

ANALISIS STABILITAS *SPILLWAY* EMBUNG LAKUANG BURAI KABUPATEN LIMAPULUH KOTA

Dent Siloana¹⁾, Siswanto²⁾, Manyuk Fauzi³⁾

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

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

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

Corresponding Author: siswanto@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Lakuang Burai Small dam is a permanent reservoir built in 2019 which is located in Kenagarian Taeh Bukit, Payakumbuh District, Limapuluh Kota Regency. In the dry season there is a lack of water reserves in Kenagarian Taeh Bukit. Seeing this problem, the central government built a reservoir that is expected to be able to accommodate water reserves during the rainy season and can be used during the dry season. The initial steps undertaken in this analysis are hydrological analysis, determination of rainfall, analysis of rainfall in Log Person Type III method, calculation of design flood for 50-year return period using rational methods, hydraulic analysis, stability analysis embung for rolling force, shear force, eccentricity, and bearing capacity of the soil. The results of the analysis are design flood $Q_{50} = 13.715 \text{ m}^3 / \text{sec}$, ogee crest type with $R = 0.27 \text{ m}$ and height 5 m , effective weir width 6.42 m , stilling basin USBR Type III. Calculation of weir stability analysis at normal water level conditions: stability of overturning ($S_f = 2.618 \geq 1.5$), stability of shear ($S_f = 5.321 \geq 1.5$), eccentricity ($e = 0.234 \leq 1.10$), bearing capacity of the soil ($\sigma_1 = 27.079 \leq 40$ and $\sigma_2 = 17.574 \leq 40$). Stability values in flood water conditions: stability of overturning ($S_f = 4.532 \geq 1.5$), stability of shear ($S_f = 12.720 \geq 1.5$), eccentricity ($e = -0.695 \leq 1.10$), bearing capacity of the soil ($\sigma_1 = 8.029 \leq 40$ and $\sigma_2 = 35.632 \leq 40$).

Keywords: *Lakuang Burai small dam, Flood Discharge, Ogee Type, Spillway Stability*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kecamatan Payakumbuh merupakan salah satu wilayah administrasi Pemerintahan dalam Kabupaten Limapuluh Kota dengan ibukota Kecamatan adalah Koto Baru Simalanggang. Jumlah penduduk pada kecamatan ini adalah 29.769 jiwa dengan luas wilayah daratan mencapai 99,47 km². Topografi Kecamatan Payakumbuh bervariasi antara datar dan berbukit-bukit, tempat terendah berada pada Pakan Rabaa Nagari Koto Tengah Simalanggang (505 m) dan daerah tertinggi berada pada Gunung Bungsu yang terletak pada Kenagarian Taeh Bukit (1253 m) (Badan Pusat Statistik, 2019).

Iklim di Kecamatan Payakumbuh merupakan iklim tropis dengan adanya

dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Musim hujan terjadi pada bulan September sampai dengan bulan Maret dan musim kemarau terjadi pada bulan April sampai dengan bulan Agustus. Pada musim kemarau terjadi kekurangan cadangan air pada Kenagarian Taeh Bukit karena daerah disana yang relatif lebih tinggi dari daerah-daerah lainnya. Melihat permasalahan tersebut, pemerintah pusat melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat membangun suatu embung yang diharapkan mampu menampung cadangan air ketika musim hujan dan dapat digunakan ketika musim kemarau. Embung tersebut diberi nama Embung Lakuang Burai Kabupaten Lima Puluh Kota.

Dalam suatu perencanaan konstruksi bangunan embung diharapkan memperhatikan syarat-syarat konstruksi bangunan embung, diantaranya konstruksi bendung pada embung harus stabil dan mampu menahan tekanan air ketika banjir dan efektif ketika melimpahkan air melalui saluran pelimpah (*spillway*). Oleh karena itu diperlukan analisis *spillway* agar tercapai bangunan embung yang sesuai dengan fungsinya.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang ada adalah terjadinya kekurangan cadangan air pada Kenagarian Taeh Bukit karena daerah disana relatif lebih tinggi dari daerah-daerah lainnya. Mencegah kekurangan tersebut dibangunlah suatu embung yang diharapkan mampu menampung cadangan air ketika musim hujan dan dapat digunakan ketika musim kemarau. Pada pembangunan embung diperlukan perencanaan dan perhitungan yang cermat khususnya pada bagian *spillway* agar fungsi dari bangunan embung tersebut dapat sesuai dengan fungsi yang sebenarnya, maka diperlukan analisis stabilitas *spillway* terhadap guling, geser, eksentrisitas dan daya dukung tanah sehingga dapat diketahui apakah bangunan stabil dan aman terhadap gaya-gaya tersebut.

Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis *spillway* yang direncanakan pada embung Lakuang Burai Kabupaten Lima Puluh Kota yang terletak pada Kenagarian Taeh Bukit Kecamatan Payakumbuh. Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan suatu analisis *spillway* pada perencanaan embung serta sebagai bahan acuan dalam mengembangkan perencanaan embung.

Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

- a. Komponen embung yang dianalisis yaitu pada bagian *spillway*
- b. Dimensi embung direncanakan berdasarkan kriteria perencanaan bangunan irigasi
- c. Mengecek dan menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada bangunan embung sehingga dapat diketahui kondisi embung aman terhadap gaya guling, geser, eksentrisitas, dan daya dukung tanah
- d. Debit yang digunakan yaitu debit banjir kala ulang 50 Tahun
- e. Stabilitas embung ditinjau dalam keadaan kondisi muka air normal dan banjir.

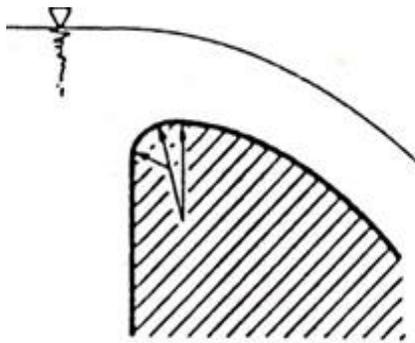
TINJAUAN PUSTAKA

Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Bangunan pelimpah (*spillway*) adalah sebuah struktur yang digunakan untuk menyediakan tempat kontrol arus dari bendungan, embung atau tanggul yang menuju ke daerah hilir. Fungsi utama dari bangunan pelimpah (*spillway*) adalah membuang kelebihan air waduk, sehingga air tidak melimpas puncak embung (*overtopping*) yang dapat membahayakan embung (Dirjen SDA & Direktorat Irgasi dan Rawa, 2013). Kapasitas pelimpah harus didesain menggunakan debit banjir rencana dengan kala ulang tertentu.

Pada penelitian ini embung yang dibangun adalah embung dengan tipe pelimpah luncur (*Chute*) dengan bentuk mercu tipe *ogee*. Bentuk mercu tipe *ogee* ini adalah tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfer pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencananya. Bagian hulu mercu bervariasi sesuai dengan kemiringan

permukaan hilir. Bentuk mercu tipe *Ogee* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Mercu Ogee

Sumber : Dirjen SDA & Direktorat Irgasi dan Rawa, 2013

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. Air di bumi mengalami suatu siklus yang melalui urutan peristiwa yang berlangsung secara terus menerus. Siklus tersebut dinamakan siklus hidrologi. Siklus hidrologi adalah proses kontinu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kembali ke bumi lagi (Triatmodjo, 2010).

a. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi. Intensitas curah hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak begitu luas (Triatmodjo, I. (2010).

Intensitas curah hujan dapat dihitung menggunakan rumus Mononobe berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Dengan :

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- R₂₄ = Curah hujan maksimum (mm/jam)
- T = Lama hujan (jam)

b. Analisis Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana berfungsi sebagai pedoman untuk menentukan curah hujan pada periode ulang ($R_5, R_{10}, R_{25}, R_{50}, R_{100}$) yang nantinya digunakan dalam menentukan debit banjir rencana. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan beberapa metode yang dapat dipakai, pada penelitian ini dipakai metode Log Pearson type III dengan Persamaan sebagai berikut.

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X + (K_T \cdot \text{Slog } X) \quad (2)$$

Dengan :

$\text{Log } X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana

$\text{Slog } X$ = Standar deviasi

K_T = Variabel standar

c. Analisis Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang (rata-rata) yang sudah ditentukan yang dapat dialirkan tanpa membahayakan proyek irigasi dan stabilitas bangunan-bangunannya. Pada penelitian ini metode yang dipakai adalah Metode Rasional dengan Persamaan sebagai berikut.

$$Q_T = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (3)$$

Dengan :

Q_T = Debit banjir (m³/detik)

C = Koefisien pengaliran

I_T = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas areal (km²)

Perencanaan Mercu Tipe Ogee

Perencanaan mercu pada tugas akhir ini dipilih adalah bendung tetap dengan mercu bertipe *ogee*. Salah satu alasan dalam perencanaan digunakan tipe *ogee* adalah karena tanah disepanjang kolam olak, tanah berada dalam keadaan baik, maka tipe mercu yang cocok adalah tipe mercu *ogee* karena memerlukan lantai muka untuk menahan penggerusan,

digunakan tumpukan batu sepanjang kolam olah sehingga lebih hemat.

Menurut Dirjen SDA & Direktorat Irgasi dan Rawa (2013), mercu untuk bendung tetap memiliki bentuk bendung yang sudah umum digunakan. Rumus yang digunakan adalah :

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot g \cdot B_e \cdot H_1^{1.5} \quad (4)$$

Dengan :

Q = Debit (m³/dt)

Cd = Koefisien debit

g = Gravitasi (m/dt²)

B_e = Lebar efektif

Peredam Energi

Untuk merencanakan peredam energi terlebih dahulu kita harus memiliki tinggi elvasi muka air di hilir dan hulu karena dengan adanya nilai itu bisa menghitung dan menentukan bilang froude dan tipe peredam energi yang di pilih.

Gaya Yang Berkerja Pada Bendung

a. Gaya Berat Sendiri

Persamaan untuk menghitung besar gaya berat sendiri embung, yaitu :

$$G = V \cdot \gamma_p \quad (5)$$

Dengan :

G = Gaya berat (ton)

V = Volume (m³)

γ_p = Berat isi pasangan (t/m³)

b. Tekanan Lumpur

Besar tekanan horizontal akibat lumpur dihitung menggunakan Persamaan berikut :

$$P_s = \left(\frac{\gamma_l \cdot h^2}{2} \right) K_a \quad (6)$$

Dengan :

P_s = Tekanan horizontal (kg/m)

h = Kedalaman lumpur

K_a = Koefisien tekanan tanah aktif

γ_l = Berat jenis sedimen (ton/m³)

c. Gaya Gempa

Persamaan untuk menghitung gaya akibat gempa yaitu :

$$K = G_b \cdot E \quad (7)$$

Dengan :

K = Gaya Gempa (ton)

G_b = Gaya berat (ton)

E = Koefisien gempa

d. Gaya Hidrostatik

Persamaan untuk menghitung gaya akibat hidrostatik yaitu :

$$W_h = \frac{\gamma_w \cdot h^2}{2} \quad (8)$$

Dengan :

W_h = Besar gaya hidrostatik (kg)

h = Kedalaman air (m)

γ_w = Berat jenis air (kg/m³)

Kontrol Stabilitas

a. Terhadap Guling

Persamaan yang digunakan untuk menghitung stabilitas embung terhadap guling pada kondisi normal dan banjir adalah :

$$sf = \frac{\sum M_v}{\sum M_H} > sf_{1,5} \quad (9)$$

Dengan :

ΣM_V = total momen vertikal (t.m)

ΣM_H = total momen horizontal (t.m)

sf = Nilai keamanan

b. Terhadap Geser

Persamaan yang digunakan untuk menghitung stabilitas embung terhadap geser pada kondisi normal dan banjir adalah :

$$sf = \frac{\sum V \cdot f}{\sum H} > sf_{1,5} \quad (10)$$

Dengan :

ΣV = total momen vertikal (ton)

ΣH = total momen horizontal (ton)

f = Koefisien geser

sf = Nilai keamanan

c. Eksentrisitas

Persamaan yang digunakan untuk menghitung eksentrisitas dan menentukan apakah bendung embung tersebut stabil adalah :

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum MV - \sum MH}{\sum V} \quad (11)$$

$$e \leq \frac{B}{6} \quad (12)$$

Dengan :

B = Lebar penampang embung

$\sum MV$ = Total momen vertikal (t.m)

$\sum MH$ = Total momen horizontal (t.m)

$\sum V$ = Total momen vertikal (ton)

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada pada Embung Lakuang Burai yang berlokasi di Kenagarian Taeh Bukik, Kecamatan Payakumbuh, Kabupaten Limapuluh Kota, yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2 Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Google Earth



Gambar 3 Lokasi Penelitian

Prosedur Penelitian

Analisis Hidrologi

a. Curah Hujan Rencana

Data yang digunakan adalah data curah hujan tahun 2009 sampai dengan tahun 2018 yang didapat dari PSDA Sumatera Barat. Hasil analisis curah hujan maksimum setiap tahun disajikan dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Curah Hujan Maksimum (mm)

No	Tahun	Rh rencana
1	2009	100
2	2010	145
3	2011	70
4	2012	125
5	2013	120
6	2014	70
7	2015	75
8	2016	71
9	2017	61
10	2018	61

b. Menentukan Distribusi Frekuensi Rencana

Pemilihan distribusi frekuensi hujan rencana dilakukan berdasarkan dengan persyaratan yang sesuai. Syarat masing-masing jenis distribusi terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter Statistik Menentukan Jenis Probabilitas

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$c_s \approx 0$ $c_k \approx 3$
2	Log Normal	$c_s = C_v^3 + 3C_v$ $c_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$c_s \approx 1,14$ $c_k \approx 5,4$
4	Log Person III	Selain nilai di atas

Sumber : Triatmodjo, 2010

c. Menghitung Sebaran Hujan Jam-Jaman

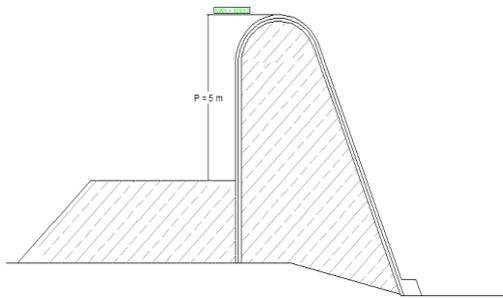
Menghitung sebaran hujan jam – jaman menggunakan Rumus Mononobe yaitu Persamaan Mononobe. Menurut

Mononobe lamanya hujan terpusat (t) adalah 6 Jam.

Perencanaan Hidroulis Embung

a. Perencanaan Mercu

Pada embung Lakuang Burai ini digunakan mercu tipe *ogee*, dengan bentuk seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Mercu embung Lakuang Burai

b. Menentukan Lebar Efektif Mercu Embung

Lebar maksimum bendung adalah 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil. Karena adanya pilar dan bangunan pembilas, maka lebar total bendung tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan untuk melewati debit yang ada. Maka, lebar efektif embung adalah lebar permukaan embung yang dapat dilalui oleh air.

c. Menentukan Tinggi Muka Air Diatas Mercu

Untuk menentukan tinggi muka air diatas mercu adalah dengan menggunakan Persamaan debit banjir rencana yang lewat di atas mercu embung.

d. Menentukan Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Rencana Bendung

Perhitungan ini sangat penting dilakukan karena muka air banjir di hilir ini merupakan patokan untuk merencanakan kolam olakan (peredam energi). Dengan adanya muka air banjir ini dapat dihitung berapa kedalaman lantai ruang olakan.

e. Pemilihan 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.

Menentukan Stabilitas Bendung

a. Kontrol terhadap geser

Berdasarkan kombinasi gaya-gaya yang bekerja pada bendung pebendungan ini maka nilai faktor aman terhadap geser pada kondisi normal dan banjir adalah 1,5. Koefisien gesekan yang dipakai pada penelitian ini adalah 0,75. Nilai tersebut diambil dari harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Harga-Harga Perkiraan Untuk Koefisien Gesekan

Bahan	f
Pasangan batu	0,60 - 0,75
Batu keras kualitas baik	0,75
Kerikil	0,5
Pasir	0,4
Lempung	0,3

Sumber : Dirjen SDA, & Direktorat Irgasi dan Rawa (2013)

b. Kontrol terhadap guling

Berdasarkan kombinasi gaya-gaya yang bekerja pada bendung pebendungan ini maka nilai faktor aman terhadap guling pada kondisi normal dan banjir adalah 1,5.

c. Kontrol Terhadap Eksentrisitas

Persamaan yang digunakan untuk menghitung eksentrisitas dan menentukan apakah bendung embung tersebut stabil.

d. Kapasitas Daya Dukung Tanah

Pada penelitian ini ditetapkan nilai $q_u = 40 \text{ t/m}^2$. Angka tersebut merupakan data asumsi yang diambil berdasarkan jenis tanah dilapangan dan dicocokkan dengan perkiraan daya dukung tanah seperti pada Tabel 4.

Tabel 4 Harga-Harga Perkiraan Daya Dukung Izin

Jenis	Daya Dukung	
	KN/m ²	kgf/cm ²
Batu sangat keras	10.000	100
Batu kapur/batu pasir keras	4.000	40
Kerikil berkerapatan sedang atau pasir & kerikil	200-600	2 – 6
Pasir berkerapatan sedang	100-300	1 – 3
Lempung kenyal	150-300	1,5 – 3
Lempung teguh	75-150	0,75– 1,5
Lempung lunak dan lanau	< 75	< 0,75

Sumber : Dirjen SDA, & Direktorat Irgasi dan Rawa (2013)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Dalam penelitian ini, debit rencana untuk bangunan tubuh embung diambil dari debit banjir dengan periode ulang 50 tahun. Hasil perhitungan debit rencana metode rasional ditabelkan seperti pada Tabel 5.

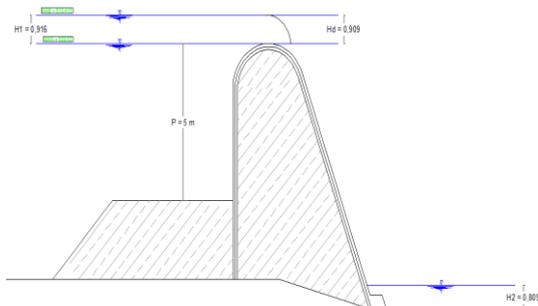
Tabel 5 Debit Banjir Rencana Dengan Metode Rasional

No	Periode Ulang T (tahun)	A (km ²)	Rt (mm/jam)	L (km)	S	C	Tc	I (mm/jam)	Qt
									(m ³ /detik)
1	2	0,99	82,87	2,9	0,009	0,75	0,94	30,21	6,23
2	5	0,99	110,57	2,9	0,009	0,75	0,94	40,30	8,32
3	10	0,99	130,97	2,9	0,009	0,75	0,94	47,74	9,85
4	25	0,99	159,32	2,9	0,009	0,75	0,94	58,07	11,99
5	50	0,99	182,29	2,9	0,009	0,75	0,94	66,44	13,715
6	100	0,99	206,98	2,9	0,009	0,75	0,94	75,44	15,57

Berdasarkan tabel diatas debit rencana kala ulang 50 tahun (Q50) dengan metode Rasional adalah 13,715 m³/dtk.

Perencanaan Hidroulis Embung

Persamaan yang digunakan untuk menghitung perencanaan mercu adalah Persamaan 4. Sehingga didapatkan nilai lebar efektif mercu 6,42 m, H1 0,916 m, H2 0,809 m terlihat seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Perencanaan Mercu

Pemilihan Kolam Olak

Berdasarkan Dirjen SDA & Direktorat Irgasi dan Rawa (2013), untuk bilangan-bilangan *Froude* > 4,5 jenis kolam olak yang paling cocok adalah kolam olak USBR tipe III karena tipe kolam olak ini khusus dikembangkan untuk bilangan-bilangan *froude* diatas 4,5. Sehingga loncatan airnya bisa mantap dan peredaman energi dapat dicapai dengan baik. Pada penelitian ini didapatkan nilai *Froude* 10,635 m sehingga penulis merencanakan kolam olak USBR tipe III.

Stabilitas Embung

a. Perhitungan Berat Sendiri Embung (G)

Tabel 6 Perhitungan momen akibat berat sendiri

Kode	Ursian	Luas		γpas	Gaya (G)	Jarak titik A		momen (t.m)		
		lebar	tinggi			x	y	Mx	My	
G1	1/4 ◯	1,51	1,31	1,55	2,40	-3,73	5,52	10,87	-20,58	-40,52
G2	1/4 ◯	1,51	1,31	1,55	2,40	-3,73	7,03	10,87	-26,21	-40,52
G3	◻	0,90	8,00	7,20	2,40	-17,28	7,16	6,60	-123,72	-114,05
G4	◻	2,13	9,00	19,17	2,40	-46,01	6,27	7,10	-288,24	-326,66
G5	Δ	1,44	3,59	2,58	2,40	-6,20	4,24	8,20	-26,30	-50,85
G6	◻	1,44	3,59	5,17	2,40	-12,41	4,48	5,21	-55,58	-64,58
G7	Δ	2,44	4,59	5,60	2,40	-13,44	3,13	4,94	-42,11	-66,39
G8	◻	2,13	2	4,26	2,40	-10,22	6,27	1,60	-64,05	-16,36
G9	◻	5,2	2,81	14,61	2,40	-35,07	2,60	2,01	-91,18	-70,31
G10	◻	6,3	1,8	11,34	2,40	-27,22	5,83	-0,30	-158,67	8,16
TOTAL				73,04		-175,30			-896,66	-782,07

b. Perhitungan Terhadap Tekanan Sedimen (Ps)

Nilai tekanan sedimen (Ps) pada penelitian ini 10,419 ton dan momennya 101,860 t.m.

c. Perhitungan Akibat Gaya Gempa (K)

Tabel 7 Perhitungan momen akibat gempa

Kode	Gaya (G)	E	Gaya (K)	Jarak thd titik A		momen (t.m)
				x	y	
K1	3,73	0,1312	0,49	10,87	5,32	
K2	3,73	0,1312	0,49	10,87	5,32	
K3	17,28	0,1312	2,27	6,60	14,96	
K4	46,01	0,1312	6,04	7,10	42,86	
K5	6,20	0,1312	0,81	8,20	6,67	
K6	12,41	0,1312	1,63	5,21	8,47	
K7	13,44	0,1312	1,76	4,94	8,71	
K8	10,22	0,1312	1,34	1,60	2,15	
K9	35,07	0,1312	4,60	2,01	9,22	
K10	27,22	0,1312	3,57	-0,30	-1,07	
TOTAL			23,00		102,60	

- d. Perhitungan akibat tekanan tanah aktif (Pa) dan tanah pasif (Pp)

Tabel 8 Perhitungan gaya akibat tekanan tanah aktif

Kode	h (m)	γ^t (t/m ³)	Ka	Pa (ton)	jarak YA (m)	M.Pa (t.m)
Pa1	1,31	1,30	0,22	0,24	4,24	1,03
Pa2	2,00	1,30	0,22	0,57	2,47	1,39
Pa3	1,80	1,30	0,22	0,46	0,60	0,27
Pa4						
Total				1,27		2,70

Tabel 9 Perhitungan gaya akibat tekanan tanah pasif

Kode	h (m)	γ^t (t/m ³)	Kp	Pp (ton)	jarak YA (m)	M.Pp (t.m)
Pp	4,61	1,30	4,60	-63,53	1,54	-97,62
Total				-63,53		-97,62

- e. Perhitungan akibat gaya hidrostatis (W)

Nilai gaya hidrostatis pada kondisi muka air normal didapatkan W 12,5 Ton dan momennya 122,208 t.m. Sedangkan pada kondisi muka air banjir dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Perhitungan gaya akibat tekanan hidrostatis pada kondisi air banjir.

Kode	h (m)	γ^w (t/m ³)	Uraian	Gaya W (ton)		Jarak ke titik A (m)		Momen (ton.m)		
				V	H	x	y	Mx	My	
W1	5,92	1,00	0,5* γ^w *h ²	-	17,52	-	7,58	-	132,88	
W2	0,92	1,00	γ^w *h*a	-2,30	-	13,57	-	-31,21	-	
W3	0,81	1,00	0,5* γ^w *h ²	-	-0,65	-	4,88	-	-3,19	
TOTAL				-2,30	-0,65				-31,21	-3,19

- f. Perhitungan akibat gaya uplift pressure (U)

Gaya angkat air (Uplift Pressure) ini dibagi menjadi dua kondisi yaitu kondisi pada saat muka air normal dan kondisi pada saat muka air banjir.

Tabel 11 Perhitungan gaya akibat uplift pressure pada kondisi air normal

Kode	Uraian Luas Tekanan		BJ Air (Ton/m ²)	Gaya (ton)		Lengan (ke-A) (m)		Momen.Up (t.m)	
	Alas	Tinggi		V	H	x	y	Mx	My
U1	3,69	-	-	5,36	-	4,46	-	23,88	-
U2	0,86	-	-	0,59	-	4,24	-	2,50	-
U3	4,44	4,89	4,89	4,89	-	7,83	-	38,28	-
U4	0,11	0,05	0,05	0,05	-	8,00	-	0,42	-
U5	4,44	-	-	9,78	-	2,80	-	27,38	-
U6	1,31	-	-	1,37	-	2,47	-	3,39	-
U7	5,63	6,40	6,40	6,40	-	6,81	-	43,60	-
U8	0,12	0,06	0,06	0,06	-	6,98	-	0,39	-
U9	5,63	-	-	11,08	-	0,90	-	9,97	-
U10	1,18	-	-	1,11	-	0,60	-	0,67	-
U11	6,35	27,71	27,71	27,71	-	4,31	-	119,28	-
U12	0,46	0,82	0,82	0,82	-	4,97	-	4,08	-
U13	6,09	-	-	15,63	1,16	-	-	18,13	-
U14	6,35	-	-	8,10	1,55	-	-	12,52	-
TOTAL				39,93	53,02			236,70	67,79

Tabel 12 Perhitungan gaya akibat uplift pressure pada kondisi air banjir

Kode	Uraian Luas Tekanan		BJ Air (Ton/m ²)	Gaya (ton)		Lengan (ke-A) (m)		Momen.Up (t.m)	
	Alas	Tinggi		V	H	x	y	Mx	My
U1	5,30	1,2	1	6,36	-	4,40	-	27,98	-
U2	0,93	1,2	1	0,56	-	4,20	-	2,34	-
U3	6,13	1	1	6,13	-	7,83	-	48,02	-
U4	0,10	1	1	0,05	-	8,00	-	0,39	-
U5	6,13	2	1	12,27	-	2,80	-	34,34	-
U6	1,42	2	1	1,42	-	2,47	-	3,50	-
U7	7,45	1,04	1	7,75	-	6,81	-	52,79	-
U8	0,10	1,04	1	0,05	-	6,98	-	0,36	-
U9	7,45	1,8	1	13,42	-	0,90	-	12,07	-
U10	1,28	1,8	1	1,15	-	0,60	-	0,69	-
U11	8,35	3,97	1	33,14	-	4,31	-	142,68	-
U12	0,38	3,97	1	0,76	-	4,97	-	3,78	-
U13	8,12	2,32	1	18,85	1,16	-	-	21,86	-
U14	0,22	2,32	1	0,26	1,55	-	-	0,40	-
TOTAL				47,89	54,28			270,29	80,94

Kontrol Stabilitas Bendung

Total gaya yang bekerja pada bendung disajikan dalam dua kondisi yaitu pada kondisi muka air normal dan pada kondisi muka air banjir.

Tabel 13 Rekapitulasi gaya-gaya pada kondisi air normal

No	Jenis gaya	Gaya (ton)		Momen (ton.m)		Arah gaya	
		V	H	MV	MH	V	H
1	Berat sendiri (G)	-175,30	-	-896,66	-	↓ / (-)	-
2	Gaya gempa (K)	-	23,00	-	102,60	-	→ / (+)
3	Tekanan lumpur (Pa)	-	10,42	-	101,86	-	→ / (+)
4	Tekanan tanah aktif (Pa)	-	1,27	-	2,70	-	→ / (+)
5	Tekanan tanah pasif (Pp)	-	-63,53	-	-97,62	-	← / (-)
6	Tekanan hidrostatis (W)	-	12,50	-	122,21	-	→ / (+)
7	Tekanan uplift pressure (U)	27,95	37,12	165,69	47,46	↑ / (+)	→ / (+)
Jumlah		-147,36	20,77	-730,97	279,20		

- Ketahanan Terhadap Guling
2,618 > 1,50OK
- Ketahanan Terhadap Geser
5,321 > 1,50OK
- Eksentrisitas
0,234 < 1,100OK

- d. Daya Dukung Tanah
 $\sigma_1 \leq \sigma \text{ izin}$
 $27,079 \text{ t/m}^2 < 40,000 \text{ t/m}^2 \dots \text{OK}$
 $\sigma_2 \leq \sigma \text{ izin}$
 $17,574 \text{ t/m}^2 < 40,000 \text{ t/m}^2 \dots \text{OK}$

Tabel 17 Rekapitulasi gaya-gaya pada kondisi air banjir

No	Jenis gaya	Gaya (ton)		Momen (ton.m)		Arah gaya	
		V	H	MV	MH	V	H
1	Berat sendiri (G)	-175,30	-	-896,66	-	↓ / (-)	-
2	Gaya gempa (K)	-	23,00	-	102,60	-	→ / (+)
3	Tekanan lumpur (Ps)	-	10,42	-	101,86	-	→ / (+)
4	Tekanan tanah aktif (Pa)	-	1,27	-	2,70	-	→ / (+)
5	Tekanan tanah pasif (Pp)	-	-63,53	-	-97,62	-	← / (-)
6	Tekanan hidrostatis (W)	-2,30	-0,65	-31,21	-3,19	↓ / (-)	-
7	Tekanan uplift pressure (U) 70%	33,52	38,00	189,20	56,66	↑ / (+)	-
Jumlah		-144,08	8,50	-738,67	163,00		

- a. Ketahanan Terhadap Guling
 $4,532 > 1,50 \dots \text{OK}$
- b. Ketahanan Terhadap Geser
 $12,720 > 1,50 \dots \text{OK}$
- c. Eksentrisitas
 $-0,695 < 1,100 \dots \text{OK}$
- d. Daya Dukung Tanah
 $\sigma_1 \leq \sigma \text{ izin}$
 $8,029 \text{ t/m}^2 < 40,000 \text{ t/m}^2 \dots \text{OK}$
 $\sigma_2 \leq \sigma \text{ izin}$
 $35,632 \text{ t/m}^2 < 40,000 \text{ t/m}^2 \dots \text{OK}$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

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

1. Bendung pada Embung Lakuang Burai ini di desain dengan menggunakan data debit banjir rencana kala ulang 50 Tahun.
2. Bangunan direncanakan terbuat dari pasangan beton dengan lebar efektif mercu embung 6,42 m dan tinggi mercu 5 m.
3. Kolam olak pada bendung pebendungan ini di rencanakan menggunakan kolam olak USBR (*United State Beureau of Reclamation*) tipe III.

4. Nilai stabilitas pada kondisi air normal:

- a. Stabilitas terhadap guling
 $(Sf = 2,618 \geq 1,50)$
- b. Stabilitas geser
 $(Sf = 5,321 \geq 1,50)$
- c. Eksentrisitas pembebanan yang terjadi
 $(e = 0,234 \leq 1,100)$

- d. Daya dukung tanah yang terjadi
 $(\sigma_1 = 27,079 \text{ t/m}^2 \leq 40 \text{ t/m}^2)$
 $(\sigma_2 = 17,574 \text{ t/m}^2 \leq 40 \text{ t/m}^2)$

5. Nilai stabilitas pada kondisi air banjir:

- a. Stabilitas terhadap guling
 $(Sf = 4,532 \geq 1,50)$
- b. Stabilitas geser
 $(Sf = 12,720 \geq 1,50)$
- c. Eksentrisitas
 $(e = -0,695 \leq 1,100)$
- d. Daya dukung tanah yang terjadi
 $(\sigma_1 = 8,029 \text{ t/m}^2 \leq 40 \text{ t/m}^2)$
 $(\sigma_2 = 35,632 \text{ t/m}^2 \leq 40 \text{ t/m}^2)$

Berdasarkan hasil perhitungan angka keamanan pada perhitungan di atas maka bendung masih memenuhi syarat stabilitas bendung. Maka embung Lakuang Burai ini masih dalam kategori aman terhadap geser, guling, eksentrisitas dan tegangan tanah baik pada saat kondisi muka air normal maupun kondisi muka air banjir.

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.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2019).
Kabupaten Limapuluh Kota

- Dalam Angka 2019*. Sarilamak:
Badan Pusat Statistik.
- Dirjen SDA, & Direktorat Irgasi dan Rawa. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan KP-04*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum.
- Dirjen SDA, & Direktorat Irgisasi 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.
- Triatmodjo, B. (1996). *Hidraulika I*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (1996). *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, I. (2010). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset: Yogyakarta.