

STUDI PERENCANAAN EMBUNG BONAN DOLOK DI DESA SIBURUON KECAMATAN BALIGE KABUPATEN TOBA SAMOSIR PROVINSI SUMATERA UTARA

Rengga Pratama Putra¹, Andre Primantyo Hendrawan², Jadfian Sidqi Fidari²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

e-mail : renggafr@gmail.com

ABSTRAK: Di Kabupaten Toba Samosir terdapat banyak daerah persawahan yang hanya mengandalkan air hujan. Hal ini membuat potensi pertaniannya menjadi terhambat karena kurang maksimalnya ketersediaan kebutuhan air irigasi. Untuk mengatasi masalah tersebut, upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan membangun embung untuk mensuplai kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Toba Samosir yang dapat dimanfaatkan pada musim kemarau. Tujuan utama dari studi ini adalah untuk merencanakan dimensi Embung Bonan Dolok yang aman dari aspek teknis.

Tahap perencanaan embung meliputi beberapa tahap. Tahap pertama, analisis hidrologi untuk menghitung debit banjir rancangan, setelah itu dilakukan analisis neraca air guna mengetahui kebutuhan air dan kapasitas tampungan. Dari analisis tersebut selanjutnya direncanakan dimensi tubuh embung dan pelimpah. Kemudian, dilakukan analisis stabilitas terhadap lereng tubuh embung dan pelimpah untuk mengetahui agar dimensi yang direncanakan sudah sesuai.

Dari hasil analisis yang sudah dilakukan, didapatkan tinggi embung 15 meter dengan tinggi embung berada pada elevasi +1059 m, lebar puncak embung 5,9 m, kemiringan hulu 1 : 3, kemiringan hilir 1 : 3, dan volume tampungan efektif sebesar 34.618,38 m³, volume tampungan mati 146,00 m³, volume tampungan total 34.764,38 m³. Sedangkan bangunan pelimpah yang digunakan adalah *overflow type* dengan lebar pelimpah 7 m dengan puncak mercu pelimpah berada pada elevasi +1057 m. Dalam analisis stabilitas, analisis yang digunakan dalam stabilitas lereng embung yaitu dengan metode Fellenius dan dari hasil analisis didapatkan angka keamanan yang memenuhi syarat. Untuk analisis stabilitas pelimpah terhadap gaya uplift, gaya geser, gaya guling dan daya dukung tanah dalam keadaan normal dan juga gempa didapatkan angka aman yang telah memenuhi syarat.

Kata kunci : Embung Bonan Dolok, Pelimpah, Stabilitas, Tampungan

ABSTRACT: *In the Toba Samosir District, the water for rice fields was only supplied from rainwater. This may cause a limitation to increase the agriculture potential of this district. To solve these problems, an effort that can be done is to build a small dam to supply water for irrigation in the Toba Samosir Irrigation Area that reserves in the rainy season and can be used efficiently in the dry season. The main objective of this study is to design the dimension of Bonan Dolok Small Dam that meet the safety from any engineering aspects.*

The planning stage of construction small dam includes several steps. The first step is hydrological analysis to calculating flood flow, the next step is water balance analysis to supply water and storage capacity. After that, the basin body dimension small dam and the spillway would be design. Finally, the stability of the body slope small dam and the spillway was analyzed to ensure that dimension planned was applicable.

As the result of this study, it is found that the height of the embankment was 15 meters with the height of the dam at the elevation of +1059 m, the width of embankment crest is 5.9 m and the slope of the upstream and the downstream was 1: 3. From the volume capacity analysis, the effective volume is 34,618.38 m³ with the dead storage volume is 146,00 m³ and a total storage volume is 34,764,38 m³. The spillway used was an overflow type that has a width of 7 m with the crest of the spillway was located at +1057 m elevation. From stability analysis using Fellenius method it can be evaluated that the embankment was safe against the rotational slide. For stability analysis of spillway in normal and earthquake condition it is observed that the structure is safe against uplift, shear and overturning force and had an adequate strength for its soil bearing capacity.

Keywords: *Bonan Dolok Small Dam, Spillway, Stability, Storage*

PENDAHULUAN

Embung adalah bangunan konservasi air berbentuk kolam untuk menampung air hujan pada musim penghujan serta dapat digunakan untuk mendukung usaha pertanian, perkebunan maupun peternakan pada saat musim kemarau. Air embung berasal dari limpasan air hujan yang jatuh di daerah tangkapan. Di permukaan bumi ini hanya 2,5% air tawar sedangkan sisanya berupa air asin (laut) dari keseluruhan total air yang ada. Dari air tawar 2,5% tersebut hanya berupa 1,75% es dan salju, 0,001% air di udara, 0,001% air sungai dan danau, dan juga 0,72% air tanah. Dengan keterbatasan jumlah yang tersedia tersebut, maka perlindungan terhadap adanya sumber daya air sangat diperlukan beserta pemanfaatannya.

Daerah Kabupaten Toba Samosir terdapat banyak daerah persawahan yang hanya mengandalkan air hujan sementara itu kebutuhan domestik untuk daerah perkotaan dan pedesaan juga sangat minim. Hal ini membuat potensi pertaniannya menjadi terhambat karena kurang maksimalnya ketersediaan kebutuhan air irigasinya. Sehubungan dengan permasalahan tersebut, alternatif yang dapat dilakukan terhadap air irigasi yaitu dengan menyimpannya pada sebuah tampungan yakni dengan dibangunnya suatu embung dengan tujuan utamanya sebagai tempat tampungan air di musim hujan dan digunakan secara efisien di musim kemarau yang nantinya dapat dimanfaatkan untuk mensuplai kebutuhan air untuk irigasi di Daerah Irigasi Toba Samosir.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan untuk menunjang studi ini merupakan data sekunder yang meliputi data topografi, hidroklimatologi, geologi, mekanika tanah, peta zona gempa serta harga satuan dasar upah kerja.

Dalam penyusunan studi pada perencanaan ini agar dapat dianalisis dengan baik maka harus disusun secara teknis metode-metodenya.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi ini dilakukan guna mendapatkan karakteristik hidrologi dan meteorologi Daerah Aliran Sungai.

Analisis curah hujan rencana serta frekuensi distribusi dilakukan guna mendapatkan besaran curah hujan dan analisis statistik selain itu juga digunakan untuk memperoleh nilai hujan rencana atau debit rencana yang diperhitungkan dalam perhitungan debit banjir rencana. Setelah itu dilakukan pemeriksaan uji kesesuaian distribusi yang bertujuan untuk mengetahui kesesuaian data yang tersedia dengan distribusi yang dipakai, distribusi yang dipakai memakai 2 metode yaitu uji kesesuaian distribusi metode Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Square.

Debit Banjir Rancangan Nakayasu

Rumus dari hidrograf satuan Nakayasu adalah (Montarcih, Lily.2010):

$$Qp = \frac{CA \cdot Ro}{3,6(0,3Tp + T_{0,3})} \quad (1)$$

dengan :

- Qp = debit puncak banjir (m³/dt)
- Ro = hujan satuan (mm)
- Tp = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
- T_{0,3} = waktu yang di perlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)
- CA = luas daerah pengaliran sampai outlet (km²)

Debit Banjir Rancangan Snyder

Rumus dari hidrograf satuan Snyder adalah (Montarcih, Lily.2010):

$$Qp = 2,78 \frac{C_p A}{t_p} \quad (2)$$

Debit Banjir Rancangan Gama I

Rumus dari hidrograf satuan Gama I adalah (Montarcih, Lily.2010):

$$Q_p = 0,1836 \times A^{0,5886} \times Tr^{-0,4008} \times JN^{0,2381} \quad (3)$$

Analisis Ketersediaan Air Sungai

Mengingat di daerah Embung Bonan Dolok tidak terdapat alat pencatat debit maupun bangunan pengukur debit, maka proses perbandingan tidak dapat dilakukan, maka untuk pendugaan debit aliran sungai akan dihitung menggunakan metode metode FJ Mock. Untuk itu diperlukan pendekatan parameter hidrologi yang lebih cermat sehingga hasil simulasi dapat diterima dan dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

Analisa Erosi dan Sedimentasi

Analisa ini digunakan dalam menentukan besarnya sedimen yang mengendap di embung, yang mana nantinya digunakan dalam perhitungan menentukan kapasitas tampungan mati. Untuk memperkirakan laju sedimentasi pada DAS Bonan Dolok digunakan metode Wischmeier dan Smith. Metode ini akan menghasilkan perkiraan besarnya erosi gross. Metode Wischmeier dan Smith atau yang lebih dikenal dengan metode USLE (Universal Soil Losses Equation).

$$E_{pot} = R \times K \times LS \times CP \quad (4)$$

$$E_a = E \times A \quad (5)$$

Dengan:

E_{pot} = Erosi potensial (ton/ha/th)

E_a = Erosi aktual (ton/ha/th)

R = Indeks erosivitas hujan

K = Erodibilitas tanah

LS = Faktor panjang dan kemiringan Lereng

CP = Faktor tanaman dan pengawetan tanah

A = luas DAS (ha)

Untuk menetapkan besarnya sedimen yang sampai di lokasi Embung, erosi gross akan dikalikan dengan ratio

pelepasan sedimen (sediment delivery ratio).

$$SDR = \frac{S(1-0,8683A^{-2018})}{2(S+50n)} + 0,08683 A^{-0,2018} \quad (6)$$

dengan:

SDR = nisbah pelepasan sedimen

A = luas daerah aliran sungai

S = kemiringan lereng rata-rata permukaan DAS (%)

n = koefisien kekasaran manning

Pendugaan laju sedimen potensial yang terjadi di suatu DAS dihitung dengan persamaan *Weishmeier* dan *Smith*, 1958 sebagai berikut:

$$S_{pot} = E_a \times SDR \quad (7)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

S_{pot} = sedimentasi potensial

E_a = erosi aktual

Analisis Neraca Air

Untuk mengecek apakah air yang tersedia memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi atau tidak.

Ada tiga unsur pokok dalam perhitungan Neraca Air yaitu:

- Kebutuhan Air
- Tersedianya Air
- Neraca Air

Perencanaan Teknis Embung

Tipe Tubuh Embung

Dalam analisa studi ini tipe tubuh embung yang digunakan adalah tipe urugan homogen, pemilihan tipe embung didasarkan pada ketersediaan bahan material yang tersedia di lokasi studi.

Tinggi embung

Tinggi tubuh embung harus ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan tampungan air, dan keamanan tubuh embung terhadap terjadinya peluapan oleh banjir.

Lebar Puncak Mercu Embung

Guna memperoleh lebar minimum mercu embung yang nantinya digunakan sebagai jalan dan pemeliharaan, biasanya dihitung dengan

rumus sebagai berikut (Kasiro, Ibnu dkk. 1997):

$$B = 3,6 \cdot H^{1/3} - 3 \quad (8)$$

dengan:

B = lebar mercu embung (m)

H = tinggi embung (m)

Kemiringan Lereng Tubuh Embung

Kemiringan lereng tubuh embung urugan dapat pula ditentukan melalui persamaan (Kasiro, Ibnu dkk. 1997):

$$FS_{hulu} = \frac{m - k \cdot \gamma}{1 + k \cdot m} \cdot tg \phi \geq 1,1 \quad (9)$$

$$FS_{hilir} = \frac{n - k}{1 + k \cdot n} \cdot tg \phi \geq 1,1 \quad (10)$$

Perencanaan Bangunan Pelimpah

Pelimpah yang digunakan yakni tipe ogee (overflow) dengan peredam energi USBR tipe III.

Perencanaan Mercu Pelimpah

Pada studi ini perencanaan mercu pelimpah menggunakan tipe pelimpah Ogee IV dengan persamaan lengkung Harold sebagai berikut:

$$X^{1,776} = 1,873 \times Hd^{0,776} \times Y \quad (11)$$

Perencanaan Tubuh Embung

Pada analisis ini, perencanaan tubuh dimensi tubuh embung menggunakan kala ulang Q50th. Penentuan tinggi embung menggunakan rumus:

$$Hd = Hk + Hb + Hf + 0,25 \quad (12)$$

Analisis Stabilitas Terhadap Rembesan

Dalam perhitungan perkiraan debit rembesan yang mengalir melalui tubuh dan pondasi embung berdasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$Q_f = \frac{Nf}{Nd} \cdot k \cdot h \cdot L \quad (13)$$

Analisis Stabilitas Embung dan Pelimpah

Dalam studi ini analisis yang direncanakan meliputi analisa stabilitas lereng embung menggunakan metode Fellenius dan analisa stabilitas pelimpah

terhadap gaya geser, guling, dan daya dukung tanah.

Rencana Anggaran Biaya

Pada perhitungan total biaya perencanaan embung Bonan Dolok didasarkan pada Harga Satuan Dasar Upah Kerja, Bahan dan Alat Unit Layanan Pengadaan Sumatera Utara Tahun Anggaran 2016.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi didapat dari satu stasiun penakar hujan yakni stasiun balige yang berjarak ± 2,15 km dari daerah tangkapan air rencana embung Bonan Dolok. Pemilihan satu stasiun hujan sudah bisa digunakan dengan syarat pos hujan terdekat dengan embung berjarak kurang dari 10km (Kasiro, Ibnu dkk. 1997). Data hujan tersebut meliputi data hujan harian dengan periode pengamatan 10 tahun, mulai tahun 2006 sampai tahun 2015.

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum

Tahun	CH (mm)
2006	77,00
2007	112,00
2008	58,00
2009	50,00
2010	42,00
2011	83,00
2012	47,00
2013	144,00
2014	61,00
2015	58,00

Sumber : Data Perhitungan, 2017

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji Distribusi

Jenis Distribusi	X ² hitung	Δp max	Uji Chi Square		Uji Smirnov-Kolmogorov	
			α = 1%	α = 5%	α = 1%	α = 5%
			X ² _{cr} = 6,635	X ² _{cr} = 3,841	X ² _{cr} = 0,49	X ² _{cr} = 0,41
Gumbel	3,6	2,55	diterima	diterima	ditolak	ditolak
Log Pearson III	0,4	0,09	diterima	diterima	diterima	diterima
Normal	0,4	0,21	diterima	diterima	diterima	diterima
Log Normal	0,4	0,17	diterima	diterima	diterima	diterima

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Dari hasil perhitungan berdasarkan tabel diatas dapat diambil kesimpulan bahwa metode yang paling tepat dalam

menganalisis hujan rancangan berdasarkan angka simpangan yang terkecil yang didapat adalah Metode Log Perason III.

Debit Banjir Rancangan

Dalam studi ini, hidrograf satuan sintetis yang digunakan yakni menggunakan 3 metode yakni. HSS Gamma 1. HSS Nakayasu, dan HSS Snyder. Pada studi ini analisis yang dipakai menggunakan kala ulang 50 tahun. Dari ketiga metode tersebut nantinya diambil dari nilai yang terbesar diantara ketiga metode dan dijadikan sebagai angka aman dalam mendesain debit banjir pada studi ini.

Tabel 3. Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan untuk Tiga Metode

Kala Ulang (Tahun)	Qp (m ³ /dt)		
	Gamma 1	Nakayasu	Snyder
2	6,87	10,53	4,30
5	9,79	14,87	6,15
10	12,10	18,10	7,66
25	15,63	23,20	9,92
50	18,60	27,18	11,90
100	22,07	31,99	14,17

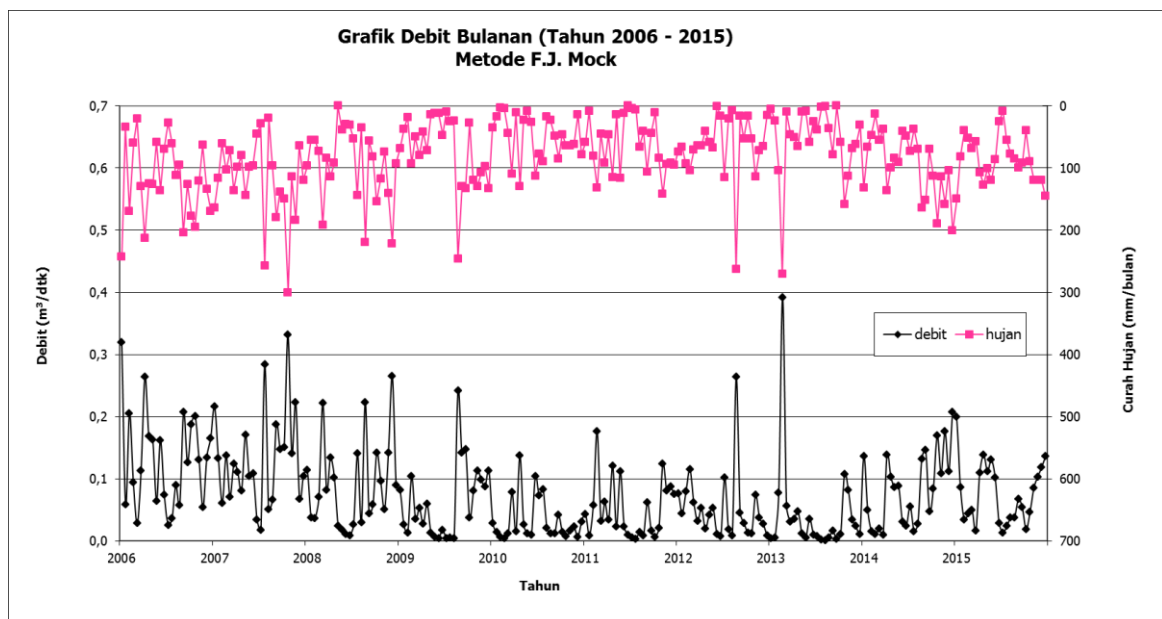
Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Kebutuhan Air Irigasi

Dalam penentuan besarnya kebutuhan air irigasi yang dibutuhkan pada studi ini menggunakan perhitungan Pola Tata Tanam. Jenis tanaman yang akan digunakan dalam analisa merupakan tanaman yang biasanya ditanam oleh masyarakat setempat, yakni PADI dan PALAWIJA (JAGUNG).

Ketersediaan Air

Di Indonesia Metode FJ Mock paling sering digunakan terutama dengan intensitas hujan sedang sampai tinggi (1000 – 3000 mm) seperti di daerah Sumatera, Kalimantan, Jawa dan Bali. Mengingat pada studi ini lokasinya berada di Sumatera dan dengan intensitas hujan di Toba Samosir 1000 mm – 3000 mm maka Metode yang dipakai yaitu Metode FJ Mock. Mengingat di daerah Embung Bonan Dolok tidak terdapat alat pencatat debit maupun bangunan pengukur debit, maka proses perbandingan tidak dapat dilakukan, untuk itu diperlukan pendekatan parameter hidrologi yang lebih cermat sehingga hasil simulasi dapat diterima.



Gambar 1. Grafik Hubungan Debit FJ Mock dan Curah Hujan Tahun 2006-2015

Tabel 4. Perhitungan Pola Tata Tanam

No.	Belas	JANUARI		FEBRUARI		MARET		APRIL		MAY		JUN		JULI		AGUSTUS		SEPTEMBER		OKTOBER		NOVEMBER		DESEMBER	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	Pola Tata Tanam	PAK PL PAK WLR PAK WLR PAK BERO PAK PAWITA PAK WLR PAK WLR																							
2	Koefisien Tanaman	0,00		1,10	1,10	1,03	1,05	0,95	0,00			0,30	0,90	0,90							1,00	1,00	1,00	1,05	0,95
3	Rencana Koefisien Tanaman	1,00	0,00	1,10	1,10	1,075	1,08	1,00	0,95	0,00		0,30	0,95	0,75	1,005	1,035	0,985	0,930			1,00	1,00	1,005	1,00	1,00
4	Eragrostis/potensial	2,34	3,64	3,71	3,90	3,29	3,82	3,02	2,93	2,73	2,33	3,26	3,10	3,39	4,37	4,40	4,37	4,62			4,86	4,73	4,34	3,94	4,52
5	Penggunaan Air Konsent (PAK)	2,34	0,00	0,00	3,09	3,60	4,26	3,02	3,02	1,33	0,00	1,66	1,65	2,47	4,09	4,17	4,74	4,32			0,00	5,45	5,40	4,45	4,32
6	Rasio Luas Tanaman	1,00	0,70	0,20	0,20	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,20	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,20		0,20	0,70	1,00	1,00	1,00
7	Rasio Luas xPAK	2,34	0,00	0,00	0,87	2,71	4,26	3,02	3,02	1,33	0,00	1,42	1,21	2,47	4,09	4,17	4,74	3,24			0,00	1,37	3,90	4,45	4,52
8	Pektolasi	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00									2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
9	Rasio Pektolasi	1,00	0,70	0,20	0,20	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,20									0,20	0,70	1,00	1,00	1,00
10	Pektolasi xRasio Luas	2,00	1,50	0,20	0,20	1,50	2,00	2,00	2,00	2,00	1,50	0,20									0,50	1,50	2,00	2,00	2,00
11	Pertanian Lahan		11,74	11,320	11,457	11,919															12,233	12,523	12,472	12,05	
12	Rasio PL		0,20	0,20	0,20	0,20															0,20	0,20	0,20	0,20	
13	PL xRasio PL		2,936	2,946	2,964	2,980															3,200	3,157	3,118	3,013	
14	WLR		1,670																					1,670	1,670
15	Rasio Luas WLR		0,20																					0,20	0,20
16	WLR xRasio Luas WLR		0,418																					0,418	1,25
17	Kebutuhan Air Kotor	5,22	4,456	3,94	4,24	7,195	6,686	6,27	6,34	3,81	1,90	0,30	0,42	1,27	2,47	4,09	4,17	4,74			4,89	4,43	3,94	3,45	
18	Cuak Hujan Efektif Padi	2,73	1,00	1,87	2,80	2,05	2,494	2,167	3,40	0,65	0,35	0,90	1,167	0,467	0,919	0,793	1,794	2,03	2,473		1,240	3,673	3,173	2,907	
19	Cuak Hujan Efektif Palawija	6,40	6,40	3,43	4,07	7,154	3,667	5,20	6,53	6,667	3,87	4,33	2,73	2,53	3,433	2,333	6,000	7,067	5,667		3,667	7,433	7,600	7,133	
20	Rasio Luas Total	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,20	0,20	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50		0,50	1,00	1,00	1,00	
21	Kebutuhan Air Bersih (NFA)	1,61 ha	0,289	0,279	0,329	0,295	0,483	0,478	0,346	0,23	0,123	0,42	0,104	0,107	0,180	0,419	0,327	0,465	0,465		0,385	0,387	0,481	0,315	
22	Efisiensi	%	0,85	0,65	0,65	0,85	0,85	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65		0,65	0,65	0,65	0,65	
23	Kebutuhan Air Irigasi/Intake	1,61 ha	0,44	0,40	0,43	0,43	0,92	0,73	0,73	0,56	0,20	0,06	0,02	0,16	0,28	0,64	0,50	0,72	0,72		0,45	0,56	0,66	0,79	
24	Kebutuhan Air Irigasi	1,61	13,19	12,90	12,90	27,46	22,39	21,96	14,83	16,31	5,91	1,92	0,64	4,92	8,29	19,32	14,08	11,49	21,48		13,50	16,54	16,93	19,37	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Analisis Erosi dan Sedimentasi

Dalam studi ini, dilakukan perhitungan erosi lahan dan sedimentasi potensial. Analisa ini digunakan dalam menentukan besarnya sedimen yang mengendap di embung, yang mana nantinya digunakan dalam perhitungan menentukan kapasitas tampungan mati.

Tabel 5. Pendugaan Sedimentasi Potensial

Kemiringan lereng rerata (%)	Kemiringan lereng rerata	Laju erosi aktual m3/th	SD R	Sedimentasi potensial m3/th
4	0,04	4,960	0,100	0,496
11,5	0,115	9,027	0,111	1,002
4	0,04	99,196	0,089	8,828
11,5	0,115	381,904	0,088	33,607
22,5	0,225	101,512	0,045	4,568
32,5	0,325	163,822	0,047	7,700

Perkiraan jumlah sedimen yang masuk ke embung 56,201

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Sehingga didapat nilai total dari $S_{pot} = 56,201 \text{ m}^3/\text{th}$. Angka ini digunakan sebagai dugaan nantinya sedimen yang akan mengendap pada embung dalam kurun waktu per tahunnya.

Penentuan Kapasitas Tampungan Lengkung Kapasitas Tampungan Waduk

Tabel 6. Tampungan dan luas genangan waduk pada setiap elevasi

Elevasi (m)	Tinggi (m)	Luas (m ²)	Volume (m ³)
1046	0	35,998	0
1047	1	255,935	145,97
1048	2	554,380	551,12
1049	3	1.141,868	1.399,25
1050	4	1.821,166	2.880,77
1051	5	2.379,050	4.980,87
1052	6	3.062,036	7.701,42
1053	7	3.990,225	11.227,55
1054	8	4.860,589	15.652,95
1055	9	5.851,250	21.008,87
1056	10	6.843,355	27.356,18
1057	11	7.972,989	34.764,35
1058	12	9.022,132	43.261,91
1059	13	10.013,500	52.779,72

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Penentuan Kapasitas Tampungan Mati

Kapasitas tampungan mati direncanakan setinggi 1 m, tinggi tersebut secara praktis sudah bisa menampung sedimen (Pedoman Kriteria Desain Embung, 1994). Tampungan Mati direncanakan pada elevasi +1046 dan dengan tinggi 1 m dapat menampung sedimen sebesar $145,97 \text{ m}^3$.

Penentuan Kapasitas Tampungan Efektif

Dengan elevasi dasar embung terletak pada elevasi +1044 m. Sesuai dengan batasan tinggi embung maksimum yang diperbolehkan adalah 15 m untuk tipe urugan maka, elevasi puncak embung terletak pada +1059 m.

Selanjutnya dalam menentukan elevasi crest pelimpah embung berdasarkan topografi ditentukan sebagai berikut :

Elevasi tertinggi (berdasarkan kontur)

= +1059 m (puncak tertinggi embung)

Penurunan dari puncak embung

= 2 m (kebutuhan tinggi muka air banjir, jagaan, dan penurunan)

Elevasi crest pelimpah = +1059 – 2 m

= + 1057 m

Kapasitas tampungan efektif

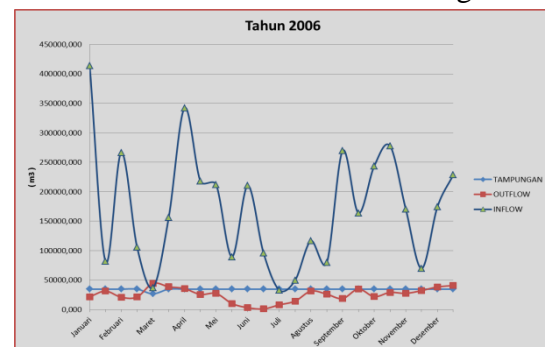
= Kapasitas tampung desain – Volume tampungan mati

= 34.764,35 – 145,97

= 34.618,38 m³

Simulasi Tampungan Embung

Pada simulasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah debit yang tertampung di dalam embung cukup untuk memenuhi kebutuhan air irigasi.



Gambar 2. Grafik Simulasi Tahun 2006

Penelusuran Banjir Melalui Pelimpah

Dalam analisis penelusuran banjir perlu diperhitungkan untuk mengetahui besarnya air yang nantinya akan melimpah apabila terjadi banjir pada waduk. Dalam analisis perhitungan ini digunakan Q50 sebesar 27,185 m³/dt. Dan dari hasil perhitungan didapatkan Debit outflow maksimal Q50 sebesar 24,302 m³/dt.

Perencanaan Pelimpah

Pada perencanaan bangunan pelimpah embung Bonan Dolok dipakai debit banjir rencana 50 tahun sebesar 21,006 m³/dt.

Perencanaan Mercu Pelimpah

Dari hasil persamaan 11, maka didapatkan perhitungan untuk lengkung *Harold* yang terdapat pada tabel berikut ini:

Tabel 7. Perhitungan Lengkung *Harold*

X	Y
0,100	0,008
0,300	0,055
0,500	0,137
0,700	0,249
1,263	0,711

Sumber: Analisi Perhitungan, 2017

Perencanaan Peredam Energi

Pada studi ini perencanaan peredam energi direncanakan memakai debit Q50th. Berhubung nilai froude yang didapatkan 16,419 maka peredam energi yang digunakan yakni USBR tipe III.

Perencanaan Tubuh Embung

Merujuk pada persamaan 12, maka didapatkan :

$$\begin{aligned} H_d &= 13,00 + 1,169 + 0,5 + 0,25 \\ &= 14,900 \text{ m} \\ &= 15 \text{ m} \end{aligned}$$

Penentuan lebar mercu ditentukan berdasarkan kegunaan sebagai jalan dan pemeliharaan embung nantinya.

$$\begin{aligned} B &= 3,6H^{1/3} - 3 \\ &= 3,6 \cdot 15^{1/3} - 3 \\ &= 5,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan hasil dari perhitungan kemiringan lereng tubuh embung didapatkan 1 : 3 untuk kemiringan lereng hulu embung dan 1 : 3 kemiringan lereng hilir embung.

Analisis Stabilitas Terhadap Rembesan

Merujuk pada persamaan 13, maka:

$$\begin{aligned} Q_f &= \frac{Nf}{Nd} \cdot k \cdot h \cdot L \\ &= \frac{3}{16} \cdot 2,4 \times 10^{-6} \cdot 13 \cdot 95,9 \\ &= 0,0000561 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

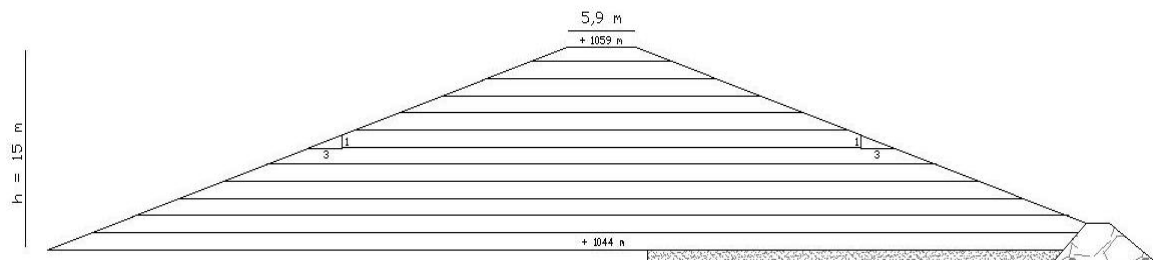
Berdasarkan panduan dari Pedoman Grouting untuk Bendungan (2005:21) yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum yaitu besarnya angka kebocoran yang diperbolehkan yakni tidak lebih dari 1% rata-rata debit sungai yang masuk ke waduk, maka:

- Q rata-rata hasil perhitungan FJ.Mock dari

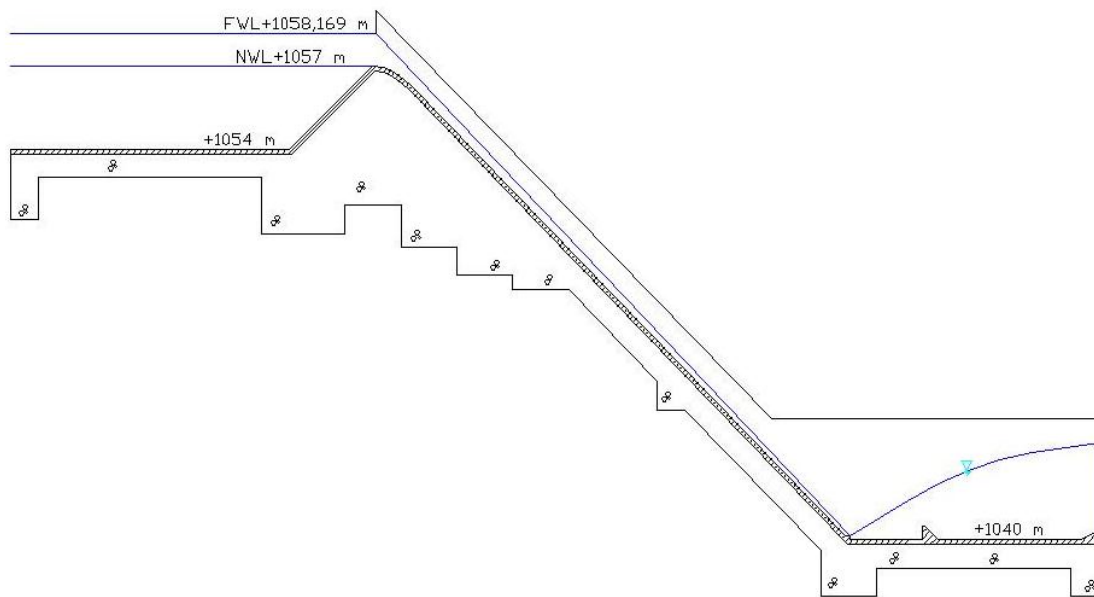
$$\text{Tahun 2006-2015} = 0,075 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{- 1\% Q rata-rata} = 0,00075 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi, Q rembesan < 1 % Q rata-rata debit yang masuk pada embung



Gambar 3. Dimensi Tubuh Embung



Gambar 4. Dimensi bangunan pelimpah

Analisis Stabilitas Tubuh Embung

Analisis stabilitas tubuh embung pada studi ini menggunakan analisa stabilitas lereng metode irisan bidang luncur dengan beberapa kondisi, yakni:

1. Kondisi setelah selesai dibangun (waduk kosong)
2. Kondisi saat muka air normal
3. Kondisi saat muka air banjir

Hasil perhitungan stabilitas lereng Embung berbagai kondisi disajikan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 8. Analisis Stabilitas Lereng Embung Berbagai Kondisi

Zona Kondisi	Hulu Embung		Hilir Embung	
	Norma l	Gempa a	Norma l	Gempa a
Kosong (aman)	≥1,5	≥1,1	≥1,5	≥1,1
NWL (aman)	2,089	2,035	2,089	2,028
FWL (aman)	1,931	2,053	2,089	2,028
FWL (aman)	1,970	2,095	2,089	2,028

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Analisis Stabilitas Pelimpah

Analisis stabilitas pelimpah embung pada studi ini menggunakan analisa stabilitas terhadap bahaya guling, geser, dan daya dukung tanah.

Hasil perhitungan stabilitas pelimpah disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 9. Tinjauan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

No .	Tinjauan Stabilitas	Angka keamana terhadap Guling		Kontrol Stabilitas
		SF Guling	Angka Keamanan	
1	Kondisi muka air normal	3,405	1,5	aman
	Kondisi muka air normal, gempa	3,296	1,3	aman
	Kondisi muka air banjir	2,066	1,3	aman
2	Kondisi muka air banjir, gempa	1,999	1,1	aman

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 10. Tinjauan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

No .	Tinjauan Stabilitas	Angka keamana terhadap Geser		Kontrol Stabilitas
		SF Guling	Angka Keamanan	
1	Kondisi muka air normal	18,781	1,5	aman
	Kondisi muka air normal, gempa	18,486	1,3	aman
	Kondisi muka air banjir	9,945	1,3	aman
2	Kondisi muka air banjir, gempa	9,783	1,1	aman

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Tabel 11. Tinjauan Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

No.	Tinjauan Stabilitas	Tegangan tanah (ton/m ²)		Kontrol Stabilitas
		q ijin	q	
1	Kondisi muka air normal	38,218	0,633	aman
	Kondisi muka air normal, gempa	38,218	0,642	aman
2	Kondisi muka air banjir	38,218	2,190	aman
	Kondisi muka air banjir, gempa	38,218	1,233	aman

Sumber: Analisis Perhitungan, 2017

Rencana Anggaran Biaya

Dalam perencanaan ini, perhitungan didasarkan pada Harga Satuan Dasar Upah Kerja, Bahan, dan Alat Unit Pengadaan Sumatera Utara Tahun Anggaran 2016. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan jumlah total biaya pembangunan yang dibutuhkan sebesar Rp. 4.585.866.000,00

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada Bab IV pada perencanaan embung Bonan Dolok menghasilkan beberapa *output* yang dapat disimpulkan yakni meliputi dimensi tubuh embung beserta stabilitasnya, stabilitas pelimpah, kapasitas tampungan, dan juga jumlah estimasi anggaran biaya embung. Secara ringkas dapat dilihat pada beberapa poin sebagai berikut:

1. Volume tampungan efektif embung Bonan Dolok sebesar 34.618,38 m³, sedangkan volume tampungan mati embung yakni 145,97 m³, sehingga tampungan total dari Embung Bonan Dolok yakni sebesar 34.764,35 m³.
2. Data Teknis dimensi Tubuh Embung Bonan Dolok adalah sebagai berikut:
 - ✓ Tinggi embung = 15 m
 - ✓ Elevasi puncak embung = +1059m
 - ✓ Lebar puncak embung = 59 m
 - ✓ Kemiringan hilir = 1 : 3

- ✓ Kemiringan hulu = 1 : 3
 - ✓ Panjang puncak embung = 95,54 m
3. Data Teknis dimensi Pelimpah Embung Bonan Dolok adalah sebagai berikut:
 - ✓ Elevasi puncak pelimpah = +1057 m
 - ✓ Tinggi pelimpah = 3 m
 - ✓ Lebar pelimpah = 10 m
 - ✓ Tipe mercu pelimpah = OGEE IV
 - ✓ Tipe perdam energi = USBR TIPE III
 4. Dari hasil perhitungan stabilitas menghasilkan desain embung Bonan Dolok aman terhadap bahaya guling, geser, dan daya dukung tanah.
 5. Besarnya anggaran biaya didasarkan pada harga satuan pekerjaan Kabupaten Toba Samosir tahun 2016 dan perhitungan Boq, sehingga didapatkan jumlah biaya sebesar Rp 4.585.866.000

Saran

Dalam mendesain suatu embung terutama dalam pemilihan tipe tubuh embung Bonan Dolok yang menggunakan bahan urugan tanah homogen sangatlah penting untuk diperhatikan perlakuan khusus saat pemadatan tanah agar debit rembesan yang melalui embung lebih kecil, serta diperlukan ketersediaan data geologi dan juga mekanika tanah yang harusnya dapat diandalkan guna untuk mencapai hasil perencanaan embung yang tepat dalam segala aspek perencanaan sehingga hasil dari perencanaan akan lebih teliti dan sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Kasiro, Ibnu dkk. 1997. *Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil untuk Daerah Semi Kering di Indonesia*. Jakarta : PT. Mediatama Saptakarya
- Montarcih, Lily. 2010. *Hidrologi Praktis*. Bandung: LUBUK AGUNG