

PERENCANAAN BENDUNG TETAP UNTUK JARINGAN IRIGASI BANDA MUSAJIK D.I GUMARANG KECAMATAN PELEMBAYAN KABUPATEN AGAM

DODI¹, MASRIL², ANA SUSANTI YUSMAN³

Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UM Sumatera Barat¹, Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UM Sumatera Barat^{2,3}

Email: angku766@gmail.com¹, mri16030@gmail.com², anasusanti.umsb@gmail.com³

Abstract: Banda Musajik, which is located in Jorong Alahan Anggang, Nagari Tigo Koto Silungkang, Agam Regency, West Sumatra Province, is one of the irrigation networks in D.I Gumarang, under the authority of the UPTD Balai SDA and BK North Sumatra Province. The service area is 30 ha, the water source comes from Batang alahan anggang. Weir planning is based on the design flood discharge with a return period of 100 years. The discharge plan uses 10 years of rainfall data. Rainfall stations that affect the Alahan Anggang watershed are Gumarang Station and Kampuang IV Station. The area's average rainfall was determined by the Thiessen Polygon method, the planned rain by the log normal method and the frequency analysis test using the chi square test. Maximum flood discharge (Q_{100}) 13.54 m³/s. The effective width of the dam is 11.42 m, one flush door is 0.80 m wide, one pillar is 0.50 m thick. The type of lighthouse is round with a radius of 0.80 m and a height of 1.52 m. The stilling pool is planned for the Vlugter type with the height of the weir, the length of the pool floor and the radius of the weir of 3.74 m. The length of the flood embankment from the weir to the upstream is 19 m with a height of 0.50 m from the flood water level. From the analysis of the forces acting on the body of the weir, the number of vertical forces (ΣRV) is 5,916 T, the number of horizontal forces (ΣRH) is 8,397 T, the number of holding moments (ΣMT) is 352,678 T.m, the number of overturning moments (ΣMG) is 344,87 T.m. stability of the weir body against overturning 1.31 1.3 , against shear 1.42 1.3, Eccentricity (e) 5.05 78.74 Maximum stress 1.90 78.74, minimum stress -0.36 78.7, the design of the weir body is safe against shearing, overturning, and the bearing capacity of the ground.

Key words : Hydrological analysis, Hydraulic design of weir, Weir stability.

Abstrak: Banda Musajik yang terletak di Jorong Alahan anggang, Nagari Tigo Koto Silungkang, Kabupaten agam, provinsi Sumatera barat, adalah salah satu Jaringan irigasi di D.I Gumarang, berada di bawah kewenangan UPTD Balai SDA dan BK provinsi Sumatera Barat wilayah utara. Luas layanannya 30 Ha, Sumber airnya berasal dari Batang alahan anggang. Perencanaan bendung didasarkan pada debit banjir rencana dengan periode ulang 100 tahun. Debit rencana menggunakan data curah hujan 10 tahun. Stasiun curah hujan yang memengaruhi DAS Alahan Anggang yaitu stasiun Gumarang dan Stasiun Kampuang IV. Hujan rata-rata wilayah ditentukan dengan metode Polygon Thiessen, hujan rencana dengan metode log normal serta pengujian analisis frekuensi dengan uji chi kuadrat. Debit banjir maksimum (Q_{100}) 13,54 m³/det. Lebar efektif bendung 11,42 m, satu pintu pembilas lebar 0,80 m, satu pilar tebal 0,50 m . Tipe mercu bulat dengan jari-jari 0,80 m dan tinggi 1,52 m. Kolam olak direncanakan tipe Vlugter dengan tinggi tubuh bendung , panjang lantai kolam dan jari-jari tubuh bendung 3,74 m. Panjang tanggul banjir dari bendung ke hulu sepanjang 19 m dengan setinggi 0,50 m dari muka air banjir. Dari analisis gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung didapatkan jumlah gaya Vertikal (ΣRV) 5,916 T, Jumlah gaya horizontal (ΣRH) 8,397 T, Jumlah momen tahan (ΣMT) 352,678 T.m, Jumlah momen Guling (ΣMG) 344,87 T.m. stabilitas tubuh bendung terhadap guling 1,31 \geq 1,3 , terhadap geser 1,42 \geq 1,3, Eksentrisitas (e) 5,05 \leq 78,74 Tegangan Maksimum 1,90 \leq 78,74, tegangan minimum -0,36 \leq 78,7, desain tubuh bendung aman terhadap geser,guling, dan daya dukung tanah.

Kata kunci : Analisa hidrologi, Desain hidrolis bendung , Stabilitas bendung.

A. Pendahuluan

Jaringan Irigasi Banda Musajik (BM) adalah salah satu jaringan irigasi di D.I Gumarang, terletak di jorong Alahan anggang, Nagari Tigo koto silungkang, Kecamatan Palembayan, Kabupaten Agam, luas areal layanannya 60 Ha, sumber air nya berasal dari sungai Batang Alahan Anggang, berada dibawah kewenangan UPTD Balai SDA Dan BK Wilayah Utara, Dinas SDA dan BK Provinsi

Sumatera Barat. Dari peninjauan penulis ke Daerah Irigasi Gumarang, jaringan banda Musajik inilah yang belum ada bendung, pengaturan air yang masuk dari sungai ke jaringan irigasi tidak bisa di kontrol sesuai kebutuhan, sedangkan jaringan irigasinya sudah termasuk jaringan irigasi semi teknis. Hal inilah salah satu penyebab kurangnya kinerja jaringan irigasi dan terganggunya fungsi layanan irigasi. Dari pentingnya fungsi bendung Banda Musajik tersebut, perlu direncanakan pembangunan bendung. Untuk pelaksanaan pembangunan bendung ini diperlukan perencanaan yang baik dan desain yang kuat.

B. Metodologi Penelitian

Data Penelitian

1. Jenis dan sumber data

Data primer yaitu data kondisi eksisting lokasi yang didapat dari hasil survey ke lokasi penelitian, data sekunder yaitu data curah hujan harian maksimum (St. Gumarang, St. Kampuang IV) selama 10 tahun yang diperoleh dari UPTD Balai SDA dan BK wilayah utara, Dinas SDA dan BK Provinsi Sumatera Barat.

2. Teknik pengumpulan data

Pengumpulan data atau bahan yang diperoleh dari buku-buku, jurnal, dan dan webside, Observasi yaitu dengan melakukan pengamatan langsung ke lokasi untuk mengetahui kondisi sebenarnya dilapangan.

3. Metode penelitian

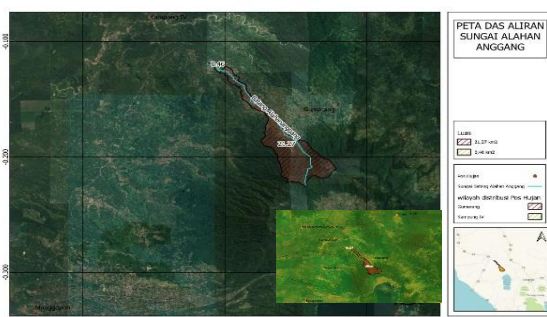
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif, studi untuk mengetahui debit banjir rencana sungai Batang Alahan anggung, desain hidrolis bendung, dan stabilitas bendung terhadap gaya yang timbul.

4. Metode analisis data

- Distribusi curah hujan wilayah menggunakan metode *Polygon Thiessen*.
- Perhitungan curah hujan rencana digunakan metode yang sesuaikan dengan karakteristik distribusi frekuensi, diantaranya distribusi normal, distribusi log normal, distribusi *Gumbel*, distribusi *log person III*
- Uji sebaran dengan metode chi kuadrat, Analisa debit banjir rencana dengan metode rasional, Penentuan tinggi air diatas mercu dengan rumus *Bonshu*, Penentuan intensitas hujan dengan rumus *monobe*, Penentuan panjang angka rembesan dengan metode *Bligh* dan Metode *Lane*

C. Hasil Dan Pembahasan

1. Analisa hidrologi



$$= 21,27/21,73 \times 100\% = 2,12$$

Luas pengaruh St. Gumarang

$$= 21,27 \text{ Km}^2 \text{ (Q.Gis)}$$

Luas pengaruh St. Kampuang IV

$$= 0,46 \text{ Km}^2 \text{ (Q.Gis)}$$

Luas DAS Batang alahan anggung

$$= 21,73 \text{ Km}^2 \text{ (Q.Gis)}$$

Bobot St. Gumarang

$$= 21,27/21,73 \times 100\% = 97,88 \%$$

Bobot St. Kampuang IV

Gambar 1 *Polygon thiesen* DAS

Tabel 1 Rekapitulasi curah hujan tahunan Maksimum

Tahun	St. Gumarang		Rata ² thiesen		St. Kumpang IV		Rata ² thiesen		Jumlah maksimum rata ²
	CH Maks	(%)			CH Maks	(%)			
2012	8		8 x 97,88 = 7,83	140,6	140,6 x 2,12 = 2,98	7,83 + 2,98 = 10,81			
2013	66		66 x 97,88 = 64,60	150	150 x 2,12 = 3,18	64,60 + 3,18 = 67,78			
2014	39		39 x 97,88 = 38,17	170	170 x 2,12 = 3,60	38,17 + 3,60 = 41,77			
2015	8		8 x 97,88 = 7,83	140	140 x 2,12 = 2,96	7,83 + 2,96 = 10,79			
2016	8	97,88	8 x 97,88 = 7,83	150	150 x 2,12 = 3,18	7,83 + 3,18 = 11,01			
2017	99		99 x 97,88 = 96,90	140	140 x 2,12 = 2,96	96,90 + 2,96 = 99,87			
2018	146		146 x 97,88 = 142,91	221	221 x 2,12 = 4,68	142,91 + 4,68 = 147,59			
2019	90		90 x 97,88 = 88,09	221	221 x 2,12 = 4,68	88,09 + 4,68 = 92,77			
2020	90		90 x 97,88 = 88,09	310	310 x 2,12 = 6,56	88,09 + 6,56 = 94,66			
2021	90		90 x 97,88 = 88,09	114	114 x 2,12 = 2,41	88,09 + 2,41 = 90,51			

Tabel 2 Parameter

statistik curah hujan maksimum

Tahun	X	X-Xr	(X-Xr) ²	(X-Xr) ³	(X-Xr) ⁴
2018	147,59	80,83	6.533,88	528.149,26	42.691.581,04
2017	99,87	33,11	1.096,45	36.306,36	1.202.200,76
2020	94,66	27,90	778,52	21.722,09	606.087,65
2019	92,77	26,02	676,93	17.612,27	458.233,90
2021	90,51	23,75	564,20	13.401,23	318.316,71
2014	67,78	1,02	1,05	1,07	1,09
2014	41,77	-24,98	624,11	-15.591,51	389.509,08
2016	11,01	-55,75	3.107,98	-173.267,66	9.659.545,37
2015	10,81	-55,95	3.130,21	-175.129,64	9.798.197,96
2012	10,79	-55,96	3.131,63	-175.248,94	9.807.098,51
Jumlah	667,55	0,00	19.644,94	77.954,53	74.930.772,08
rata ² (Xr)	66,76				

$$\text{Nilai standar deviasi (S)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X-Xr)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{19.644,94}{10-1}} = 46,72$$

$$\text{Koefesien skewness (Cs)} = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X-Xr)^3}{S^3} = \frac{\frac{10}{(10-1)(10-2)} \times 77.954,53}{46,72^3} = 0,11$$

$$\text{Pengukuran kurtosis (Ck)} = \frac{\frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X-Xr)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4}}{10^2 \times 74.930.772,08} = \frac{10^2 \times 74.930.772,08}{(10-1)(10-2)(10-3)46,72^4} = 3,12$$

Dari hasil parameter Cs dan Ck diatas yang paling mendekati adalah distribusi log normal.

Tabel 3 Nilai persamaan log normal

Tahun	log X	Log (X-Xr)	Log (X-Xr)	log (X-Xr) ³	log(X-Xr) ⁴
2018	2,17	0,51	0,26	0,13	0,07
2017	2,00	0,34	0,11	0,04	0,01
2020	1,98	0,31	0,10	0,03	0,01
2019	1,97	0,30	0,09	0,03	0,01
2021	1,96	0,29	0,09	0,03	0,01
2014	1,83	0,17	0,03	0,00	0,00
2014	1,62	-0,04	0,00	0,00	0,00
2016	1,04	-0,62	0,39	-0,24	0,15
2015	1,03	-0,63	0,40	-0,25	0,16
2012	1,03	-0,63	0,40	-0,25	0,16
Jumlah	16,63	0,00	1,86	-0,48	0,57
rata ² (Yr)	1,66				

$$\text{Periode ulang (bendung)} = 100 \text{ th}$$

$$Yr = 1,66$$

$$K_{100} = 2,33$$

$$S = \sqrt{\frac{\log \sum (X-Xr)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1,86}{10-1}} = 0,45$$

$$Y_T = \log X = Yr + K_T \cdot S$$

$$Y_T = \log X_{100} = 1,66 + 2,33 \times 0,45 = 2,72 \rightarrow X_{100} = 525,71 \text{ mm}$$

Uji sebaran chi kuadrat

$$\text{Jumlah data (n)} = 10$$

$$\text{Banyak parameter (R)} = 2 \text{ (untuk uji chi kuadrat)}$$

$$\text{Jumlah kelas (K)} = 1 + 3,22 \log n = 1 + 3,22 \log 10 = 4,22 \approx 4$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan (dk)} &= K - (R + 1) = 4 - (2 + 1) = 1 \\ \text{Jumlah pengamatan sub kelompok (Of)} &= n/K = 10/4 = 2,5 \\ \Delta X &= (X \text{ maks} - X \text{ min}) / (K-1) = (2,17 - 1,03) / (4-1) = 0,38 \\ \text{Xawal} &= X_{\text{min}} - 0,5 \Delta X = 1,03 - 0,5 \times 0,38 = 0,84 \\ 5\% \text{ nilai } X^2_{\text{cr}} (\alpha) &= 3,841 \end{aligned}$$

Tabel 4 Nilai uji chi kuadrat

No	Proabilitas	Jumlah data		Of-Ef	X ² (Of-Ef) ² /Ef
		Of	Ef		
1	0,84 < X < 1,22	2,5	3	-0,5	0,08
2	1,22 < X < 1,60	2,5	0	2,5	0
3	1,60 < X < 1,98	2,5	5	-2,5	1,25
4	1,98 < X < 2,36	2,5	2	0,5	0,125
Jumlah		10	10		1,5

Syarat : $X^2 < X^2_{\text{cr}} = 1,5 < 3,841 \rightarrow$ Hipotesa diterima.

Analisa debit banjir maksimum

Untuk menganalisa debit banjir maksimum dalam penelitian ini di pakai metode rasional dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas DAS batang alahan anggung} &= 21,73 \text{ Km}^2 \text{ (Q-Gis)} \\ \text{Koefesien limpasan (C)} &= 0,75 \text{ (tabel 2.8)} \\ \text{Elevasi sungai 2 Km hulu} &= +751,13 \text{ Mdpl (Q-Gis)} \\ \text{Elevasi titik pengamatan} &= + 611,29 \text{ Mdpl (Q-Gis)} \\ \text{Beda tinggi (} \Delta H \text{)} &= 139,84 \text{ M} \\ \text{Kemiringan rata-rata (S)} &= \frac{\Delta H}{L} = \frac{139,84}{2000} = 0,07 \\ \text{Kecepatan aliran (V)} &= 20 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0,6} = 20 \left(\frac{139,84}{2000} \right)^{0,6} = 4,20 \text{ m/dt} \\ \text{Lamanya hujan (T)} &= L/V = 2000 / 4,20 = 476,19 \text{ dt} \\ \text{Intensitas hujan (I)} &= R_{24} \frac{0,347}{T^{2/3}} = 525,71 \times \frac{0,347}{476,19^{2/3}} = 2,99 \text{ mm/dt} \\ \text{Debit banjir 100 tahun (} Q_{100} \text{)} &= 0,2778 \times C \times I \times A \\ &= 0,2778 \times 0,75 \times 2,99 \times 21,73 = 13,54 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

2. Perencanaan hidrolis bendung

Tinggi air sebelum ada bendung

$$\begin{aligned} \text{Debit rencana (} Q_{100} \text{)} &= 13,54 \text{ m}^3/\text{dt} \\ \text{Lebar sungai (b)} &= 13 \text{ m} \\ \text{Kemiringan talut (m)} &= 1 \\ \text{Koefesien meaning (n)} &= 0,04 \text{ (tanah berbatu kasar dan tidak teratur)} \\ \text{Kemiringan sungai (i)} &= 0,07 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan coba-coba didapat harga $h = 0,38 \text{ m}$

$$\begin{aligned} A &= (b + m \cdot h)h = (13 + 1 \times 0,38) \times 0,55 = 5,03 \text{ m}^2 \\ P &= b + 2h\sqrt{m^2 + 1} = 13 + 2 \times 0,38\sqrt{1^2 + 1} = 19,45 \text{ m} \\ R &= A/P = 5,03 / 19,45 = 0,26 \text{ m} \\ V &= \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot i^{1/2} = \frac{1}{0,040} \times 0,26^{2/3} \times 0,070^{1/2} = 2,68 \text{ m}^2/\text{dt} \\ Q &= A \cdot V = 5,03 \times 2,68 = 13,50 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Elevasi mercu bendung

$$\begin{aligned} \text{Elevasi sawah tertinggi} &= +611,01 \text{ mdpl} \\ \text{Kedalaman air di sawah} &= 0,15 \text{ m} \\ \text{HTT energi di saluran dan boks tersier} &= 0,15 \text{ m} \\ \text{HTT energi di bangunan sadap tersier} &= 0,20 \text{ m} \\ \text{HTT eksploitasi} &= 0,20 \text{ m} \\ \text{Panjang dan kemiringan saluran primer} &= 0,14 \text{ m} \\ \text{HTT bangunan ukur di jaringan primer} &= 0,45 \text{ m} \\ \text{HTT energi dipintu pengambilan saluran} &= 0,15 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang dan kemiringan kantong lumpur = 0,06 m
 HTT di pintu pengambilan utama = 0,15 m
 Tinggi cadangan untuk mercu = $\underline{0,15 \text{ m}}$
 Elevasi mercu bendung = +612,81 mdpl
 Elevasi dasar sungai = $\underline{+611,29 \text{ mdpl}}$ -
 Tinggi mercu (P) = **1,52 m**

Lebar efektif bendung

Lebar sungai (L) = 13 m
 Lebar pintu pembilas + pilar = $1/10 \cdot B = 1/10 \cdot 13 = 1,3 \text{ m}$
 Lebar pintu pembilas (b) = $60\% \cdot 1,3 = 0,78 \text{ m} \approx 0,80 \text{ m}$
 Lebar pilar (t) = $1,3 - 0,78 = 0,52 \text{ m} \approx 0,50 \text{ m}$
 Lebar mercu sebenarnya (B) = $13 - 0,8 - 0,5 = 11,7 \text{ m}$
 Kp (pilar ujung bulat) = 0,01
 Ka (pangkal segi empat 90⁰) = 0,2
 Lebar efektif bendung (Be) = $B - 2 (nKp + Ka) He$
 = $11,7 - 2 (1 \times 0,01 + 0,2) He$
 = $11,7 - 0,42 \cdot He$

Tinggi air diatas mercu mercu.

Debit rencana (Q) = 13,54 m³/dt
 Lebar Bendung (Be) = $11,7 - 0,42 \cdot He$
 Koefisien debit (Cd) = 1,3
 Grafitasi (g) = 9,81 m/dt²

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot Be \cdot He^{1,5}$$

$$13,54 = 1,3 \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot 9,81} \cdot (11,7 - 0,42 \cdot He) \cdot He^{1,5}$$

Dengan cara coba-coba diperoleh nilai He = 0,66 m

Lebar efektif Mercu (Be) = $11,7 - (0,42 \times 0,66) = 11,42 \text{ m}$
 Jari jari mercu (R) = $0,7 \cdot H = 0,7 \times 0,66 = 0,46 \text{ m}$
 Elevasi muka air diatas mercu = $612,81 + 0,66 = + 613,47 \text{ mdpl}$

Panjang pengaruh pembendungan

Tinggi muka air banjir di atas mercu (Hw) = 0,66 m
 Kemiringan rata-rata sungai (i) = 0,070
 Tinggi banjir sebelum ada bendung (a) = 0,38 m
 (Hw/a) = $0,66/0,38 = 1,73 > 1$
 Panjang pengaruh pembendungan (L) = $\frac{2hw}{i} = \frac{2 \times 0,66}{0,070} = 18,86 \text{ m}$

Tinggi air di hilir bendung

Debit rencana (Q₁₀₀) = 13,54 m³/dt
 Lebar sungai (b) = 13 m
 Kemiringan talut (m) = 1
 Koefisien meaning (n) = 0,04(tanah berbatu kasar dan tidak teratur)
 Kemiringan sungai (i) = 0,07

Dengan perhitungan coba-coba didapat harga h = 0,38 m

$A = (b + m \cdot h)h = (13 + 1 \times 0,38) \times 0,55 = 5,03 \text{ m}^2$
 $P = b + 2h\sqrt{m^2 + 1} = 13 + 2 \times 0,38\sqrt{1^2 + 1} = 19,45 \text{ m}$
 $R = A/P = 5,03 / 19,45 = 0,26 \text{ m}$
 $V = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot i^{1/2} = \frac{1}{0,040} \times 0,26^{2/3} \times 0,070^{1/2} = 2,68 \text{ m}^2/\text{dt}$
 $Q = A \cdot V = 5,03 \times 2,68 = 13,50 \text{ m}^3/\text{dt}$
 Elevasi dasar sungai di hilir bendung = +611,29 Mdpl
 Elevasi muka air di hilir bendung = + 611,29 + 0,38 = +611,67 mdpl

Kolam olak *vlugter*

Elevasi muka air di atas mercu = + 613,47 mdpl
 Elevasi muka air di hilir bendung = +611,67 mdpl
 Elevasi air hulu bendung – elevasi air di hilir (Z)
 = 613,47 - 611,46 = 1,8 m
 Tinggi air kritis (Hc) = $\frac{2}{3} \times H_e = \frac{2}{3} \times 0,66 = 0,44$ m
 Z/Hc = $\frac{1,8}{0,44} = 4,09$ m
 $2 < 4,09 \leq 15$, sehingga
 Tinggi air diakhir kolam (t) = 3Hc + 0,1Z
 = 3 x 0,44 + 0,1 x 1,8 = 1,5 m
 Tinggi tanggul pembatas kolam (a) = $0,38 \cdot Hc \sqrt{\frac{hc}{z}} = 0,38 \times 0,44 \sqrt{\frac{0,44}{1,8}} = 0,08$ m
 Lebar tanggul pembatas kolam = 2.a = 2 x 0,20 = 0,40 m
 Ukuran tinggi tubuh bendung (D), jari jari tubuh bendung (R), dan panjang rantai kolam olak (L) adalah sama, yaitu: Z + t – Hc = 1,8 + 1,5 – 0,44 = 3,74 m
 Elevasi lantai kolam olak = elevasi mercu – D
 = +612,81 – 3,74 = +609,07 mdp

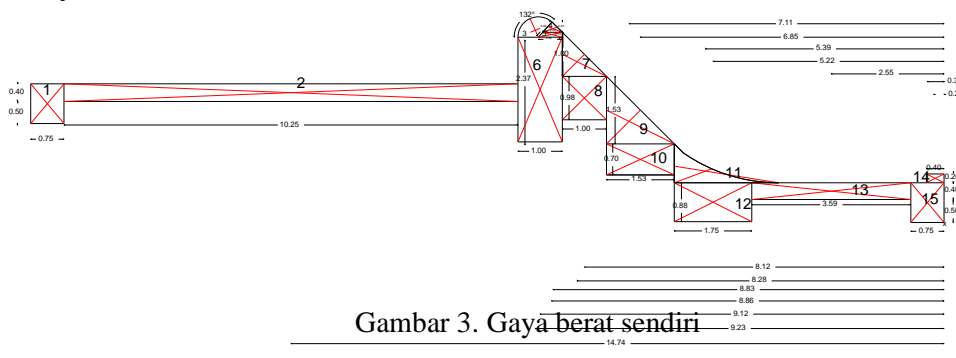
Panjang rantai muka

Elevasi muka air di hulu = +613,47 mdpl
 Elevasi muka air di hilir = +609,07 + 1,5 = +610,57 mdpl
 Beda energi (ΔH) = 613,47 - 610,57 = 2,9 m
 Panjang Horizontal (ΣL_H) = 1 + 1 + 1,53 + 1,75 + 3,59 + 0,75 = 9,62 m
 Panjang vertical (ΣL_V) = 1,31 + 0,50 + 1,25 + 1,06 + 0,50 + 0,50 + 0,50 + 0,40 = 6,02 m

- a) Teori *Bligh*
 Creep ratio(C) = 9
 Panjang *creep line* (Lc) = C x ΔH = 9 x 2,9 = 26,1 m
 Panjang rantai muka (Lm) = Lc - Σ L_v - Σ L_H = 26,1 - 6,02 - 9,62 = 10,46 m
- b) Teori *lane*
 Creep ratio(C) = 3,0 (Tabel 2.11)
 Panjang *creep line* (Lc) = C x ΔH = 3 x 2,9 = 8,7 m
 Panjang rantai muka (Lm) = Lc - Σ L_v - $\frac{1}{3} \times \Sigma L_H$
 = 8,7 - 6,02 - $\frac{1}{3} \times 9,62 = 0,53$ m

Perhitungan rantai depan diambil dari teori *Bligh* yaitu 10,46 m ≈ 11

**3. Gaya gaya yang bekerja pada bendung
 Gaya berat sendiri**

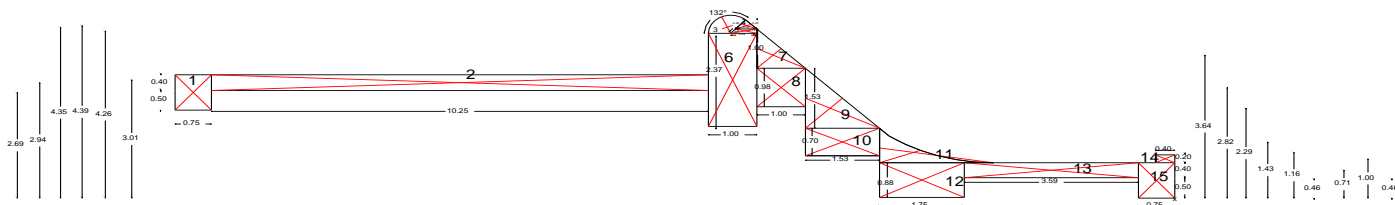


Gambar 3. Gaya berat sendiri

Tabel 5. Perhitungan gaya berat sendiri

No Pias	Volume (m ³)	Gaya Berat (Ton) Vertikal	Lengan (m)	Momen Tahan (T.m)
1	0,75 x 0,90 = 0,68	0,68 x 2,2 = -1,485	20,24	-1,485 x 20,24 = -30,056
2	10,25 x 0,40 = 4,10	4,10 x 2,2 = -9,020	14,74	-9,020 x 14,74 = -132,955
3	3,14 x 0,64 ² x (132/360) = 0,47	0,47 x 2,2 = -1,034	9,28	-1,034 x 9,28 = -9,596
4	0,5 x 0,44 x 0,23 = 0,05	0,05 x 2,2 = -0,111	8,83	-0,111 x 8,83 = -0,983
5	(0,5 x (0,54 + 0,44)) x 0,10 = 0,05	0,05 x 2,2 = -0,108	8,86	-0,108 x 8,86 = -0,955
6	1,00 x 2,37 = 2,37	2,37 x 2,2 = -5,214	9,12	-5,214 x 9,12 = -47,552
7	1,00 x 1,00 = 1,00	1,00 x 2,2 = -2,200	8,28	-2,200 x 8,28 = -18,216
8	1,00 x 0,98 = 0,98	0,98 x 2,2 = -2,156	8,12	-2,156 x 8,12 = -17,507
9	1,53 x 1,48 = 2,26	2,26 x 2,2 = -4,982	7,11	-4,982 x 7,11 = -35,420
10	1,53 x 0,70 = 1,07	1,07 x 2,2 = -2,356	6,85	-2,356 x 6,85 = -16,140
11	(CAD) = 0,63	0,63 x 2,2 = -1,386	5,39	-1,386 x 5,39 = -7,471
12	1,75 x 0,88 = 1,54	1,54 x 2,2 = -3,388	5,22	-3,388 x 5,22 = -17,685
13	3,59 x 0,40 = 1,44	1,44 x 2,2 = -3,159	2,55	-3,159 x 2,55 = -8,056
14	0,40 x 0,20 = 0,08	0,08 x 2,2 = -0,176	0,20	-0,176 x 0,20 = -0,035
15	0,75 x 0,90 = 0,68	0,68 x 2,2 = -1,485	0,38	-1,485 x 0,38 = -0,564
Jumlah		-36,775		-343,190

Gaya Gempa



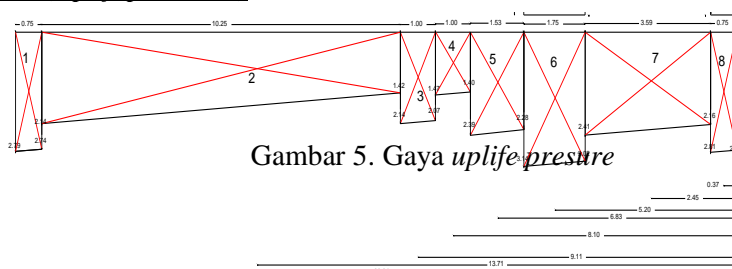
Gambar 4 Gaya gempa

- Zona seismic (Z) = 1,56
- Periode ulang = 100 tahun
- Percepatan dasar gempa (ac) = 160 cm/dt²
- Koefisien jenis tanah = Batu
- Koefisien jenis tanah = n = 2,7. m = 0,71
- Percepatan gempa rencana (ad) = $n(ac.Z)^m = 2,76 (160 \times 1,56)^{0,71} = 138,98 \text{ cm/dt}^2$
- Koefisien gempa (E) = ad/g = 138,98 / 981 = 0,14
- Gaya Gempa (G') = E x G
- Momen guling (MG) = G' x L

Tabel 6. Perhitungan gaya gempa

No Pias	Massa (Ton)	Gaya Gempa (Ton) Horizontal	Lengan (m)	Momen Tahan (T.m)
1	1,485	1,485 x 0,14 = 0,208	2,69	0,208 x 2,69 = 0,559
2	9,020	9,020 x 0,14 = 1,263	2,94	1,263 x 2,94 = 3,713
3	1,034	1,034 x 0,14 = 0,145	4,46	0,145 x 4,46 = 0,646
4	0,111	0,111 x 0,14 = 0,016	4,39	0,016 x 4,39 = 0,068
5	0,108	0,108 x 0,14 = 0,015	4,26	0,015 x 4,26 = 0,064
6	5,214	5,214 x 0,14 = 0,730	3,01	0,730 x 3,01 = 2,197
7	2,200	2,200 x 0,14 = 0,308	3,64	0,308 x 3,64 = 1,121
8	2,156	2,156 x 0,14 = 0,302	2,82	0,302 x 2,82 = 0,851
9	4,982	4,982 x 0,14 = 0,697	2,29	0,697 x 2,29 = 1,597
10	2,356	2,356 x 0,14 = 0,330	1,43	0,330 x 1,43 = 0,472
11	1,386	1,386 x 0,14 = 0,194	1,16	0,194 x 1,16 = 0,225
12	3,388	3,388 x 0,14 = 0,474	0,46	0,474 x 0,46 = 0,218
13	3,159	3,159 x 0,14 = 0,442	0,71	0,442 x 0,71 = 0,314
14	0,176	0,176 x 0,14 = 0,025	1,00	0,025 x 1,00 = 0,025
15	1,485	1,485 x 0,14 = 0,208	0,46	0,208 x 0,46 = 0,096
Jumlah		5,356		12,166

Gaya angkat air (uplift pressure)



Gambar 5. Gaya uplift pressure

Beda tinggi air (ΔH) = 613,47 – 610,57 = 2,9 m

Panjang rembesan (Lx) = $L_v + \frac{1}{3} L_h$

$$\text{Tekanan air pada titik x (Px)} = Hx - \frac{Lx}{L} \times \Delta H$$

$$\text{Panjang rembesan (Lx)} = Lv + \frac{1}{3} Lh$$

$$\text{Tekanan air pada titik x (Px)} = Hx - \frac{Lx}{L} \times \Delta H$$

$$\text{Gaya angkat (Ux)} = \text{luas pias} \times Y_{\text{air}}$$

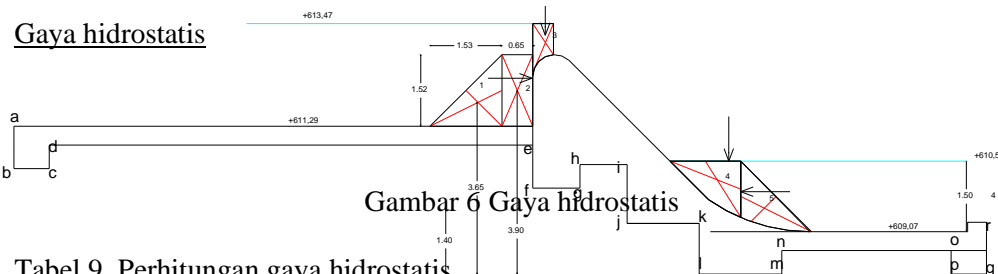
$$\text{Momen guling (MG)} = Ux \cdot \text{Panjang lengan}$$

Tabel 7 Perhitungan rembesan dan tekanan

Titik x	Lv	Lh	1/3 Lh	Lv + 1/3 Lh	Lx	L	Lx/L	ΔH	Hx	Hx - Lx/L x ΔH = Px
b	0,90		0,00	0,90 + 0,00 = 0,90	0,90		0,06		2,98	2,98 - 0,06 x 2,90 = 2,79
c		0,75	0,25	0,00 + 0,25 = 0,25	1,15		0,08		2,98	2,98 - 0,08 x 2,90 = 2,74
d	0,50		0,00	0,50 + 0,00 = 0,50	1,65		0,12		2,48	2,48 - 0,12 x 2,90 = 2,14
e		10,25	3,42	0,00 + 3,42 = 3,42	5,07		0,36		2,48	2,48 - 0,36 x 2,90 = 1,42
f	0,91		0,00	0,91 + 0,00 = 0,91	5,98		0,43		3,39	3,39 - 0,43 x 2,90 = 2,14
g		1,00	0,33	0,00 + 0,33 = 0,33	6,31		0,45		3,39	3,39 - 0,45 x 2,90 = 2,07
h	0,50		0,00	0,50 + 0,00 = 0,50	6,81		0,49		2,89	2,89 - 0,49 x 2,90 = 1,47
i		1,00	0,33	0,00 + 0,33 = 0,33	7,14		0,51		2,89	2,89 - 0,51 x 2,90 = 1,40
j	1,25		0,00	1,25 + 0,00 = 1,25	8,39	13,91	0,60	2,90	4,14	4,14 - 0,60 x 2,90 = 2,39
k		1,53	0,51	0,00 + 0,51 = 0,51	8,90		0,64		4,14	4,14 - 0,64 x 2,90 = 2,28
l	1,08		0,00	1,08 + 0,00 = 1,08	9,98		0,72		5,22	5,22 - 0,72 x 2,90 = 3,14
m		1,75	0,58	0,00 + 0,58 = 0,58	10,57		0,76		5,22	5,22 - 0,76 x 2,90 = 3,02
n	0,50		0,00	0,50 + 0,00 = 0,50	11,07		0,80		4,72	4,72 - 0,80 x 2,90 = 2,41
o		3,59	1,20	0,00 + 1,20 = 1,20	12,26		0,88		4,72	4,72 - 0,88 x 2,90 = 2,16
p	0,50		0,00	0,50 + 0,00 = 0,50	12,76		0,92		5,47	5,47 - 0,92 x 2,90 = 2,81
q		0,75	0,25	0,00 + 0,25 = 0,25	13,01		0,94		5,47	5,47 - 0,94 x 2,90 = 2,76
r	0,90		0,00	0,90 + 0,00 = 0,90	13,91		1,00		6,37	6,37 - 1,00 x 2,90 = 3,47

Tabel 8. Perhitungan gaya angkat dan momen

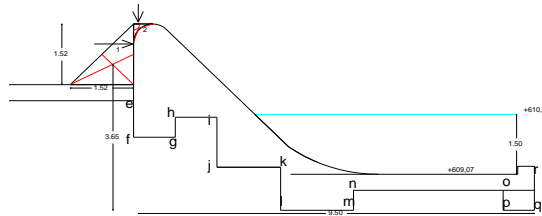
No Pias	Luas m ²	Yair (ton/m ³)	Gaya angkat (U) Luas x Y _{air} (Ton)	Lengan (m)	M.T (T.m) U x L
U ₁	2,74 + 2,14 x 0,75 = 1,83	1,00	1,83 x 1,00 = 1,83	20,24	1,83 x 20,24 = 37,01
U ₂	1,42 + 2,14 x 10,25 = 18,29		18,29 x 1,00 = 18,29	13,71	18,29 x 13,71 = 250,72
U ₃	2,07 + 1,47 x 1,00 = 1,77		1,77 x 1,00 = 1,77	9,11	1,77 x 9,11 = 16,15
U ₄	1,40 + 2,39 x 1,00 = 1,90		1,90 x 1,00 = 1,90	8,1	1,90 x 8,1 = 15,36
U ₅	2,28 + 3,14 x 1,53 = 4,15		4,15 x 1,00 = 4,15	6,84	4,15 x 6,84 = 28,38
U ₆	3,02 + 2,41 x 1,75 = 4,75		4,75 x 1,00 = 4,75	5,2	4,75 x 5,2 = 24,71
U ₇	2,16 + 2,81 x 3,59 = 8,93		8,93 x 1,00 = 8,93	2,45	8,93 x 2,45 = 21,87
U ₈	2,76 + 3,47 x 0,75 = 2,34		2,34 x 1,00 = 2,34	0,37	2,34 x 0,37 = 0,86
Jumlah				23,78	319,23



Tabel 9. Perhitungan gaya hidrostatik

No Pias	luas m ²	Yair (ton/m ³)	Gaya Hidrostatik = Luas x Yw (Ton)		Lengan (m)	Momen = Gaya x Lengan (T.m)	
			Vertikal	Horizontal		Guling	Tahan
1	1,52 x 1,53 = 1,16	1,00		1,16 x 1,00 = 1,16	3,65	1,16 x 3,65 = 4,24	
2	1,52 x 0,65 = 0,99			0,99 x 1,00 = 0,99	3,9	0,99 x 3,90 = 3,85	
3	CAD = 0,34		0,34 x -1,00 = -0,34		9,35		-0,34 x 9,35 = -3,18
4	CAD = 1,03		1,03 x -1,00 = -1,03		5,71		-1,03 x 5,71 = -5,88
5	CAD = 0,95		0,95 x -1,00 = -0,95		1,4	-0,95 x 1,40 = -1,33	
Jumlah			-1,37	1,20		6,77	-9,06

Gaya tekanan Lumpur



Gambar 7. Gaya tekanan lumpur

Kedalaman lumpur (H) = tinggi bendung = 1,52 m
 Sudut geser dalam (Θ) = 0
 Berat jenis lumpur Y_s) = 1,6 Ton/ m³

Tabel 10. Perhitungan gaya tekanan lumpur

	Pias 1	Pias 2
Luas	$1/2 \times 1,52 \times 1,52 = 1,15 \text{ m}^2$	$0,047 \text{ m}^2$ (CAD)
tekanan lumpur (Ps)	$Y_s \times \text{luas}[(1-\sin\theta)/(1+\sin\theta)]$ $1,6 \times 1,15[(1-\sin 0)/(1+\sin 0)]$ $1,84 \times 1 = 1,84 \text{ Ton (Horizontal)}$	$Y_s \times \text{luas}[(1-\sin\theta)/(1+\sin\theta)]$ $1,6 \times 0,047[(1-\sin 0)/(1+\sin 0)]$ $0,07 \times 1 = -0,07 \text{ Ton (vertikal)}$
Momen	$MG = P_s \times L$ $1,84 \times 3,65 = 6,70 \text{ T.m}$	$MG = P_s \times L$ $-0,07 \times 9,50 = -0,66 \text{ T.m}$

Tabel 11. Rekapitulasi gaya yang bekerja pada bendung

No	Gaya	Horizontal	vertikal	MG	MT
1	Gerat sendiri	-	-38,260	-	-343,190
2	Gempa	5,356	-	12,166	-
3	Uplift pressure	-	23,78	319,23	
4	Hidrostatik	1,20	-1,37	6,77	-9,06
5	Tekanan lumpur	1,84	-0,07	6,70	-0,66
	Jumlah	8,397	-15,916	344,87	-352,678

4. Kontrol stabilitas bendung Terhadap guling

$$\text{Syarat } Sf = \frac{\sum MT}{\sum MG} > 1,3 = \frac{352,678}{344,87} > 1,3 = 1,31 > 1,3 \text{ ----} \rightarrow \text{aman}$$

Terhadap Geser

$$\text{Koefesien gesekan pasangan batu} = 0,75$$

$$\text{Syarat } Sf = f \cdot \frac{\sum RV}{\sum RH} \geq 1,3 = 0,75 \cdot \frac{15,916}{8,397} > 1,3 = 1,42 > 1,3 \text{ ----} \rightarrow \text{aman}$$

Kontrol terhadap daya dukung tanah

$$\text{Panjang telapak pondasi (B)} = 20,62 \text{ m}$$

$$\text{Tegangan izin tanah (} \sigma_{izin} \text{)} = 8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (batu pasir)} = 78,74 \text{ Ton/ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Eksentrisitas (e)} &= \frac{B}{2} \cdot \frac{MT-MG}{\sum RV} \leq \frac{B}{6} \\ &= \frac{20,62}{2} \times \frac{352,678 - 344,87}{15,916} \leq \frac{20,62}{6} \\ &= 10,31 \times 0,49 \leq 78,74 = 5,05 \leq 78,74 \text{ --} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan maksimum, minimum (} \sigma_{1,2} \text{)} = \frac{\sum RV}{B} \cdot \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq \sigma_{izin}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Maksimum} &= \frac{15,916}{20,62} \times \left(1 + \frac{6(5,05)}{20,62} \right) \leq 78,74 \\ &= 0,77 \times (1 + 1,47) \leq 78,74 = 1,90 \leq 78,74 \rightarrow \text{aman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan minimum} &= \frac{15,916}{20,62} x \left(1 - \frac{6(5,05)}{18,43}\right) \leq 78,74 \\ &= 0,77x(1 - 1,47) \leq 78,74 = -0,36 \leq 78,74 \rightarrow \text{aman} \end{aligned}$$

D. Penutup

- a. Berdasarkan analisa hidrologi untuk debit maksimum rencana sungai batang Alahan anggung kala ulang 100 tahun adalah 13,54 m³/dt
- b. Berdasarkan debit maksimal tersebut maka didapat perencanaan hidrolis bendung Banda Musajik sebagai berikut:
Elevasi dasar sungai + 611,29 mdpl, Tinggi puncak mercu dari dasar sungai 1,52 m pada elevasi +612,81 mdpl, Lebar efektif bendung 11,42 m, lebar pintu pembilas 0,80 m, tebal pilar 0,50 m, Tinggi air di atas mercu 0,66 meter pada elevasi +613,47 mdpl, Jari-jari mercu 0,46 m, Panjang pengaruh pembendungan 18,86 m, tanggul banjir direncanakan 19 m setinggi 0,5 meter dari muka air banjir pada elevasi +613,97 mdpl. Kolam olak tipe *Vlugter* dengan tinggi tubuh bendung, jari- jari tubuh bendung, dan panjang lantai kolam olak 3,74 m. Elevasi lantai kolam olak +609,07 mdpl, Panjang lantai muka 11 m
- c. Hasil perhitungan Jumlah gaya dan momen yang bekerja pada tubuh bendung adalah:
 - 1) Jumlah gaya Vertikal ($\sum RV$) = -15,916 ton
 - 2) Jumlah gaya horizontal ($\sum RH$) = 8,397 ton
 - 3) Jumlah momen guling ($\sum MG$) = 344,87 ton
 - 4) Jumlah momen tahan ($\sum MT$) = 352,678 ton
- d. Hasil perhitungan kontrol stabilitas bendung adalah sebagai berikut:
 - 1) Stabilitas guling = 1,31 \geq 1,3 (aman)
 - 2) Stabilitas geser = 1,42 \geq 1,3 (aman)
 - 3) Eksentrias = 5,05 \leq 3,44
 - 4) σ_{izin} = 4 kg/cm² = 39,36 Ton/ m²
 - 5) Daya dukung tanah = σ_{maks} = 1,90 \leq 39,36 (aman)
= σ_{min} = -0,36 \leq 39,36 (aman)

Daftar Pustaka

- Akbar, M. A. (2019). *Skripsi Perencanaan Bendung Bajo Provinsi Sulawesi Selatan*. Diambil kembali dari <https://www.google.com/search?q=perencanaan+bendung+bajo&oq=perencanaan+bendung+bajo&aqs=chrome..69i57.12238j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Ana Susanti, Y. (2018, Juni). Curah Hujan dan Analisa Frekuensi Banjir Kota Padang. *UNES Journal of Scientech Research*, 3, 60. Dipetik Mei 2, 2022, dari <https://ojs.ekasakti.org/index.php/UJSR/article/view/273>
- Dhongu, R. B. (2014). *Skripsi Perencanaan Bendung Wai Woki Dan Sistem Jaringan Irigasi Desa Pape Kecamatan Bajawa Kabupaten Ngada*. Diambil kembali dari <http://eprints.itn.ac.id/2237/1/SKRIPSI.pdf>
- Erik Thomas Manahan, H. R. (2015). *Perencanaan Bendung Tetap Untuk Jaringan Irigasi Gemarang Kecamatan Kedulangalar Kabupaten Ngawi*. Diambil kembali dari <https://www.google.com/search?q=erik+thomas+manahan&oq=erik+thomas+manahan&aqs=chrome..69i57.7996j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Faizan, L. M. (2020). *Skripsi Perencanaan Bendung Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Baku Pada Dusun Batu layar Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat*. Diambil kembali dari <https://repository.ummat.ac.id/1019/1/1.%20Cover%20-%20Bab%20III.pdf>
- Lampiran A Contoh Perhitungan Hidrologi Dan Hidrolika Kapasitas kolam Retensi dan Pompa. (2018). Diambil kembali dari bpsdm.pu.go.id:https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/02/d0463_Lampiran_Modul.pdf
- Masril. (2020, April 1). Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara Campuran Agregat Kasar Batu Pecah Dengan Agregat Kasar Batu Alam Payakumbuh Untuk Beton Struktur. *Ensiklopedia of Journal*, 124.

- Teguh Dwimena, T.H. (2008). *Perencanaan bendung Sapon di Sungai Progo kabu paten Kulon Progo Yogyakarta*. Diambil kembali dari https://node2.123dok.com/dt03pdf/123dok/001/252/1252413.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20220602%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20220602T082232Z&X-Amz-SignedHeaders=host
- Vicky Richard Mangore, d. (2013, Juni). Perencanaan Bendung Untuk Daerah Irigasi Sulu . *Jurnal Sipil Statik* , I No 7, 236. Diambil kembali dari https://media.neliti.com/media/publications/129975-ID-perencanaan_bendung-untuk-daerah-irigasi.pdf
- Widago, H. (2008). *BAB VII Perencanaan Bendung*. Diambil kembali dari http://eprints.undip.ac.id/34076/10/1923_CHAPTER_VII.pdf