9.07	10.25	11.49	12.30	13.04
2.00	5.75	7.55	8.51	9.56	10.23	10.85
2.50	4.86	6.39	7.21	8.09	8.66	9.19
3.00	4.15	5.46	6.15	6.91	7.39	7.84
3.50	2.91	3.82	4.31	4.83	5.17	5.49
4.00	1.92	2.53	2.85	3.20	3.42	3.63
4.50	1.35	1.77	2.00	2.24	2.40	2.55
5.00	0.96	1.27	1.43	1.60	1.72	1.82
5.50	0.70	0.92	1.04	1.17	1.25	1.32
6.00	0.52	0.68	0.77	0.86	0.92	0.98
6.50	0.38	0.50	0.57	0.64	0.68	0.73
7.00	0.28	0.37	0.42	0.47	0.51	0.54
7.50	0.21	0.28	0.31	0.35	0.38	0.40
8.00	0.16	0.21	0.23	0.26	0.28	0.30
8.50	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22
9.00	0.09	0.11	0.13	0.14	0.15	0.16
9.50	0.06	0.08	0.09	0.11	0.11	0.12
10.00	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09
10.50	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
11.00	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
11.50	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
12.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
12.50	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
13.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
13.50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
14.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
14.50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
max	8.80	11.56	13.04	14.63	15.66	16.62

**D.2 Desain Bendung**

Sesuai dengan perencanaan maka data teknis bendung Botung dapat disajikan sebagai berikut :

Tabel 7 Data Teknis Bendung Botung

Material bendung	Concrete (beton)
Tipe bendung	Mercu Ogee
Kolam olak	USBR Tipe III
Lebar rata-rata sungai	34,70 meter
Tinggi bendung	1,35 meter
Q <sub>100 th</sub>	16,62 m3/dt

Sumber: Data penelitian

**D.2.1 Tinggi dan Lebar Bendung**

Tinggi bendung yang direncanakan mengikuti tinggi bendung tetap yang sudah ada disana yaitu setinggi 1,35 meter sedangkan lebar bendung yang direncanakan merupakan 1,2 kali dari lebar rata-rata sungai Botung itu sendiri yaitu sebesar 34,7 x 1,2 = 41,64 meter.

**D.2.2 Perencanaan Mercu Bendung**

Mercu yang biasa digunakan di Indonesia ada dua yaitu mercu bulat dan mercu Ogee, diperencanaan bendung Botung ini sendiri mercu yang dipilih yaitu mercu ogee.

Persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung mercu Ogee adalah:

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2/3gb} \cdot H1^{1,5}$$

Dimana:

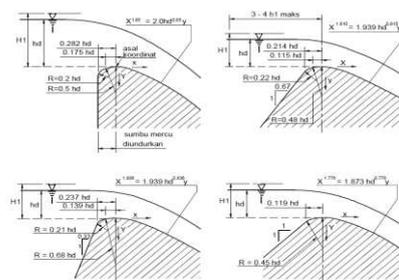
H1 = Tinggi energi diatas ambang, meter

Q = Debit, m<sup>3</sup>/dt

Cd = Koef Debit

G = Percepatan Gravitasi, m/dt<sup>2</sup> (9,8)

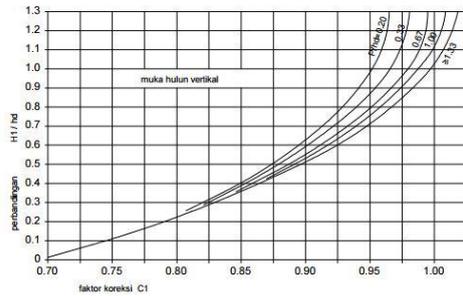
b = Lebar Mercu, m



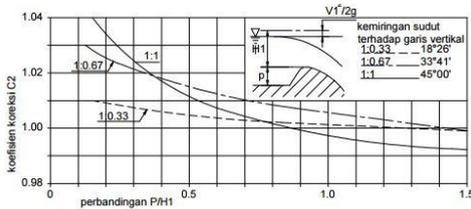
Gambar 3 Macam-macam Mercu Ogee

Untuk nilai hd diasumsikan sama dengan nilai H1, dan setelah menggunakan metode trial and error didapatkan nilai H1 sebesar 1,106 m diatas tinggi mercu. Penentuan nilai Cd adalah hasil dari C0.C1.C2, sehingga perlu ditentukan terlebih dulu ketiga nilai faktor koreksi tersebut dengan metode penentuan berdasarkan Kp-02.

C0 merupakan nilai Konstanta 1,30, sedangkan C1 adalah fungsi p/hd (1,35/1,106=1,22) dan H1/hd (1,106/1,106=1) dan dan C2 ditentukan berdasarkan perbandingan p/H1 (1,35/1,106=1,22) dan kemiringan sungai (vertikal = 1:1).



Gambar 4 Faktor koreksi untuk selain tinggi energi rencana pada bendung mercu Ogee (menurut Ven Te Chow, 1959, berdasarkan data USBR dan WES)



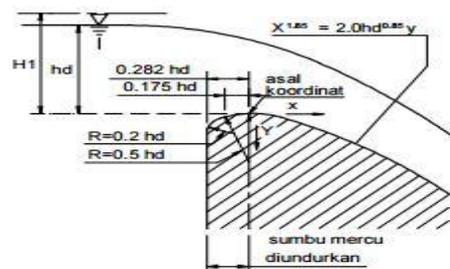
Gambar 5 Harga-harga koefisien C2 untuk bendung mercu tipe Ogee dengan muka hulu melengkung (menurut USBR, 1960)

Berdasarkan Gambar 4.4 dan 4.5 diperoleh nilai C1 1,1 dan C2 0,995 , sehingga diperoleh nilai Cd.

$$\begin{aligned}
 C_d &= C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \\
 &= 1,3 \cdot 1,1 \cdot 0,995 \\
 &= 1,43
 \end{aligned}$$

Kemudian dicari nilai debit bendung dan dibandingkan dengan Q100 16,617 m3/detik , apakah sinkron atau tidak.

$$\begin{aligned}
 Q &= C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2/3gb} \cdot H_1^{1,5} \\
 &= 1,43 \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2/3 \cdot 9,81 \cdot 1,41,64} \cdot 1,106^{1,5} \\
 &= 16,617 \text{ m}^3/\text{detik (ok)}
 \end{aligned}$$



Gambar 6 Mercu Ogee Tipe I

Mercu Ogee yang dipilih adalah Mercu Ogee tipe I lihat gambar 4.6, kemudian dicari koordinat X dan Y dengan melakukan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 X^{1,85} &= 2 \cdot h_d^{0,85} \cdot Y \\
 &= 2 \cdot 1,106^{0,85} \cdot Y \\
 &= 0,459 \cdot Y \\
 Y &= 0,459 \cdot X^{1,85} \\
 \text{Misal , } Y' &= 0,459 \cdot 1,85 \cdot X^{0,85} \\
 &= 0,849 \cdot X^{0,85} \\
 \text{Kemudian, misal : } Y' : 1 \\
 1 &= 0,849 \cdot X^{0,85} \\
 1/0,849 &= X^{0,85} \\
 1,178 &= X^{0,85} \\
 X &= 1,178^{1/0,85} \\
 &= 1,212 \\
 Y &= 0,459 \cdot X^{1,85} \\
 &= 0,459 \cdot 1,212^{1,85} \\
 &= 0,655
 \end{aligned}$$

Jadi koordinat titik potong mercu (1,212 : 0,655)

Melalui titik potong mercu dapat diketahui lengkung ambang bendung serta panjang ambang bendung tersebut dan diakhir lengkung.

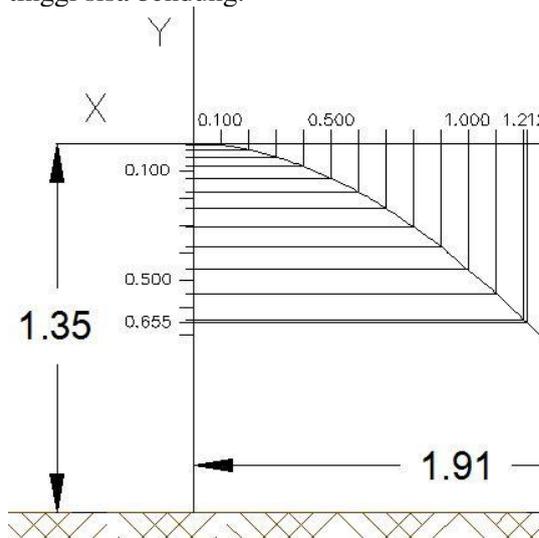
Tabel 8 Persamaan lengkung ambang bendung botung tipe ogee I

X	Y
0,100	0,006
0,200	0,023
0,300	0,049
0,400	0,084
0,500	0,127
0,600	0,178
0,700	0,237
0,800	0,304
0,900	0,378
1,000	0,459
1,100	0,548
1,200	0,643
1,212	0,655

Untuk Mercu Ogee tipe I

$$\begin{aligned}
 R1 &= 0,5 \cdot Hd \\
 &= 0,5 \cdot 1,106 \\
 &= 0,553 \text{ meter} \\
 R2 &= 0,2 \cdot Hd \\
 &= 0,2 \cdot 1,106 \\
 &= 0,221 \text{ meter} \\
 \text{Jarak R1} &= 0,175 \cdot Hd \\
 &= 0,175 \cdot 1,106 \\
 &= 0,194 \text{ meter} \\
 \text{Jarak R2} &= 0,282 \cdot Hd \\
 &= 0,281 \cdot 1,106 \\
 &= 0,312 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Gambar 7 berikut merupakan lengkung bendung yang didapat dengan akhir lengkung dibuat kemiringan 1:1 dari tinggi sisa bendung.



Gambar 7 Ambang Bendung Botung tipe Ogee I

### D.2.3 Kolam Olak

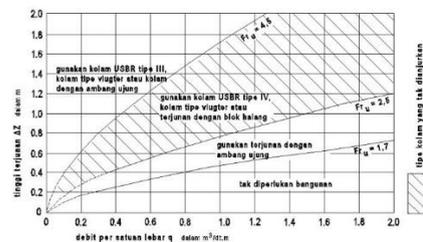
Dalam perhitungan kolam olak ini direncanakan pada saat banjir dengan Q100. Untuk mengecek apakah diperlukan kolam olak atau tidak maka perlu dicari nilai Fr (Froude).

Untuk menentukan nilai Fr diperlukan Nilai kecepatan awal loncat v1 dan nilai kedalaman air diawal loncat air y1, yang mana nilai z untuk menentukan v1 sama dengan tinggi mercu dikarenakan elevasi bendung diawal dan setelah dianggap datar.

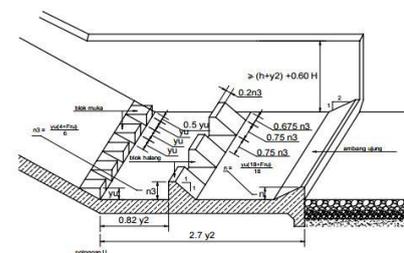
Kemudian nilai q merupakan debit persatuan lebar (Q100/lebar bendung).

$$\begin{aligned}
 v1 &= \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{1}{2} H1 + z\right)} \\
 &= \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 1,106 + 1,35\right)} \\
 &= 6,107 \text{ m/dt}^2 \\
 q &= Q100/41,64 \\
 &= 16,617/41,64 \\
 &= 0,399 \text{ m}^3/\text{dt} \\
 y1 &= q/v1 \\
 &= 0,399/6,107 \\
 &= 0,065 \text{ m} \\
 Fr &= \frac{v1}{\sqrt{g \cdot y1}} \\
 &= \frac{6,107}{\sqrt{9,81 \cdot 0,065}} \\
 &= 7,632
 \end{aligned}$$

Untuk bilangan-bilangan Froude di atas 4,5 loncatan airnya bisa mantap dan peredaman energi dapat dicapai dengan baik. Kolam olak USBR tipe III khusus dikembangkan untuk bilangan-bilangan itu. Pada Gambar ditunjukkan dimensi-dimensi dasar kolam olak USBR tipe III, berdasarkan KP – 04.



Gambar 8 Diagram untuk memperkirakan tipe bangunan yang akan digunakan untuk perencanaan detail.



Gambar 9 Karakteristik kolam olak untuk dipakai dengan bilangan Froude di atas 4,5 ; kolam USBR tipe III

$$\begin{aligned}
y_2 &= y_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1) \\
&= 0,065 \cdot \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot 7,632^2} - 1) \\
&= 0,673 \text{ m} \\
n &= \frac{y_1 \cdot (18 + fr)}{18} \\
&= \frac{0,065 \cdot (18 + 7,632)}{18} \\
&= 0,093 \text{ m} \\
n_3 &= \frac{y_1 \cdot (4 + fr)}{6} \\
&= \frac{0,065 \cdot (4 + 7,632)}{6} \\
&= 1,305 \text{ m} \\
\text{Panjang Kolam Olak} \\
L1 &= 2,7 \cdot y_2 \\
&= 2,7 \cdot 0,673 \\
&= 1,818 \text{ m} \\
L2 &= 0,82 \cdot y_2 \\
&= 0,82 \cdot 0,673 \\
&= 0,552 \text{ m} \\
\text{Blok Muka} \\
\text{Tinggi} &= y_1 \\
&= 0,065 \text{ m} \\
\text{Jarak 1} &= 0,5 y_1 \\
&= 0,5 \cdot 0,065 \\
&= 0,033 \text{ m} \\
\text{Jarak 2} &= y_1 \\
&= 0,065 \text{ m} \\
\text{Blok Halang} \\
\text{Tinggi} &= n_3 \\
&= 1,305 \text{ m} \\
\text{Lebar A} &= 0,2 \cdot n_3 \\
&= 0,2 \cdot 1,305 \\
&= 0,261 \text{ m} \\
\text{Lebar B} &= n_3 + \text{Lebar A} \\
&= 1,305 + 0,261 \\
&= 1,566 \text{ m} \\
\text{Jarak 1} &= 0,675 \cdot n_3 \\
&= 0,675 \cdot 1,305 \\
&= 0,881 \text{ m} \\
\text{Jarak 2} &= 0,75 \cdot n_3 \\
&= 0,75 \cdot 1,305 \\
&= 0,979 \text{ m} \\
\text{Ambang Ujung} \\
\text{Tinggi} &= n \\
&= 0,093 \text{ m} \\
\text{Lebar} &= n \cdot 2 \\
&= 0,093 \cdot 2 \\
&= 0,186 \text{ m}
\end{aligned}$$

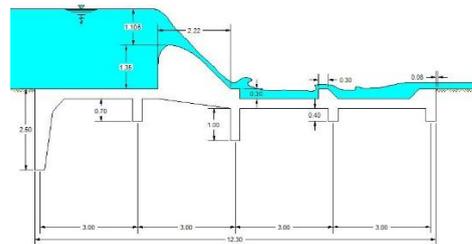
Tabel 9. Perencanaan Kolam olak hasil perhitungan

A	B	Perhitungan (m)
Panjang Kolam Olak	L1	1,818
	L2	0,552
Blok Muka	Tinggi	0,065
	Jarak 1	0,033
	Jarak 2	0,065
Blok Halang	Tinggi	0,127
	Lebar A	0,025
	Lebar B	0,152
	Jarak 1	0,086
Ambang Ujung	Tinggi	0,093
	Lebar	0,186

Dikarenakan hasil perhitungan yang didapat sulit direalisasikan dilapangan maka yang digunakan desain yang sudah ada, dengan dimensi blok muka, blok halang yang lebih besar dari hasil perhitungan.

#### D.2.4 Dimensi Bendung Botung

Berikut merupakan Gambar rencana Bendung Botung dengan bentuk dan ukuran mercu sesuai dengan perhitungan (Mercu Ogee) serta Kolam Olak yang dimensinya diperbesar.



Gambar 10 Dimensi Bendung Botung

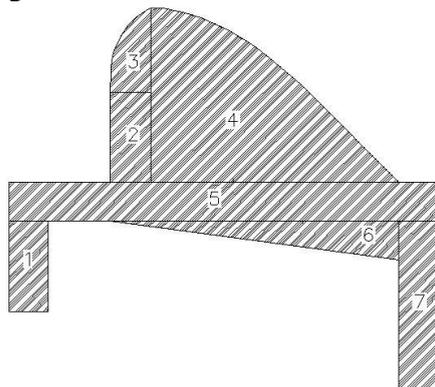
#### D.3 Analisis Stabilitas Bendung

Salah satu persyaratan keamanan bendung yaitu harus stabil terhadap geser guling, sehingga untuk mengetahui apakah bendung botung yang telah direncanakan ini aman, maka perlu diketahui gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung itu sendiri. Seperti

gaya berat sendiri, tekanan lumpur, gaya gempa dan gaya hidrostatik.

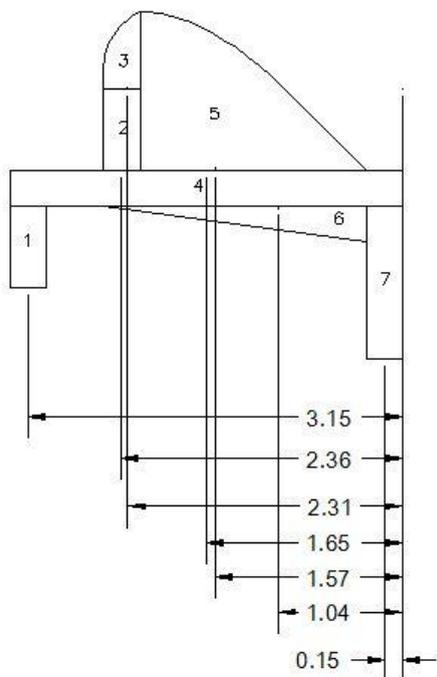
### D.3.1 Gaya Berat Sendiri

Gaya berat ini dihitung dengan arah vertikal kebawah yang garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Agar memudahkan perhitungan maka tubuh bendung dibagi menjadi beberapa bagian.



Gambar10 Pembagian tubuh bendung botung untuk berat sendiri

Kemudian setiap bagian titik berat tubuh bendung dihitung jarak lengan ke arah kanan.



Gambar 11 Lengan masing-masing bagian bendung botung

Luasan setiap bagian bendung dicari menggunakan program AutoCad, contoh bagian Bendung 1 yang dicari Luasannya menggunakan AutoCad. Berikut merupakan contoh perhitungan berat bagian bendung serta momen yang bekerja pada bendung, dengan nilai  $\gamma_{\text{Beton}}$  sebesar 2,4 ton/m<sup>3</sup>. Lebar bendung dianggap 1 meter agar mempermudah perhitungan.

$$\begin{aligned}
 V &= A \times L \\
 &= 0,21 \times 1 \\
 &= 0,21 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat} &= V \times \gamma_{\text{Beton}} \\
 &= 0,21 \times 2,4 \\
 &= 0,504 \text{ Ton} \\
 \text{Momen} &= \text{Berat} \times \text{Lengan} \\
 &= 0,504 \times 3,15 \\
 &= 1,588 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

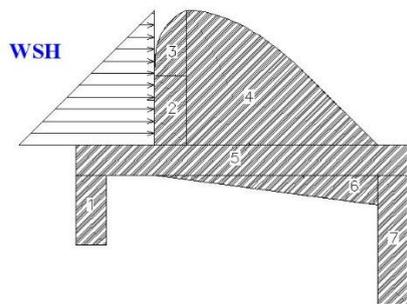
Hasil keseluruhan dari perhitungan tersebut dapat dilihat di Tabel 4.18

Tabel 10. Perhitungan Berat dan Momen yang Bekerja pada Tubuh Bendung Botung

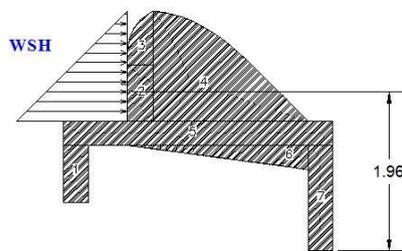
No	$\gamma$ (Ton/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
1	2,400	0,210	0,504	3,150	1,588
2	2,400	0,217	0,521	2,360	1,229
3	2,400	0,159	0,382	2,310	0,881
4	2,400	1,599	3,838	1,650	6,332
5	2,400	0,990	0,799	1,570	1,255
6	2,400	0,333	2,376	1,040	2,471
7	2,400	0,390	0,936	0,150	0,140
Total			9,355		13,896

### D.3.2 Tekanan Lumpur

Lumpur yang dibawa aliran air yang kemudian mengendap di muka bendung menimbulkan tekanan lumpur dari arah horizontal dan dari arah vertikal ke bawah. Seperti gambar 12 berikut.



Gambar 12 Tekanan Lumpur  
Kemudian setiap bagian titik berat tekanan lumpur dihitung jarak lengan ke arah sumbu kanan.



Gambar 13 Lengan Tekanan Lumpur  
Berikut merupakan contoh perhitungan tekanan lumpur arah horizontal bendung serta momen yang bekerja pada bendung, berdasarkan KP 06 dengan menggunakan rumus:

$$Ps = \frac{1,6xh^2}{2} \left( \frac{1 - \sin\Phi}{1 + \sin\Phi} \right)$$

Dimana:

Ps = gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara normal.

$\Phi$  = sudut geser dalam ( $30^\circ$ )

$\gamma_s$  = berat jenis lumpur = 1,6 ton/m<sup>3</sup>

h = kedalaman lumpur (m)

$$Ps = \frac{1,6x1,35^2}{2} \left( \frac{1 - \sin30}{1 + \sin30} \right)$$

$$Ps = 1,458 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Gaya} = Ps \times \text{Lebar}$$

$$= 1,458 \times 1$$

$$= 1,458 \text{ Ton}$$

$$\text{Momen} = 1,458 \times 1,96 = 2,858 \text{ Ton.m}$$

Hasil keseluruhan dari perhitungan tersebut dapat dilihat di Tabel 11

Tabel 11. Perhitungan berat dan momen tekanan lumpur Bendung Botung

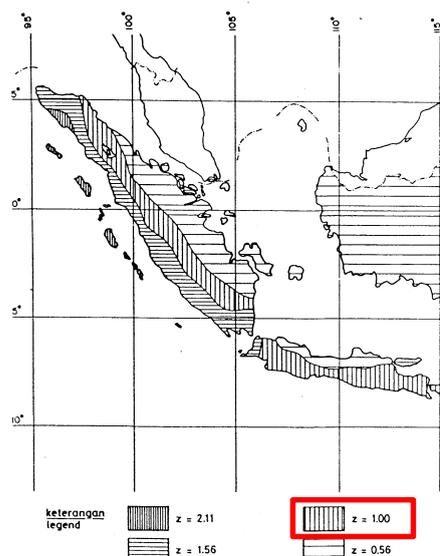
Element	Ps	Volume	Berat	lengan	Momen
	(ton/m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(Ton)	(m)	(T.m)
WSH1	1,458	1	1,458	,96	,858
Total			1,458		2,858

### D.3.3 Gaya Gempa

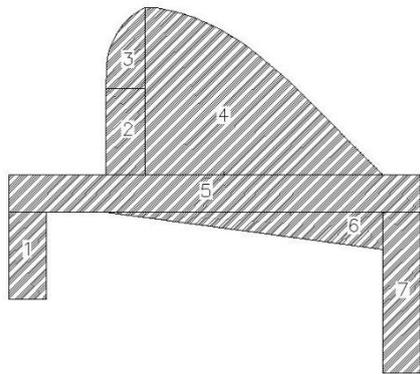
Gaya gempa ini dihitung dengan arah horizontal yang garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Agar memudahkan perhitungan maka tubuh bendung dibagi menjadi beberapa bagian. Gaya gempa pada bendung Botung ini berada di wilayah gempa zona 2, maka diperoleh nilai  $z = 1,56$ . Jenis tanah yang ada pada daerah tersebut adalah Diluvium, maka didapatkan koefisien jenis tanah  $n = 0,87$  dan  $m = 1,05$ .

Tabel 12. Koefisien Jenis Tanah

Jenis	n	m
Batu	2,76	0,71
Diluvium	0,87	1,05
Aluvium	1,56	0,89
Aluvium Lunak	0,29	1,32

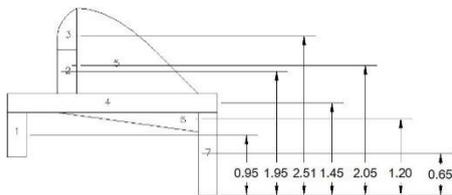


Gambar 14 Wilayah Zona Gempa di Indonesia



Gambar15 Pembagian tubuh bendung botung untuk gaya gempa

Kemudian setiap bagian titik berat tubuh bendung dihitung jarak lengan kearah kanan.



Gambar 16 Lengan bagian tubuh bendung botung untuk gaya gempa

Dengan periode ulang 100 tahun maka didapatkan percepatan dasar gempa ( $a_c$ ) =  $160 \text{ cm/det}^2$  pada Tabel 4.21.

Tabel 13. Periode Ulang dan Percepatan Dasar Gempa

Periode Ulang Tahun	$a_c$ $\text{cm/dt}^2$
20	85
100	160
500	225
1000	275

$$\begin{aligned}
 Ad &= n \times (Z \times a_c)^m \\
 &= 0,87 \times (1,56 \times 1,6)^{1,05} \\
 &= 1,231 \\
 F &= ad / g \\
 &= 1,231 / 9,81 \\
 &= 0,126
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan contoh perhitungan gaya gempa bagian bendung 1 serta momen gempa yang

bekerja pada bendung, dengan nilai koef gempa 0,126. Lebar bendung dianggap 1 meter agar mempermudah perhitungan.

$$\begin{aligned}
 V &= A \times L \\
 &= 0,21 \times 1 \\
 &= 0,21 \text{m}^3 \\
 \text{Berat} &= V \times \gamma_{\text{Beton}} \\
 &= 0,21 \times 2,4 \\
 &= 0,504 \text{ Ton} \\
 \text{Gaya Gempa} &= \text{Berat} \times \text{Koef Gempa} \\
 &= 0,504 \times 0,127 \\
 &= 0,063 \\
 \text{Momen} &= \text{Gaya Gempa} \times \text{lengan} \\
 &= 0,063 \times 0,95 \\
 &= 0,060 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

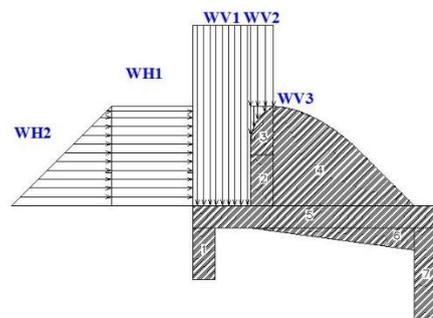
Hasil keseluruhan dari perhitungan tersebut dapat dilihat di Tabel 14

Tabel 14. Perhitungan gaya dan momen gempa Bendung Botung

No	$\gamma$ (Ton/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (Ton)	Koef Gempa	Gaya Gempa (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
1	2,400	0,210	0,504	0,126	0,063	0,950	0,060
2	2,400	0,217	0,521	0,126	0,065	1,950	0,127
3	2,400	0,159	0,382	0,126	0,048	2,510	0,120
4	2,400	1,599	3,838	0,126	0,482	1,450	0,698
5	2,400	0,990	0,799	0,126	0,100	2,050	0,206
6	2,400	0,333	2,376	0,126	0,298	1,200	0,358
7	2,400	0,390	0,936	0,126	0,117	0,650	0,076
Total			9,355		1,174		1,646

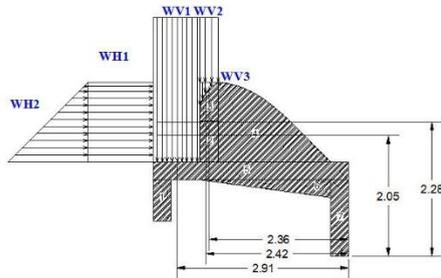
### D.3.4 Gaya Hidrostatik

Gaya hidrostatik disebabkan oleh gaya tekan air yang mengenai tubuh bendung sehingga menimbulkan gaya tekan air dari arah horizontal dan dari arah vertikal kebawah. Gaya hidrostatik yang ditinjau pada saat muka air banjir maksimum ( $H1 = 1.106$ ).



Gambar 17 Gaya Hidrostatik

Kemudian setiap bagian titik berat tekanan lumpur dihitung jarak lengan ke arah sumbu kanan.



Gambar 18 Lengan Gaya Hidrostatik  
Berikut merupakan contoh perhitungan gaya hidrostatik bendung serta momen yang bekerja pada bendung, dengan nilai  $\gamma_{air}$  1 ton/m<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} \text{Berat} &= \gamma_{air} \times \text{Volume} \\ &= 1 \times 0,911 \\ &= 0,911 \text{ Ton} \\ \text{Momen} &= \text{Berat} \times \text{Lengan} \\ &= 0,911 \times 2,05 \\ &= 1,868 \text{ Ton.m} \end{aligned}$$

Hasil keseluruhan dari perhitungan tersebut dapat dilihat di Tabel 4.23  
Tabel 14. Perhitungan tekanan dan momen gaya hidrostatik Bendung Botung

Element	$\gamma_{air}$ (ton/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Tekanan (Ton)	Lengan (m)	Momen (T.m)
WSH1	1	1,493	1,493	2,28	3,404
WSH2	1	0,911	0,911	2,050	1,868
WSV1	1	1,916	1,916	2,910	5,576
WSV2	1	0,345	0,345	2,420	0,835
WSV3	1	0,101	0,101	2,360	0,238
Total		3,273			8,516

### D.3.5 Cek Stabilitas Bendung

Setelah semua gaya-gaya yang mempengaruhi bendung diperiksa maka total gaya yang bekerja digabungkan sesuai dengan arah gaya dan momen yang bekerja pada tubuh bendung botung itu sendiri. Untuk total gaya yang bekerja dapat dilihat ditabel 15.

Tabel 15. Total momen Bendung Botung

Gaya	Vertikal Ton	Horizontal Ton	Momen (Ton.m)	
			Tahan	Guling
Berat Sendiri	9,355	-	13,896	-
Tekanan Lumpur	-	1,458	-	2,858
Gaya Gempa	-	1,174	-	1,646
Hidrostatik	2,362	2,404	6,649	5,272
Total	11,717	5,036	20,545	9,775

Kemudian gaya-gaya yang bekerja tersebut diuji kestabilannya terhadap guling dan geser, untuk koef geser yang dipakai berupa koef geser bahan pasangan batu yang bisa dilihat pada tabel 2.3.

a. Kontrol Geser

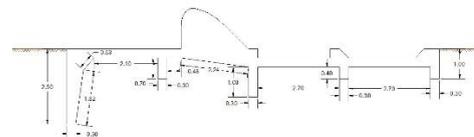
$$\begin{aligned} \sum V &= 11,717 \text{ Ton} \\ \sum H &= 3,543 \text{ Ton} \\ f &= 0,75 \\ Fk &= \frac{\sum V}{\sum H} \cdot f \geq 1.5 \\ &= \frac{11,717}{5,036} \cdot 0,75 \geq 1.5 \\ &= 1,74 \geq 1.5 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

b. Kontrol Guling

$$\begin{aligned} \sum Mt &= 20,545 \text{ Ton.m} \\ \sum Mg &= 9,775 \text{ Ton.m} \\ Fk &= \frac{\sum Mt}{\sum Mg} \geq 1.5 \\ &= \frac{20,545}{9,775} \geq 1.5 \\ &= 2,10 \geq 1.5 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

### D.4 Kontrol Piping

Untuk melihat apakah Bendung Botung ini mengalami erosi bawah tanah diluar batas aman digunakan Metode Lane. Data yang perlu diketahui yaitu keliling bendung yang bersentuhan dengan tanah.



Gambar 19 Keliling bawah Bendung Botung

Diketahui :  
Keliling = 22,170 m  
 $H_1 = 2,456$  m  
 $H_2 = 0,673$  m  
Maka,

$$\begin{aligned} LW &= \frac{\text{Keliling}}{3} \\ &= \frac{22,17}{3} \\ &= 7,390 \text{ m} \end{aligned}$$

$$WCR = \frac{L_w}{H_1 - H_2}$$

$$WCR = \frac{7,390}{2,456 - 0,673}$$

$$WCR = 4,146$$

Tabel 16. Perhitungan LW dan WCR

Keliling Bawah	Tinggi Muka Air		LW	WCR
	Hulu	Hilir		
m	m	m	m	
22,170	2,456	0,673	7,390	4,146

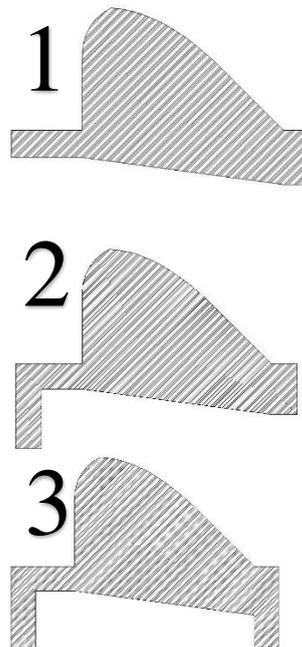
Dari perhitungan didapat nilai WCR 4,146, maka dari itu bisa disimpulkan bahwa bendungan dengan desain yang direncanakan erosi bawah tanahnya aman digunakan pada jenis tanah Kerikil dan Lempung WCRnya kecil dari 4,146.

Tabel 17. Nilai Angka Aman Metode lane

Jenis tanah Dasar	Angka aman (WCR)
Pasir Sangat Halus	8,5
Pasir Halus	7,0
Pasir Sedang	6,0
Pasir Kasar	5,0
Kerikil Halus	4,0
Kerikil Sedang	3,5
Kerikil Kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal & kerikil	2,5
Lempung Lunak	3,0
Lempung Sedang	2,0
Lempung Keras	1,8
Lempung Sangat Keras	1,6

### D.5 Alternatif Desain Bendung

Guna memperoleh hasil yang optimal dalam perencanaan, maka dilakukan beberapa alternatif desain, dan juga diuji Stabilitas guling, geser serta pipingnya. Berikut Gambar 4.18 merupakan 3 alternatif desain yang dicoba.



Gambar .20 Alternatif Desain Bendung

Metode perhitungan untuk stabilitas dan piping sama dengan perhitungan di sub bab sebelumnya Tabel 20 merupakan hasil perhitungan serta perbandingan stabilitas dan pipingnya. Sedangkan untuk perhitungan berat sendiri, tekanan lumpur, gaya gempa dan gaya hidrostatis masing-masing alternatif perhitungan terdapat dilampiran.

Tabel 18. Perbandingan stabilitas dan piping masing-masing desain

Desain Bendung	Keliling Bawah	Tinggi Muka Air		LW	WCR	Geser	Guling
		Hulu	Hilir				
	m	m	m	m			
Rencana	22,170	2,456	0,673	7,390	4,145	1,74	2,10
Alternatif 1	18,770	2,456	0,673	6,257	3,509	1,61	3,94
Alternatif 2	20,170	2,456	0,673	6,723	3,771	1,67	4,22
Alternatif 3	20,970	2,456	0,673	6,990	3,920	1,68	2,68

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas untuk alternatif 1,2 dan 3 memiliki Faktor keamanan guling yang lebih besar tetapi memiliki faktor keamanan geser yang lebih kecil dan setelah ditinjau pipingnya untuk alternatif 1, 2 dan 3 tidak aman terhadap kerikil halus tidak aman berbeda dengan desain rencana yang memiliki nilai WCR >4 yang aman terhadap semua jenis kerikil dan lempung sehingga cocok untuk tanah dilivium yang terdapat kerikil.

## E KESIMPULAN DAN SARAN

### E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dari penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Perencanaan Bendung Studi Kasus Bendung Botung ” ini dapat diambil kesimpulan, yaitu :

1. Dengan menggunakan data hujan 10 Tahun dari tahun 2005-2014 didapat debit banjir rencana 100 Tahun sebesar,  $Q_{100} = 16,617 \frac{m^3}{dt}$ .
2. Tinggi muka air di hulu bendung adalah 2,456 m, dan tinggi muka air di hilir bendung adalah 0,673 m, sedangkan tinggi bendung mengikuti bendung tidak tetap yang ada yaitu sebesar 1,35m.
3. Dari debit banjir dan dimensi didapat nilai *Froude* sebesar 7,632 , dan dipilih bangunan kolam olak bertipe USBR tipe III.
4. Nilai Faktor Keamanan terhadap geser didapat sebesar  $1,74 \geq 1.5$  dan memenuhi syarat.
5. Nilai Faktor Keamanan terhadap guling didapat nilai sebesar  $2,10 \geq 1.5$  dan memenuhi syarat.
6. Perencanaan bendung ini aman terhadap piping karena nilai WCRnya sebesar 4,145 yang aman terhadap Kerikil dan Lempung.

### E.2 Saran

Penelitian Analisis Perencanaan Bendung Botung ini bisa dikembangkan menjadi lebih detail dengan menambahkan Pilar dan pintu air. Data tugas ini merupakan referensi awal bagi para perencana dalam melakukan suatu desain Bendung sesuai dengan syarat keamanan yang ada. Perlu adanya kajian lebih lanjut mengenai Piping bila memiliki data tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.** *Laporan Tugas besar Bangunan Irigasi*, Universitas Brawijaya, Malang.
- Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.** 1986, *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan (KP-02)*, Galang Persada, Bandung.
- Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.** 1986, *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan (KP-04)*, Galang Persada, Bandung.
- Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.** 1986, *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan (KP-06)*, Galang Persada, Bandung.
- Mawardi Erman, Memed Moch.** (2010) *Desain Bangunan Bangunan Irigasi*. Bandung
- Nadia, F.** 2015, *Analisis karakteristik das di kota pekanbaru berbasis sistem informasi geografis untuk menganalisis hidrograf satuan sintetik*. Fakultas Teknik UR. Pekanbaru
- Firnanda, Afrian.** 2016, *Analisa Stabilitas Bendung tamiang DAS Tamiang*, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Harto, Sri Br.** 2000. *Hidrologi*.
- Triadmojo, Bambang.** 2008. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Jakarta.
- Tumpal Alexander Pakpahan.** 2015. *PERHITUNGAN STABILITAS BENDUNG PADA PROYEK PLTM AEK SILANG II DOLOKSANGGUL*. Fakultas Teknik USU. Medan.