

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN TEROWONGAN PENGELAK BENDUNGAN TUGU KABUPATEN TRENGGALEK

Bakti Yudi Firmanto¹, Eko Noerhayati², Bambang Suprpto³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, email:

134kti yudi@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Malang, email:

eko.noerhayati@unisma.ac.id

²Dosen Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Malang, email:

Bambang.Suprpto@unisma.ac.id

ABSTRAK

Struktur bangunan pelengkap yang pertama dibangun pada tahap pelaksanaan konstruksi suatu bendungan adalah bangunan pengelak. Fungsi bangunan pengelak adalah untuk mengalihkan aliran sungai selama berlangsungnya pelaksanaan konstruksi bendungan supaya dapat melaksanakan pekerjaan tubuh bendungan. Dalam merencanakan terowongan pengelak perlu mempertimbangkan kondisi topografi, kondisi geologi, kondisi hidrologi dan hidrolika. Data-data eksisting tersebut digunakan untuk menganalisa beban terowongan pengelak yang di tinjau dari tekanan vertikal, dan tekanan horizontal serta menghitung kestabilan terowongan. Terowongan pengelak pada akhir konstruksi nantinya akan dialih fungsikan sebagai bangunan pengambilan yang digunakan untuk suplesi irigasi dan air baku. Dari hasil perencanaan didapatkan analisa debit banjir rancangan $Q_{25th} = 298,16 \text{ m}^3/\text{det}$ dengan metode hidrograf satuan sintetis nakayasu. Dimensi terowongan pengelak di dapatkan 4 m dengan menggunakan perhitungan penelusuran banjir dengan debit kala ulang 25 tahun dan di rencanakan berbentuk lingkaran. Pada pembebanan terowongan didapatkan tekanan horizontal dan tekanan vertikal yaitu tekanan batuan vertikal = 7,89 t/m, berat sendiri = 1,68 t/m, tekanan air vertikal = 4 m, tekanan air dalam terowongan = 9,6 t/m², tekanan batuan horizontal (kondisi normal) = 3,95 t/m, tekanan batuan horizontal (kondisi gempa) = 0,59 t/m, dan tekanan uplift = 9,4 t/m². Stabilitas terowongan pada batuan keras didapatkan 23 t/m² lebih kecil dari batas tegangan ijin yaitu 35,63 t/m², sehingga desain ini aman.

Kata Kunci: Terowongan pengelak, debit rancangan, beban terowongan.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah di Indonesia khususnya Kabupaten Trenggalek mengalami banjir pada musim penghujan dan kekeringan pada musim kemarau. Untuk menindak lanjuti masalah tersebut dan memenuhi kebutuhan air perlu dilakukan dengan membangun sebuah bendungan.

Konstruksi pembangunan bendungan perlu memperhatikan area pembebasan konstruksi dari gangguan air. Terowongan Pengelak dibangun untuk melindungi daerah konstruksi dari gangguan air. Terowongan Pengelak dibangun pada tahap awal sebelum pembangunan Bendungan Utama yang berfungsi mengelakkan aliran air sungai dari hulu ke hilir bendungan untuk melindungi daerah pelaksanaan bendungan dari pengaruh aliran air agar tidak terganggu. Aliran tersebut bisa berupa debit sungai atau debit air lainnya. Bangunan Pengelak dibuat karena merupakan bangunan penunjang yang sangat berpengaruh nantinya dalam sebuah bendungan. Aliran air sungai harus dialihkan melalui terowongan pengelak agar pembangunan bendungan mudah dan cepat digunakan. Saluran pengelak disini direncanakan dengan bentuk terowongan pengelak dan nantinya akan dijadikan bangunan intake.

Pada penelitian ini penulis merencanakan Terowongan Pengelak dengan bentuk lingkaran. Bentuk lingkaran baik untuk beban vertical dan hidrolis aliran dalam saluran.

Identifikasi Masalah

Dari latar belakang diatas, didapatkan beberapa identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Debit aliran sungai harus dialihkan selama pelaksanaan konstruksi bendungan utama.
2. Saluran pengelak direncanakan dengan bentuk terowongan pengelak
3. Terowongan pengelak direncanakan bentuk lingkaran

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat saya ambil dari identifikasi masalah diantaranya sebagai berikut:

1. Berapa debit banjir rancangan dengan kala ulang 25 tahun?
2. Berapa dimensi terowongan pengelak pada bendungan Tugu?
3. Berapa beban yang bekerja pada terowongan pengelak di bendungan Tugu?
4. Bagaimana stabilitas terowongan pengelak pada batuan di bendungan Tugu?

Tujuan & Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Tujuan
 - a. Untuk mengetahui debit banjir rancangan dengan kala ulang 25 tahun
 - b. Untuk mengetahui dimensi terowongan pengelak pada bendungan Tugu
 - c. Untuk mengetahui beban yang bekerja pada terowongan pengelak di bendungan Tugu
 - d. Untuk mengetahui stabilitas terowongan pengelak pada batuan di bendungan Tugu
2. Manfaat
 - a. Sebagai bahan pertimbangan dalam merencanakan terowongan pengelak pada instansi tersebut
 - b. Sebagai bahan acuan atau referensi dalam merencanakan terowongan pengelak pada instansi tersebut

TINJAUAN PUSTAKA

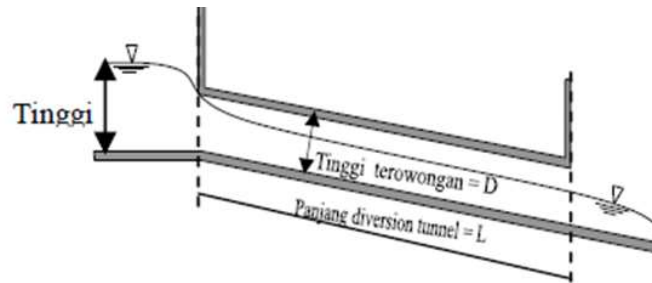
Terowongan Pengelak (*Diversion Tunnel*)

Terowongan Pengelak (*Diversion Tunnel*) yaitu bangunan yang berfungsi untuk mengelakkan aliran air sungai dari hulu ke hilir bendungan selama masa pelaksanaan konstruksi bendungan utama dibangun. Rencana pengelakan aliran air yang baik dan tepat akan meminimalisir kemungkinan terjadinya banjir pada konstruksi yang sedang dilaksanakan.

Analisa Hidrolika Terowongan Pengelak

Kondisi aliran ini berfungsi untuk menentukan dimensi terowongan pengelak. Untuk menentukan kapasitas debit air yang melewati terowongan pengelak terdapat dua macam kondisi, yaitu:

1. Kondisi aliran bebas



Gambar 1. Kondisi Aliran Bebas
(Sumber: Chow, 1992)

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(1)$$

(Sumber : Chow-Ven Te, 1992:118)

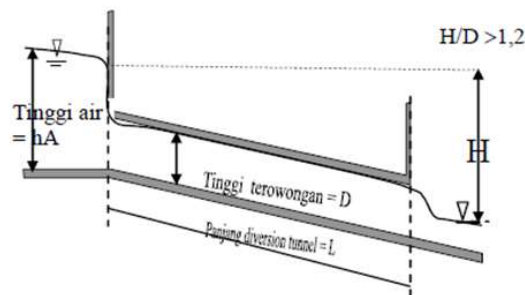
Dimana:

Q = Debit yang lewat (m^3/dt)

V = Kecepatan aliran (m/dt)

A = Luas penampang basah (m^2)

2. Kondisi aliran bebas



Gambar 2. Kondisi Aliran Tekan
(Sumber: Chow, 1992)

$$V = \sqrt{\frac{2g(H+L \cdot \sin \theta - D/2)}{\sum c + C_v + C_o + \text{current} + C_b}} \dots\dots\dots(2)$$

(Sumber : Chow-Ven Te, 1992:118)

Dimana:

V = Besarnya kecepatan yang mengalir lewat terowongan ($m^2 \cdot dt^{-1}$)

g = Percepatan gravitasi ($m \cdot dt^{-2}$)

H = Tinggi muka air sebagian pemasukan terowongan (m)

L = Panjang saluran (m)

D = Diameter terowongan (m)

$\sum c$ = Jumlah koefisien kehilangan energi sepanjang terowongan

C_v = koefisien kehilangan energi akibat adanya gesekan

C_o = koefisien kehilangan energi pada outlet (1)

C_b = koefisien kehilangan energi akibat belokan (0)

Pembebanan Terowongan

Terowongan pengelak menggunakan perhitungan mekanika batuan oleh Singh dan Goel (2006)

1. Tekanan batuan vertikal

$$q_{bv} = \gamma_{kuarsit} \times h_p \dots\dots\dots(3)$$

2. Berat sendiri
 $q = V_c \times t$ (4)
3. Tekanan air vertikal
 $H_w = \text{elevasi puncak terowongan} - \text{elevasi muka air tanah}$ (5)
 $Q_{wv} = V_w \times H_w$ (6)
4. Tekanan air tanah horizontal
 $H_w = \text{elevasi puncak terowongan} - \text{elevasi muka air tanah}$ (7)
5. Tekanan air dalam terowongan
 $P = p \cdot g \cdot h$ (9)
6. Tekanan batuan horizontal (kondisi normal)
 $q_h = 0,5 \times (V_{kuarsit} \times h_p)$ (10)
7. Tekanan batuan horizontal (kondisi gempa)
 $K = \frac{ad}{g}$ (11)
8. Tekanan uplift
 $P_{wv} = V_w \times (H_w + H_t)$ (12)

Stabilitas Terowongan Pada Batuan

Stabilitas terowongan pengelak pada batuan keras bisa dikatakan stabil apabila $q_{vertikal total} < q_u$ (*Compressive strength*)

Dengan:

$$\text{Beban vertikal total } (q_{total}) = q_{batuan \text{ vertikal}} + q_{berat \text{ sendiri}} + q_{air \text{ vertikal}} + q_{air \text{ dalam terowongan}} \dots\dots\dots(13)$$

(Anonim, 2018)

Tegangan tanah yang diijinkan $q_{all} = (\text{Daya Dukung } (q_{ult})) / (\text{Safety Factor (SF)})$
 Untuk memenuhi syarat keamanan, faktor aman terhadap keruntuhan akibat beban maksimum adalah 3.

Analisis daya dukung didasarkan kondisi general shear failure, yang dikemukakan Terzaghi (1943) dengan anggapan pondasi berbentuk memanjang tak terhingga dengan lebar B dan terletak di atas tanah homogen:

$$\text{Persamaannya: } q_{ult} = c N_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (2- 51)$$

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah (Tabel Nilai faktor daya dukung tanah Terzaghi)

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi Bendungan Tugu secara administratif terletak di Sungai Tugu Desa Nglinggis Kabupaten Trenggalek, ± 15 km disebelah barat kota Trenggalek Provinsi Jawa Timur. Terletak pada koordinat 08°02'27" LS dan 111°35'07" BT. Dengan luas daerah aliran sungai (DAS) Tugu seluas 54,03 km².

Data-Data yang Dibutuhkan

Data topografi, data hidrologi, data geologi.

Tahapan Penelitian

1. Analisa Hidrologi dengan mencari debit banjir rancangan.
2. Analisa Hidrolika terowongan pengelak meliputi kondisi aliran bebas dan kondisi aliran tekan untuk menentukan dimensi terowongan pengelak.
3. Pembebanan terowongan pengelak yang meliputi tekanan batuan vertikal dan tekanan batuan horizontal.
4. Stabilitas terowongan pengelak pada batuan keras

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hidrologi

Data curah hujan yang digunakan dalam Analisa hidrologi di ambil dari dua stasiun hujan yaitu Stasiun pule dan Stasiun tugu. Data hujan yang digunakan dalam dengan periode tahun 2009 sampai tahun 2018 (10 tahun)

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum Stasiun Pule

no	tahun	Stasiun Pule (mm)
1	2012	74
2	2018	90
3	2017	94
4	2009	112
5	2014	123
6	2011	124
7	2013	129
8	2010	152
9	2015	152
10	2016	156

Sumber : Anonim, 2017

1. Perhitungan Banjir Rancangan

Dalam studi ini untuk menghitung debit banjir rancangan dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu.

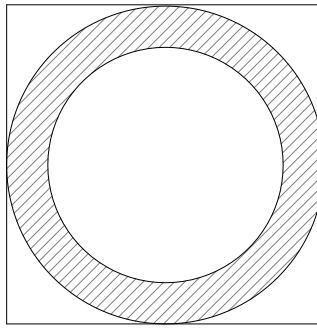
$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_o}{(3,6 (0,3 \times T_p) + T_{0,3})} \dots \dots \dots (13)$$

Dalam merencanakan terowongan pengelak ini menggunakan debit banjir rancangan $Q_{25 \text{ th}}$ sebesar 296,18 m³/det.

Perhitungan Penelusuran banjir

1. Penentuan Dimensi Terowongan Dengan Dimensi 4,0 m

Terowongan direncanakan berbentuk lingkaran dari inlet sampai outlet. Pada perencanaan ini maka dibuat dengan 1 terowongan dengan dimensi 4,0 m berbentuk lingkaran.



Gambar 3. Sketsa Terowongan Pengelak

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Perhitungan Aliran Bebas

Tabel 2. Kapasitas Pengaliran Saat Kondisi Aliran Bebas $h < 1,2$ terowongan pengelak

El. MA	Tinggi MA	θ	A	P	R	B	V	Q	F	
(m)	(m)	($^{\circ}$)	(m^2)	(m)	(m)	(m)	(m/detik)	(m^3 /detik)	Nilai	Keterangan
-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-11	-12
67,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
68,2	0,5	41,41	0,91	2,89	0,31	2,65	0,99	0,9	0,54	Sub kritis
68,7	1	60	2,46	4,19	0,59	3,46	1,5	3,69	0,57	Sub kritis
69,2	1,5	75,52	4,3	5,27	0,82	3,87	1,87	8,06	0,57	Sub kritis
69,7	2	90	6,28	6,28	1	4	2,14	13,47	0,55	Sub kritis
70,2	2,5	75,52	8,26	11,98	0,69	3,87	1,67	13,82	0,37	Sub kritis
70,7	3	60	10,11	11,89	0,85	3,46	1,92	19,44	0,36	Sub kritis
71,2	3,5	41,41	11,66	11,79	0,99	2,65	2,13	64,49	0,68	Sub kritis
71,7	4	0	12,57	11,56	1,09	0	2,27	109,54	0,72	Sub kritis

Sumber : Hasil Perhitungan

3. Perhitungan Aliran Tekan

Tabel 3. Kapasitas Pengaliran Saat Kondisi Aliran Tekan $h > 1,2$ Terowongan Pengelak

El. MA	Tinggi MA	θ	A	R	Σc	Cv	Co	v	Q	keterangan
(m)	(m)	($^{\circ}$)	(m^2)	(m)		(gesekan)	(outlet)	(m/detik)	(m^3 /detik)	
-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-10
72,7	5	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	22,92	287,99	Superkritis
73,7	6	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	23,06	289,74	Superkritis
74,7	7	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	23,19	291,48	Superkritis
75,7	8	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	23,33	293,2	Superkritis

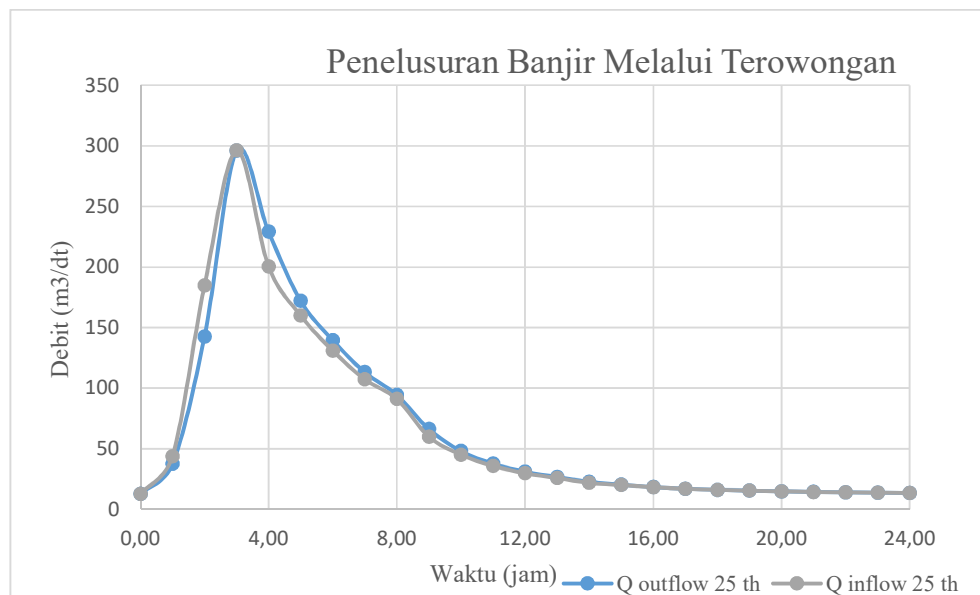
75,7	8	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	23,33	293,2	Superkritis
76,7	9	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	23,47	294,92	Superkritis
77,7	10	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	23,6	296,62	Superkritis
78,7	11	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	23,74	298,32	Superkritis
79,7	12	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	23,87	300,01	Superkritis
80,7	13	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	24,01	301,69	Superkritis
81,7	14	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	24,14	303,35	Superkritis
82,7	15	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	24,27	305,01	Superkritis
83,7	16	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	24,4	306,66	Superkritis
84,7	17	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	24,53	308,3	Superkritis
85,7	18	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	24,66	309,94	Superkritis
86,7	19	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	24,79	311,56	Superkritis
87,7	20	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	24,92	313,17	Superkritis
88,7	21	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	25,05	314,78	Superkritis
89,7	22	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	25,18	316,38	Superkritis
90,7	23	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	25,3	317,97	Superkritis
91,7	24	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	25,43	319,55	Superkritis
92,7	25	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	25,55	321,13	Superkritis
93,7	26	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	25,68	322,7	Superkritis
94,7	27	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	25,8	324,26	Superkritis
95,7	28	0,05	12,57	6,28	1,79	0,09	1	25,93	325,81	Superkritis

Sumber: Hasil Perhitungan

4. Perhitungan Penelusuran Banjir

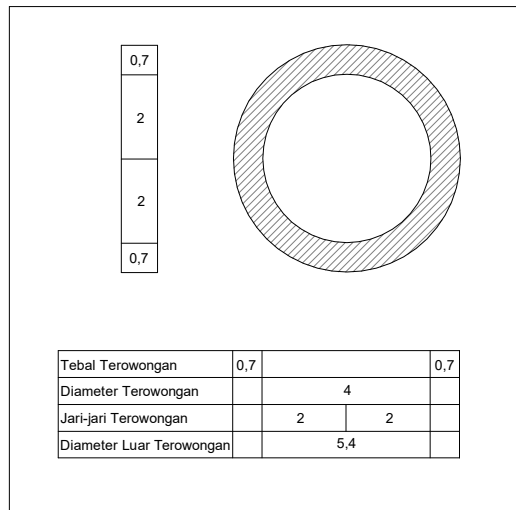
Penelusuran banjir di waduk dibutuhkan untuk mengetahui debit *outflow* maksimum dan tinggi air maksimum diatas terowongan pengelak.

$$Q = C.L.H^{3/2} \dots\dots\dots(14)$$



hasil perhitungan diatas dengan menggunakan Q_{25th} di dapat $Q_{inflow} = 296,18 \text{ m}^3 / \text{det}$ & $Q_{outflow} = 295,94 \text{ m}^3 / \text{det}$ pada elevasi 75,60 m.

Perhitungan Pembebanan



1. Tekanan batuan vertikal

$$q_{bv} = \gamma_{\text{batuan}} \times h_p$$

Dimana :

$$\begin{aligned} H_p &= 0,3 \times (B + H_t) \\ &= 0,3 \times (4 + 5,4) \\ &= 2,82 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{bv} &= \gamma_{\text{batuan}} \times h_p \\ &= 2,8 \times 2,82 \\ &= 7,89 \text{ t/m} \end{aligned}$$

2. Berat sendiri

$$q = \gamma_c \times t$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \gamma_c &= 2,4 \text{ t/m}^3 \\ q &= 2,4 \times 0,7 \\ &= 1,68 \text{ t/m} \end{aligned}$$

3. Tekanan air vertikal

$$\begin{aligned} H_w &= \text{elevasi muka air tanah} - \text{elevasi puncak terowongan} \\ &= 79 - 75 = 4,00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{wv} &= \gamma_w \times H_w \\ &= 1 \times 4 = 4,00 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Tekanan air dalam terowongan

$$\begin{aligned} V \text{ per } 1 \text{ meter} &= A \times 1 \text{ m} \times 1.000 \\ &= 12,57 \times 1 \times 1.000 \\ &= 12.570 \text{ liter} = 12,57 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tekanan air dari dalam

$$\begin{aligned} P &= \rho \times g \times h \\ P &= 1.000 \times 9,81 \times 9,6 \\ P &= 94.176 \text{ pascal} \\ P &= 9,6 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

5. Tekanan batuan horizontal (kondisi normal)

$$q_h = 0,5 \times (\gamma_{\text{batuan}} \cdot h_p)$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 H_p &= 0,3 \times (B + H_t) \\
 &= 0,3 \times (4 + 5,4) \\
 &= 2,82 \text{ m} \\
 q_h &= 0,5 \times (2,8 \times 2,82) \\
 &= 3,95 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

6. Tekanan air tanah horizontal

$$\begin{aligned}
 H_w &= \text{elevasi puncak terowongan} - \text{elevasi muka air tanah} \\
 &= 79 - 75 \\
 &= 4 \text{ m} \\
 P_{wh} &= \gamma_w \cdot H_w \\
 &= 1 \times 4 \\
 &= 4 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

7. Tekanan batuan horizontal (kondisi gempa)

nilai percepatan gempa dengan koordinat 08°02'27" LS dan 111°35'07" BT diperoleh data sebagai berikut: K_h kala ulang 100 tahun = 0,15

$$\begin{aligned}
 Q_{hc} &= 0,5 \times (\gamma_{\text{batuan}} \times h_p) \times K_h \\
 H_p &= 0,3 \times (B + H_t) \\
 &= 0,3 \times (4 + 5,4) \\
 &= 2,82 \text{ m} \\
 Q_{hc} &= 0,5 \times (\gamma_{\text{batuan}} \times h_p) \times K_h \\
 &= 0,5 \times (2,8 \times 2,82) \times 0,15 \\
 &= 0,59 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

8. Tekanan uplift

Besar tekanan air tanah:

$$\begin{aligned}
 P_{wv} &= \gamma_w \times (H_w + H_t) \\
 &= 1 \times (4 + 5,4) \\
 &= 9,4 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Stabilitas Terowongan Pada Batuan

Stabilitas terowongan pada batuan batuan keras harus memiliki $q_{\text{vertikal total}} < q_u$ (Compressive strength) agar kekuatan batuan dapat dikatakan stabil untuk menahan tekanan total vertikal yang bekerja dari atas batuan. Maka dihitung jumlah $q_{\text{vertikal total}}$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Beban vertikal total } (q) &= q_{\text{batuan vertikal}} + q_{\text{berat sendiri}} + q_{\text{air vertikal}} + q_{\text{air dalam terowongan}} \\
 &= 7,89 + 1,68 + 4 + 9,6 \\
 &= 23 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Properti material Pondasi batuan:

$$\begin{aligned}
 k &: 7,16 \times 10^{-4} & (\text{cm/det}) \\
 \gamma_{\text{sat}} &: 1,950 & (\text{ton/m}^3) \\
 \gamma_{\text{wet}} &: 1,875 & (\text{ton/m}^3) \\
 \gamma_{\text{dry}} &: 1,561 & (\text{ton/m}^3) \\
 C &: 2,10 & (\text{ton/m}^2) \\
 \phi &: 25 & (^{\circ})
 \end{aligned}$$

$$q_{\text{ult}} = c N_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_{\gamma}$$

dari nilai $\phi = 25^{\circ}$, (local shear failure) pada tabel nilai factor daya dukung terzaghi didapat :

$$\begin{aligned}
 N_c &= 14,8, N_q = 5,6, N_{\gamma} = 3,2 \\
 q_{\text{ult}} &= 2,1 \times 14,8 + 5,4 \times 1,95 \times 5,6 + 0,5 \times 1,95 \times 5,4 \times 3,2 \\
 &= 106.896
 \end{aligned}$$

$$q_{\text{all}} = 106.896 / 3 = 35.632 \text{ t/m}^2 \text{ (Ambil angka keamanan 3)}$$

jadi $23 \text{ t/m}^2 < 35.63 \text{ t/m}^2 \rightarrow \rightarrow \text{Aman}$

PENUTUP

Kesimpulan

Perencanaan yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Terowongan pengelak Bendungan Tugu dengan debit rancangan kala ulang 25 tahun dengan metode nakayasu didapatkan debit Q_{25} yaitu 298,16 m³/detik
2. Dimensi terowongan pengelak didapatkan dimensi dengan diameter 4 m dengan satu buah terowongan bentuk lingkaran
3. Beban yang bekerja diterowongan yaitu sebagai berikut:
 - Tekanan vertikal = 7,89 t/m
 - Berat sendiri = 1,68 t/m
 - Tekanan air vertikal = 4 m
 - Tekanan air horizontal = 4 m
 - Tekanan air dalam terowongan = 9,6 t/m²
 - Tekanan batuan horizontal (kondisi normal) = 3,95 t/m
 - Tekanan batuan horizontal (kondisi gempa) = 0,59 t/m
 - Tekanan uplift = 9,4 t/m²
4. Stabilitas terowongan pada batuan keras didapatkan nilai q_{batuan} vertikal = 23 t/m² lebih kecil dari q_{ijin} = 35,63 t/m², jadi terowongan aman.

Saran

1. Perhitungan debit rancangan sebaiknya menggunakan beberapa metode lain selain NAKAYASU contohnya metode GAMA I kemudian dibandingkan hasilnya.
2. Perlu investigasi geologi tambahan untuk mengetahui stabilitas dan daya dukung pondasi disepanjang terowongan pengelak.
3. Perencanaan terowongan disarankan menggunakan bentuk yang lain seperti tapal kuda, atau trapesium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim 2018. *Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [2] BR, Sri Harto. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [3] Chow, Ven Te, 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga.
- [4] Kamiana, 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [5] Kartasapoetra, A.G, 1991. *Teknologi Pengairan Pertanian Irigasi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- [6] Loebis, Joerson, 1984. *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- [7] Philips, H, B, & I, E, Allen, 1986. *Beegs Deformeter Stress Analysis of Single Barrel Conduits*. Colorado: United States Bureau of Reclamation.
- [8] Shahin, M.M.A. 1976. *Statistical Analysis in Hydrology, International Courses in Hydraulic and Sanitary Engineering*. Delft Netherlands.

- [9] Singh, Bhawani, & Rajnish, K, Goel, 2006. *Tunneling in weak rock*. Bangalore: Elsevier
- [10] SNI 2415, 2016. *Tata cara perhitungan debit banjir rencana*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [11] Soemarto, CD, 1987. *Hidrologi Teknik* Surabaya : Usaha Nasional.
- [12] Soemarto, CD, 1999. *Hidrologi Teknik (edisi: kedua)*. Jakarta: Erlangga.
- [13] Soedibyo, 2003. *Teknik Bendungan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [14] Soewarno, 1995. *Hidrologi Operasional Jilid Kesatu*. Bandung: PT. Aditya Bakti.
- [15] Sosrodarsono dan Takeda , 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.