Available online at: http://jtb.ulm.ac.id/index.php/JTB
Volume 14 Nomor 01
ISSN: 2302-8394 (print)

Perancangan Desain Terowongan Pelimpah (Spillway) Bendungan Bulango Ulu Menggunakan Tabel Beggs

Wahyu Askur[1], Rahmani Kadarningsih[2] dan Barry Yusuf Labdul[3]
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo,
Jl. B.J Habibie Desa Moutong Kec. Tilongkabila Kab. Bone Bolango-(0435)821752, Indonesia

ABSTRACT

A tunnel is a tunnel beneath the surface of a mountain or land with both ends open as an entry portal and an exit portal. Based on this, it is necessary to design the spillway tunnel using the Beggs Deformation Stress Table . The design of the spillway tunnel for the Bulango Ulu Dam was designed using a horseshoe shape, Shape B. The tunnel loading was calculated using 10 forms of loading, namely vertical rock pressure, normal horizontal rock pressure, earthquake horizontal rock pressure, horizontal water pressure, vertical water pressure, pressure due to its own weight, water pressure in the tunnel, uplift pressure, horizontal saturated rock pressure, vertical saturated rock pressure. The results of the load calculations are carried out by calculating load combinations with 10 combinations, namely normal conditions, earthquake conditions, normal filling conditions, earthquake filling conditions, normal operating conditions of a fully filled tunnel, earthquake operating conditions of a fully filled tunnel, normal operating conditions of a partially filled tunnel, earthquake operating conditions. the tunnel is partially filled, normal operating conditions the tunnel is empty, earthquake operating conditions the tunnel is empty. From the results of the load combination calculations, moment calculations were carried out using the Beggs Table . The maximum moment is selected for tunnel reinforcement calculations.

Kata kunci: Overflow tunnel, load calculation, load combination, maximum moment, tunnel reinforcement

ABSTRAK

Terowongan merupakan suatu tembusan di bawah permukaan gunung atau tanah dengan kedua sisi ujungnya terbuka sebagai portal masuk dan portal keluar. Berdasarkan hal itu maka perlu dilakukan perancangan terowongan pelimpah menggunakan tabel Beggs Deformation Strees. Perancangan terowongan pelimpah Bendungan Bulango Ulu dirancang menggunakan bentuk tapal kuda Shape B, dilakukan perhitungan pembebanan terowongan dengan 10 bentuk pebebanan yaitu tekanan batuan vertikal, tekanan batuan horizontal normal, tekanan batuan horizontal gempa, tekanan air horizontal, tekanan air vertikal , tekanan akibat berat sendiri, tekanan air dalam terowongan, tekanan uplift, tekanan batuan jenuh horizontal, tekanan batuan jenuh vertikal. hasil dari perhitungan pembebanan dilakukan perhitungan kombinasi pembebanan dengan 10 kombinasi yaitu kondisi normal, kondisi gempa, kondisi pengisian normal, kondisi pengisian gempa, kondisi pengoperasian normal terowongan terisi sepenuhnya, kondisi pengoperasian gempa terowongan terisi sepenuhnya, kondisi pengoperasian normal terowongan terisi sebagian, kondisi pengoperasian gempa terowongan terisi sebagian, kondisi pengoperasian normal terowongan kondisi kosong, kondisi pengoperasian gempa terowongan kondisi kosong. Dari hasil perhitungan kombinasi pembebanan dilakukan perhitungan momen menggunakan Tabel Beggs . Dilakukan pemilihan momen maksimum untuk perhitungan penulangan terowongan.

Kata kunci: Terowongan pelimpah, perhitungan pembebanan, kombinasi pembebanan, momen maksimum, penulangan terowongan

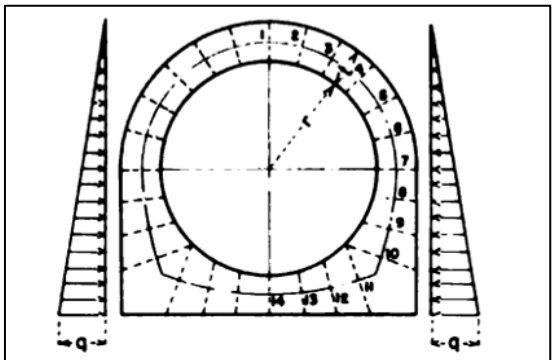
Correspondence : Wahyu Askur
Email : wahyuaskur01@gmail.com

1 PENDAHULUAN

Bendungan adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air sehingga membentuk suatu waduk, danau, dan tempat rekreasi. Sering kali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut spillway untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

Fungsi utama *Spillway* untuk menjaga kestabilan Bendungan dengan mengurangi volume air dalam waduk ketika mencapai kapasitas maksimum atau dalam kondisi cuaca ekstrem. Perancangan *spillway* adalah proses yang dilakukan dengan kompleks dan memerlukan pertimbangan yang matang untuk memastikan keamanan dan fungsionalitasnya.

Pada Tabel Beggs nilai koefisien terbagi menjadi 3 bagian yang dipengaruhi oleh ketebalan terowongan dan jari jari terowongan, untuk Tabel pertama t = (r/2), Tabel kedua t = (r/3), Tabel ketiga t = (r/6). Besarnya koefisien dapat dilihat dari tabel *Beggs Deformation Analysis Of Barrel Conduit* yang terdapat pada Gambar 1.



POINT	M/qr²	T/qr	S/qr	M/qr²	T/qr	S/qr	M/qr²	T/qr	S/qr
1	-0.162	+0.431	0	-0.139	+0.391	0	-0.114	+0.347	0
2	-0.144	+0.416	-0.112	-0.123	+0.377	-0.101	-0.101	+0.335	-0.090
3	-0.092	+0.368	-0.212	-0.079	+0.334	-0.193	-0.064	+0.296	-0.171
4	-0.015	+0.282	-0.282	-0.012	+0.256	-0.256	-0.008	+0.228	-0.228
5	+0.072	+0.169	-0.292	+0.064	+0.154	-0.267	+0.057	+0.137	-0.237
6	+0.148	+0.058	-0.218	+0.131	+0.054	-0.201	+0.115	+0.048	-0.180
7	+0.189	0	-0.056	+0.169	0	-0.058	+0.148	0	-0.055
8	+0.184	+0.014	+0.119	+0.165	+0.013	+0.109	+0.144	+0.012	+0.102
9	+0.131	+0.076	+0.327	+0.115	+0.074	+0.308	+0.096	+0.073	+0.293
10	+0.031	+0.202	+0.567	+0.019	+0.199	+0.540	+0.002	+0.197	+0.517
11	-0.053	+1.007	+0.358	-0.051	+0.884	+0.325	-0.053	+0.766	+0.292
12	-0.139	+1.041	+0.242	-0.127	+0.916	+0.219	-0.119	+0.796	+0.197
13	-0.192	+1.068	+0.122	-0.174	+0.936	+0.110	-0.159	+0.814	+0.099
14	-0.209	+1.069	0	-0.189	+0.942	0	-0.173	+0.820	0

Gambar 1. Koefisien Tabel Beggs

Pembebanan pada terowongan adalah proses menentukan dan memperhitungkan beban-beban yang diterima oleh struktur terowongan (*Hung* et al., 2009). Secara umum pembebanan yang terjadi pada terowongan adalah sebagai berikut:

1 Tekanan batuan vertikal (Qbv)
2 Tekanan batuan horizontal normal (Qbh)
3 Tekanan batuan horizontal gempa (Qbhe)
4 Tekanan air horizontal (Pw)
5 Tekanan air vertikal (Pwv)
6 Tekanan akibat berat sendiri (q)
7 Tekanan air dalam terowongan Kondisi full (Pf)
8 Tekanan air dalam terowongan terisi Sebagian (Pc)
9 Tekanan air dalam terowongan Kondisi Kosong (p)
10 Tekanan uplift (Pwvu)

Kondisi-kondisi perencanaan pada terowongan pada studi ini terbagi menjadi beberapa kondisi, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan	Qbv	Qbh	Qbhe	Pw	Pwv	q	Pf	Pc	P	Pwvu
kondisi 1	✓	✓			✓	✓				✓
kondisi 2	✓		✓		✓	✓				✓
kondisi 3	✓	✓		✓	✓	✓				✓
kondisi 4	✓		✓	✓	✓	✓				✓
kondisi 5	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓
kondisi 6	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓
kondisi 7	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓
kondisi 8	✓		✓	✓	✓	✓		✓		✓
kondisi 9	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓
kondisi 10	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓

kondisi 1 = kondisi normal
kondisi 2 = kondisi gempa
kondisi 3 = kondisi pengisian normal
kondisi 4 = kondisi pengisian gempa
kondisi 5 = kondisi pengoperasian normal terowongan terisi full
kondisi 6 = kondisi pengoperasian gempa terowongan terisi full
kondisi 7 = kondisi pengoperasian normal terowongan terisi setengah
kondisi 8 = kondisi pengoperasian gempa terowongan terisi setengah
kondisi 9 = kondisi pengoperasian normal terowongan kondisi kosong
kondisi 10 = kondisi pengoperasian gempa terowongan kondisi kosong

Langkah perancangan tulangan adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan mutu beton (fc') dan mutu baja (fy')
2. Menghitung pembebanan yang bekerja pada terowongan

3. Menghitung momen
4. Menghitung rasio penulangan menggunakan rumus:
   a. $\rho min = 1{,}4/fy$
   b. $\rho max = 0{,}75\ (\beta\ .\ fc')/fy\ \beta\ 600/(600 + fy)$
   c. $Rn = Mu/(\varphi\ .\ b\ .\ d\text{^}2\ )$
   d. $\omega = 0{,}85\ .(1 - \sqrt{(1 - (2{,}353\ Rn)/fc')}$
   e. $\rho = \omega\ .\ fc'/f$
   f. $As = \rho\ .b\ .d$

   Keterangan
   Fc' = Mutu beton (Mpa)
   Fy' = Mutu baja tulangan (Mpa
   Mu = Momen yang bekerja (KNm)
   b = Panjang plat
   d = Tebal efektif beton (cm)
   Rn = Momen persatuan Luas
   As = Luas tulangan (mm^2)
   ρ = Rasio tulangan yang direncanakan (mm^2)
   ρmin = Rasio tulangan minimum (mm^2)
   ρmax = Rasio tulangan maksimum (mm^2)

2 METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di Bendungan Bulango Ulu tepatnya di Desa Tulo'a, di Kecamatan Bulango Utara Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Metode pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan data sekunder dari instansi terkait, data-data inilah yang nantinya akan digunakan sebagai dasar untuk analisa guna mencari pemecahan terhadap permasalahan pada penelitian ini.

Pengumpulan data sekunder ini didapat dari instansi-instansi terkait yang didapat secara langsung maupun tidak langsung, pengumpulan data sekunder ini merupakan bagian yang sangat penting dan sangat membantu dalam proses analisis nantinya. Dalam penelitian ini akan dilakukan menggunakan dua metode yaitu menggunakan Tabel Beggs, hasil perhitungan dari metode tersebut akan dilakukan perancangan terowongan. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Bagan Alir

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Umum Perencanaan

Data perencanaan yang didaptakan pada proyek pembangunan Terowongan Pelimpah Bendungan Bulango Ulu sebagai berikut:
Data umum
1. Tipe terowongan = Shape B
2. Diameter terowongan = 8,00 m

3.2 Desain Terowongan

3.2.1 Perhitungan Pembebaban dan penginputan Tabel *Beggs*

Perhitungan mengikuti langkah perhitungan dari no 1 sampai dengan nomor 10. Adapun hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 10.

1.Beban Batuan Vertikal
Qbv= $\gamma_{kuarsit}$. H_p . 1 m
= 2,8 . 3,84 . 1
= 10,75 t/m

Tabel 2. Metode *Beggs* Beban Batuan Vertikal

No	M	T	S		Qbv		r		M	T	S
1	0,03	-0,03	0,00						21,33	-4,82	0,00
2	0,03	-0,03	0,01						20,64	-4,47	1,89
3	0,02	-0,10	0,04						16,52	-17,20	6,88
4	0,01	0,04	0,08						6,88	7,23	14,11
5	-0,01	0,13	0,11						-8,95	23,05	18,92
6	-0,04	0,24	0,09						-25,46	40,94	16,00
7	-0,05	0,29	0,03	x	10,75	x	4	=	-35,78	50,23	4,82
8	-0,06	0,29	-0,01						-37,85	50,41	-1,20
9	-0,05	0,29	-0,04						-33,03	49,89	-7,40
10	-0,03	0,28	-0,08						-21,33	48,69	-13,42
11	-0,01	0,11	-0,20						-6,88	18,06	-33,72
12	0,03	0,06	-0,13						20,64	10,67	-22,71
13	0,06	0,04	-0,07						37,85	6,37	-11,53
14	0,06	0,03	0,00						44,04	4,82	0,00

2.Tekanan Batuan Horisontal (Normal)

Qbh= Ka . ɤkuarsit . Ht

= 0,17 . 2,8 . 9,6

= 4,61 t/m

Tabel 3. Metode *Beggs* Tekanan Batuan Horisontal (N)

No	M	T	S		Qbh		r		M	T	S
1	-0,14	0,35	0,00						-10,63	6,40	0,00
2	-0,10	0,34	-0,09						-7,45	6,18	-1,66
3	-0,06	0,30	-0,17						-4,72	5,46	-3,15
4	-0,01	0,23	-0,23						-0,59	4,21	-4,21
5	0,06	0,14	-0,24						4,21	2,53	-4,37
6	0,12	0,05	-0,18						8,49	0,89	-3,32
7	0,15	0,00	-0,06	x	4,61	x	4	=	10,92	0,00	-1,01
8	0,14	0,01	0,10						10,63	0,22	1,88
9	0,10	0,07	0,29						7,08	1,35	5,41
10	0,00	0,20	0,52						0,15	3,63	9,54
11	-0,05	0,77	0,29						-3,91	14,13	5,39
12	-0,12	0,80	0,20						-8,78	14,68	3,63
13	-0,16	0,81	0,10						-11,73	15,02	1,83
14	-0,17	0,82	0,00						-12,77	15,13	0,00

3.Tekanan Batuan Horisontal (Gempa)

Qbhe = Ka . $ɤ_{kuarsit}$. Ht . Kh

= 0,17 . 2,8 . 9,6 . 0,9

= 4,15 t/m

Tabel 4. Metode Beggs Tekanan Batuan Horisontal (Gempa)

No	M	T	S		Qbhe		r		M	T	S
1	-0,14	0,35	0,00						-9,56	5,76	0,00
2	-0,10	0,34	-0,09						-6,71	5,56	-1,49
3	-0,06	0,30	-0,17						-4,25	4,91	-2,84
4	-0,01	0,23	-0,23						-0,53	3,79	-3,79
5	0,06	0,14	-0,24						3,79	2,27	-3,93
6	0,12	0,05	-0,18						7,64	0,80	-2,99
7	0,15	0,00	-0,06	x	4,15	x	4	=	9,83	0,00	-0,91
8	0,14	0,01	0,10						9,56	0,20	1,69
9	0,10	0,07	0,29						6,38	1,21	4,86
10	0,00	0,20	0,52						0,13	3,27	8,58
11	-0,05	0,77	0,29						-3,52	12,72	4,85
12	-0,12	0,80	0,20						-7,90	13,22	3,27
13	-0,16	0,81	0,10						-10,56	13,51	1,64
14	-0,17	0,82	0,00						-11,49	13,61	0,00

4.Beban Air Horisontal

Pw = $ɤ_w$. Ht . 1 m

= 1 . 9,6 . 1

= 9,6 t/m

Tabel 5. Metode Beggs Beban Air Horisontal

No	M	T	S		Pw		r		M	T	S
1	-0,14	0,35	0,00						-22,12	13,32	0,00
2	-0,10	0,34	-0,09						-15,51	12,86	-3,46
3	-0,06	0,30	-0,17						-9,83	11,37	-6,57
4	-0,01	0,23	-0,23						-1,23	8,76	-8,76
5	0,06	0,14	-0,24						8,76	5,26	-9,10
6	0,12	0,05	-0,18						17,66	1,84	-6,91
7	0,15	0,00	-0,06	x	9,60	x	4	=	22,73	0,00	-2,11
8	0,14	0,01	0,10						22,12	0,46	3,92
9	0,10	0,07	0,29						14,75	2,80	11,25
10	0,00	0,20	0,52						0,31	7,56	19,85
11	-0,05	0,77	0,29						-8,14	29,41	11,21
12	-0,12	0,80	0,20						-18,28	30,57	7,56
13	-0,16	0,81	0,10						-24,42	31,26	3,80
14	-0,17	0,82	0,00						-26,57	31,49	0,00

5. Tekanan Air Vertikal

Pwv = $ɤ_w$ .Hw . 1 m

= 1 . 23 . 1

= 23 t/m

Tabel 6. Metode *Beggs* Tekanan Air Vertikal

No	M	T	S		Pwv		r		M	T	S
1	0,27	0,04	0,00						90,55	3,25	0,00
2	0,23	0,12	0,28						35,34	4,48	10,98
3	0,13	0,33	0,49						11,50	7,48	11,18
4	-0,02	0,61	0,56						-0,88	8,93	8,14
5	-0,15	0,89	0,47						-5,59	8,22	4,34
6	-0,25	1,10	0,26						-5,09	5,61	1,30
7	-0,28	1,17	-0,04						-1,82	1,92	-0,06
8	-0,25	1,15	-0,18	x	23,00	x	4	=	1,62	-1,89	0,29
9	-0,18	1,12	-0,32						3,68	-5,74	1,63
10	-0,08	1,08	-0,45						2,80	-9,90	4,16
11	0,03	0,28	-0,84						-1,76	-4,08	12,27
12	0,20	0,10	-0,57						-18,58	-2,32	13,02
13	0,31	0,00	-0,29						-48,42	0,16	11,09
14	0,35	-0,04	0,00						-118,92	3,25	0,00

6. Berat Sendiri Terowongan

q = $ɤ_c$. t . 1 m

= 2,4 . 0,8 . 1

= 1,92 t/m

Tabel 7. Metode *Beggs* Berat Sendiri Terowongan

No	M	T	S		q		r		M	T	S
1	-0,06	0,67	0,00						-7,86	20,49	0,00
2	-0,06	0,67	-0,06						-6,88	20,71	-1,81
3	-0,03	0,70	-0,11						-3,93	21,35	-3,23
4	0,00	0,73	-0,13						0,25	22,52	-3,90
5	0,04	0,79	-0,12						4,67	24,27	-3,59
6	0,07	0,87	-0,07						7,99	26,73	-2,15
7	0,08	0,97	0,01	x	1,92	x	4	=	9,22	29,92	0,43
8	0,04	1,13	0,25						5,16	34,65	7,62
9	-0,05	1,42	0,32						-6,14	43,59	9,86
10	-0,19	1,92	0,80						-23,72	58,98	24,61
11	-0,20	2,37	-0,43						-24,94	72,65	-13,33
12	-0,13	2,21	-0,36						-16,10	67,80	-11,06
13	-0,07	2,10	-0,20						-8,11	64,36	-6,21
14	-0,04	2,06	0,00						-5,16	63,13	0,00

7. Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Terisi Full

Pf = $ɤ_w$. g . h

= 1 . 9,8 . 8

= 7,84 t/m

Tabel 8. Metode Beggs Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Terisi Full

No	M	T	S		Pf		r		M	T	S
1	0,17	-0,56	0,00						82,79	-69,62	0,00
2	0,15	-0,54	0,14						72,76	-67,24	17,69
3	0,09	-0,48	0,25						44,15	-60,59	31,86
4	0,01	-0,41	0,32						3,01	-51,05	39,64
5	-0,09	-0,32	0,31						-42,65	-40,64	38,76
6	-0,16	-0,25	0,22						-81,29	-31,74	27,85
7	-0,20	-0,22	-0,06	x	7,84	x	4	=	-101,86	-26,97	-6,90
8	-0,19	-0,20	-0,21						-92,83	-25,34	-26,84
9	-0,09	-0,17	-0,54						-47,17	-21,58	-68,11
10	0,07	0,12	-0,92						37,13	14,43	-115,6
11	0,15	-0,90	-0,17						73,26	-113,02	-21,45
12	0,19	-1,20	-0,09						93,83	-150,78	-10,91
13	0,21	-1,38	-0,04						104,37	-173,61	-4,39
14	0,21	-1,45	0,00						107,38	-181,26	0,00

8. Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Terisi Sebagian

$Pc = \gamma_w \cdot g \cdot (h - c)$
$= 1 \cdot 9{,}8 \cdot (8 - 4)$
$= 3{,}92$ t/m

Tabel 9. Metode *Beggs* Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Terisi Sebagian

No	M	T	S		Pc		r		M	T	S
1	0,17	-0,56	0,00						0,00	0,00	0,00
2	0,15	-0,54	0,14						0,00	0,00	0,00
3	0,09	-0,48	0,25						0,00	0,00	0,00
4	0,01	-0,41	0,32						0,00	0,00	0,00
5	-0,09	-0,32	0,31						0,00	0,00	0,00
6	-0,16	-0,25	0,22						0,00	0,00	0,00
7	-0,20	-0,22	-0,06	x	3,92	x	4	=	-50,93	-13,48	-3,45
8	-0,19	-0,20	-0,21						-46,41	-12,67	-13,42
9	-0,09	-0,17	-0,54						-23,58	-10,79	-34,06
10	0,07	0,12	-0,92						18,57	7,21	-57,83
11	0,15	-0,90	-0,17						36,63	-56,51	-10,73
12	0,19	-1,20	-0,09						46,91	-75,39	-5,46
13	0,21	-1,38	-0,04						52,18	-86,80	-2,20
14	0,21	-1,45	0,00						53,6883	-90,63	0,00

9. Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Kosong

$P = \gamma_w \cdot g \cdot h$
$= 1 \cdot 9{,}8 \cdot 0$
$= 0$ t/m

Tabel 10. Metode Beggs Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Kosong

No	M	T	S		P		r		M	T	S
1	0,17	-0,56	0,00						0,00	0,00	0,00
2	0,15	-0,54	0,14						0,00	0,00	0,00
3	0,09	-0,48	0,25						0,00	0,00	0,00
4	0,01	-0,41	0,32						0,00	0,00	0,00
5	-0,09	-0,32	0,31						0,00	0,00	0,00
6	-0,16	-0,25	0,22						0,00	0,00	0,00
7	-0,20	-0,22	-0,06	x	0,00	x	4	=	0,00	0,00	0,00
8	-0,19	-0,20	-0,21						0,00	0,00	0,00
9	-0,09	-0,17	-0,54						0,00	0,00	0,00
10	0,07	0,12	-0,92						0,00	0,00	0,00
11	0,15	-0,90	-0,17						0,00	0,00	0,00
12	0,19	-1,20	-0,09						0,00	0,00	0,00
13	0,21	-1,38	-0,04						0,00	0,00	0,00
14	0,21	-1,45	0,00						0,00	0,00	0,00

10. Tekanan Uplift Beban Batuan Vertikal

$Pwvu = \gamma_w \cdot Hw \cdot 1$ m
$= 1 \cdot 23 \cdot 1$
$= 23$ t/m

3.2.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan menggunakan merujuk pada AASHTO,1983 pada buku Siesmic Design Of Tunnel. Maximum Design Earthquake (MDE). Mengingat tujuan kinerja MDE (yaitu, keselamatan publik), kombinasi pembebanan seismik yang direkomendasikan menggunakan metode desain faktor beban adalah sebagai berikut :

$$U = D + L + E1 + E2 + EQ$$

Hasil kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Kombinasi Pembebanan

No	Kondisi atau Kombinasi	Momen (t.m)	Normal (t)	Lintang (t)
1	Kondisi Normal	93,40	101,40	-29,40
2	Kondisi Gempa	94,46	101,04	-29,94
3	Kondisi Pengisian Normal	-119,38	130,18	44,74
4	Kondisi Pengisian Gempa	-118,10	128,76	43,78
5	Kondisi Pengoperasian Normal Terowongan Terisi Sepenuhnya	154,07	123,39	-70,92
6	Kondisi Pengoperasian Gempa Terowongan Terisi Sepenuhnya	155,13	123,03	-71,87
7	Kondisi Pengoperasian Normal Terowongan Terisi Sebagian	-65,69	116,18	6,20
8	Kondisi Pengoperasian Gempa Terowongan Terisi Sebagian	-64,41	115,82	6,64
9	Kondisi Pengoperasian Normal Terowongan Kondisi Kosong	-119,38	130,18	44,74
10	Kondisi Pengoperasian Gempa Terowongan Kondisi Kosong	-118,10	128,76	43,78
	Max	155,13	130,18	1,87

Hasil dari rekapitulasi momen pada pembebanan terowongan digunakan nilai maksimum pada metode Tabel Beggs yang akan digunakan untuk memperhitungkan penulangan yang akan digunakan pada terowogan.

3.2.3 Perhitungan Tulangan

Data yang digunakan sebagai berikut:

Mu max = 1551,31 KN.m
F'c = 30 Mpa
Fy = 400 Mpa
b = 1000 mm
d = 668,5 mm

Tulangan Utama

Direncanakan dengan tulangan D-25

Batas rasio tulangan maksimum balok adalah ρ> ρmin

ρmin = 1,4/fy

ρmin = 0,0035

perhitungan rasio tulangan maksimum adalah ρmax:

ρmax = 0,75 (β . fc')/fy β 600/(600+fy)

ρmax = 0,02

perhitungan Momen persatuan luas atau Rn :

Rn = Mu/(φ . b . d^2)

Rn = 4,34 Mpa

perhitungan ω :

ω = 0,85 .(1-√(1-(2,353 Rn)/fc')

ω = 0,15

Perhitungan rasio tulangan yang direncanakan ρ :

ρ = ω . fc'/fy

ρ = 0,011

Nilai ρ lebih besar dari ρmin makan digunakan nilai ρ

Perhitungan luas tulangan As:

As = ρ . b . d

As = 8003,53 mm2

Dicoba menggunakan besi tulangan D25, D29, D32

D25 = 1/4. 3,14. 252
= 490,62 mm2

D29 = 1/4. 3,14. 292
= 660,18 mm2

D32 = 1/4. 3,14. 322
= 803,84 mm2

memakai D25 dengan jumlah = As / 490,63
= 16,31 ~ 17 Buah

jarak antar tulangan (Sn)= b / (As / 490,635)
= 61,30 ~ 60 mm

memakai D29 dengan jumlah = As / 660,18
= 12,12 ~ 13 Buah

jarak antar tulangan (Sn)= b / (As / 660,185)
= 82,49~ 80 mm

memakai D32 dengan jumlah = As / 803,84
= 9,96 ~ 10 Buah

jarak antar tulangan (Sn)= b / (As / 803,84)
= 100,44 ~ 100 mm

Tulangan Bagi

Direncanakan dengan tulangan D-19

As = (0,20 . b . d) / 100

As = (0,20 . 1000 . 668,5) / 100

As = 1337 mm2

Dicoba menggunakan besi tulangan D19, D16, D14

D19 = 1/4. 3,14. 192
= 283,38 mm2

D16 = 1/4. 3,14. 162
= 226,86 mm2

D14 = 1/4. 3,14. 142
= 153,86 mm2

memakai D19 dengan jumlah = As / 283,38
= 4,71 ~ 5 Buah

jarak antar tulangan (Sn)= b / (As / 283,38)
= 211,95 ~ 210 mm

memakai D16 dengan jumlah = As / 226,865
= 5,89 ~ 6 Buah

jarak antar tulangan (Sn)= b / (As / 226,865)
= 169,68 ~ 160 mm

memakai D14 dengan jumlah = As / 153,86
= 8,68 ~ 9 Buah

jarak antar tulangan (Sn)= b / (As / 153,86)
= 115,07 ~ 110 mm

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan pembebanan terowongan didapatkan hasil sebagai berikut:
   a. Tekanan Batuan Vertikal =10,75 t/m
   b. Tekanan Batuan Horisontal (N)= 4,61 t/m
   c. Tekanan Batuan Horisontal (G)= 4,15 t/m
   d. Tekanan Air Horisontal = 9,60 t/m
   e. Tekanan Air Vertikal = 23,00 t/m
   f. Berat Sendiri Terowongan = 1,92 t/m
   g. Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Terisi Full = 7,84 t/m
   h. Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Terisi Sebagian= 3,92 t/m
   i. Tekanan Air Dalam Terowongan Kondisi Kosong= 0 t/m
   j. Tekanan Uplift = 23,00 t/m

2 Berdasarkan hasil perhitungan pembebanan terowongan berdasarkan kombinasi pembebanan pada terowongan beban air,

Metode Beggs momen terbesar pada kombinasi kondisi pengoperasian gempa terowongan terisi sepenuhnya= 155,13 t.m

3 Perhitungan penulangan pada terowongan Bulango Ulu digunakan penulangan yang direkomendasikan berdasarkan hasil perhitungan diperoleh sebagai berikut: Terowongan beban air digunakan tulangan utama D25 – 60 mm dan untuk tulangan bagi D19 – 210 mm.

DAFTAR RUJUKAN

Ngr. Billy Narendra et al. (2021) 'Analisis Alternatif Perancangan Dimensi Terowongan Pengelak Bendungan Sidan', Paduraksa= Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, 10(2), pp. 325–337. Available at= https=//doi.org/10.22225/pd.10.2.3357.325-337.

Balai Wilayah Sungai II (2023) Proyek Strategis Nasional Provinsi Gorontalo Bendungan BulangoUlule, Unit Sistem Informasi Sumber Daya Air (SISDA). Available at= https=//sda.pu.go.id/balai/bwssulawesi2/data/proyek-strategis-nasional/bendungan-bulango-ulu/.

Firmanto, B., Noerhayati, E. and Suprapto, B. (2020) 'Studi Alternatif Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek', Jurnal Rekayasa Sipil [Preprint]. Available at= http=//www.riset.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/7327.

Google Inc (2024) lokasi bendungan bulango ulu, Google Maps= Bendungan Bulango Ulu. Available at= https=//maps.app.goo.gl/m7yHUFPXxkRfAe6q6.

H.B philips, I.. A. (1968) beggs deformeter stress analysis of singgel barrel conduits, A water resources technical publicasion enggenering monograph. united states departemen of the interior.

Hung, J. et al. (2009) FHWA (Federal Highway Administration),Technical manual for design and construction of road tunnels-Civil elements, National Highway Institute.

Kementrian pekerjaan umum (2011) 'pedoman perencanaan dan pelaksanaan terowongan untuk bendungan', in pedoman teknis= konstruksi dan bangunan sipil. kementerian pekerjaan umum direktorat jendral sumber daya air.

kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, B.P.S.D.M. (2017) Modul 8 Desain Bangunan Pelengkap Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar, pusat pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksu. bandung.

Maulaya, F.I., Noerhayati, E. and Suprapto, B. (2020) 'Studi Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Semantok Di Kecamatan Rejoso Kabupaten Nganjuk', Riset.Unisma.Ac.Id, 8(4), pp. 328–338.

Rofikha, A.A., Marsudi, S. and Cahya, E.N. (2019) 'Analisis Struktur Terowongan Pengelak Pada Bendungan Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatra Utara', Jurnal Teknik Pengairan, 10(1), pp. 28–38. Available at=https=//doi.org/10.21776/ub.pengairan.2019.010.01.3.

Terzaghi, K. (1943) 'theoretical soil mechanics', in John wiley & sons. new york, london= united states amerika.

Terzaghi, K. (1946) 'rock tunneling with steel support', in introduction to tunnel geology. london= the youngstown printing co,youngstown, ohio, p. 60.

Wang, J.J. (1993) Seismic design of tunnels. William Barclay Parsons Fellowship Parsons Brinckerhoff Monograph 7. Parsons Brinckerhoff inc, one penn plaza, New York.

Yoga Wicaksana, C., Suprijanto, H. and Cahya, E.N. (2018) 'Studi Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Lubuk Ambacang Kecamatan Hulu Kuantan Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau', Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan, 2(1).