

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Bendung Nangger

Daerah Irigasi Nangger terletak di Kali Deluwang Desa Gunung Malang Kecamatan Suboh Kabupaten Situbondo, dengan luas 2.382 ha. DI Nangger dikelola oleh Dinas Sumberdaya Air (SDA) Provinsi Jawa Timur.

Bangunan utama DI Nangger adalah bendung yang dibangun sejak tahun 1973. Bagian dari bendung Nangger adalah tubuh bendung, kolam olakan, intake di sebelah kiri, dan pintu penguras.

Bendung nangger mempunyai lebar 76,40 m, dengan 1 pilar yang membagi mercu bendung menjadi 2 bagian, di sebelah kiri lebar 30 m dengan kemiringan hulu dan hilir 1 : 1, dan di sebelah kanan lebar 40 meter dengan kemiringan hulu 1 : 1 dan kemiringan hilir 1 : 0,20 dan dengan 1 pintu penguras dengan lebar 2,50 m. Bentuk mercu bendung Nangger adalah mercu bulat. Elevasi tanggul +139,09 m dan elevasi mercu bendung +134,89 m maka tinggi tanggul 4,20 m

Diagram illustrating the cross-section of a bridge deck with two piers. The total width of the bridge deck is 76.8 m. The distance between the centerlines of the piers is 72.8 m. The left pier is 2.0 m wide, and the right pier is 2.0 m wide. The deck is 138.29 m high. The water level is at EL1 = EL2 = 134.09. The bottom of the bridge is at EL3 = 127.09. The bridge is supported by two piers, each 0.8 m wide. The bridge is shown in a cross-section view.

Adapun hasil Inventarisasi bangunan di bendung Nangger adalah sebagai berikut:

- Pada hulu tubuh bendung terdapat tumpukan pasir dan batu yang sementara menahan sedimentasi dan debit air sungai Deluwang.



Gambar 10 Tubuh Bendung (Hulu)

(Sumber : Penulis)

b. Kondisi hilir bendung

- Pada hilir tubuh bendung terdapat tumpukan agregat batuan diameter \pm 0.2- 0.5 meter yang sementara menahan sedimentasi dan debit air sungai Deluwang.
- Pada sayap bendung sebelah kanan pondasi mengalami kerusakan (sebagian hilang) keropos tergerus air.



Gambar 11 Tubuh Bendung (Hilir)

(Sumber : Penulis)

c. Tubuh bendung

- Bangunan bendung (pelimpah) sebagian pasangan batu ada yang lepas.



Gambar 12 Tubuh Bendung

(Sumber : Penulis)

d. Kolam Olakan

- Bangunan kolam olak rusak dan hilang hingga tidak terlihat sama sekali.
dan pondasi bendung tersingkap dan beberapa tempat berlubang.





PRO PATRIA
Gambar 13 Kolam Olakan
(Sumber : Penulis)

b. Pintu Intake

- Pintu intake masih berfungsi dengan baik tetapi ada 1 daun pintu intake yang rusak dan masih terbuat dari kayu.



Gambar 14 Pintu Intake

(Sumber : Penulis)

c. Pintu Penguras

- Daun pintu pintu penguras masih terbuat dari kayu yang mengalami kerusakan.



Gambar 15 Pintu Penguras

(Sumber : Penulis)

3.2 Data Studi

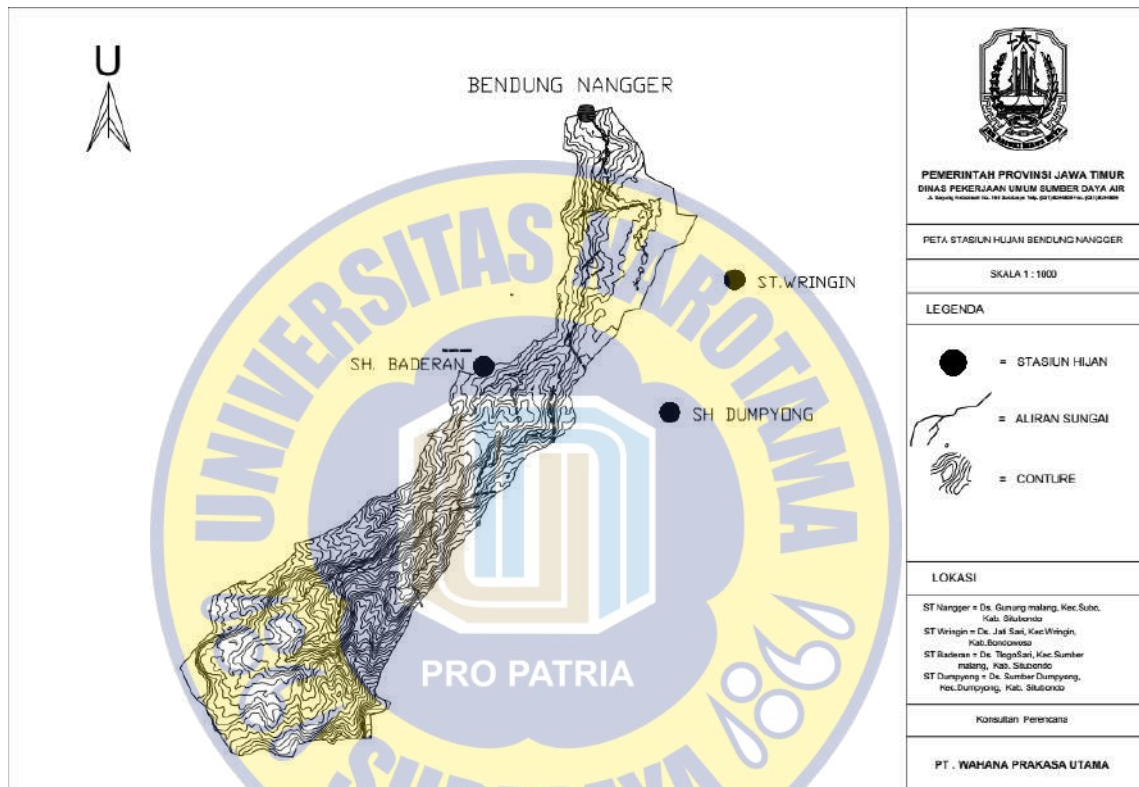
Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan dua sumber utama, yaitu data primer dan data sekunder, yang digunakan untuk menganalisis kondisi hidrolis bendung, kedalaman gerusan, dan teknik penanggulangan yang efektif. Data primer berupa data hasil survei investigasi langsung di lapangan seperti yang diuraikan pada sub bab 4.1. Data sekunder berupa data hidrologi, topografi dan data penyelidikan mekanika tanah. Data tersebut didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Sumberdaya Air (PU SDA) Provinsi Jawa Timur.

Dalam studi ini tidak dilakukan analisa hidrologi. input hidrologi dalam stidi ini didasarkan dari Studi Rehabilitasi Bendung Nangger di Kabupaten Situbondo dan Bendung Arjasa di Kabupaten Bondowoso oleh PT. Wahana Prakarsa Utama Cabang Jawa Timur, PU SDA Provinsi Jawa Timur tahun 2020. Dengan hasil-hasil kajian sebagai berikut :

- Luas catchment area Bendung Nangger adalah 79,82 Km² Peta catchment area dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.:
- Hasil analisa debit banjir rencana:
 - $Q_{100} = 428 \text{ m}^3/\text{detik}$

- $Q_{50} = 391 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Q_{25} = 353 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Q_5 = 260 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Q_2 = 196 \text{ m}^3/\text{detik}$.
- Geometrik Bendung
 - Lebar total bendung = 72,80 m
 - Elevasi mercu bendung = +134,89 m
 - Tinggi tanggul = 4,20 m.
- Morfologi Sungai
 - Sungai mengalami gerusan dalam di hilir bendung, yang berpotensi menyebabkan degradasi dasar sungai.
 - Slope sungai yang cukup tinggi (di atas 0,001) menyebabkan aliran berkekuatan tinggi di hilir.
- Sedimentasi
 - Bendung Nangger melintang di sungai Deluwang, dilihat dari bangunan bendungnya selain berfungsi meninggikan air agar masuk ke areal irigasi juga digunakan sebagai menstabil dasar sungai Deluwang (bangunan check dam), ini terlihat dari bentuk tubuh bendungnya yang tegak di sisi hilir (sudut $> 45^\circ$).

- Sedimen yang tertahan di hulu bendung berupa pasir, kerakal dan batu. Di hilir bendung berupa batu-batu besar dan kerakal.



Gambar 16 Cathment Area Bendung Nangger

(Sumber : PU SDA Provinsi Jawa Timur)

Peta dasar yang digunakan dalam studi ini merupakan data sekunder dari PU SDA Provinsi Jawa Timur dari pekerjaan Studi Rehabilitasi Bendung Nangger di Kabupaten Situbondo dan Bendung Arjasa di Kabupaten Bondowoso oleh PT. Wahana Prakarsa Utama Cabang Jawa Timur.

Dalam studi ini data untuk analisa mekanika tanah juga didasarkan data dari PU SDA Provinsi Jawa Timur dari pekerjaan Studi Rehabilitasi Bendung Nangger di Kabupaten Situbondo dan Bendung Arjasa di Kabupaten Bondowoso oleh PT. Wahana Prakarsa Utama Cabang Jawa Timur.

3.3 Analisa Hidrolika dan Gerusan Kondisi

Existing

3.3.1 Analisa Gerusan Kondisi Existing

Pada Bendung Nangger, pengendalian gerusan dasar sungai merupakan aspek penting dalam menjaga stabilitas struktur. Data awal menunjukkan bahwa elevasi dasar sungai sebelum erosi adalah 127,09 m. Namun, pengukuran lapangan menunjukkan bahwa akibat proses erosi (gerusan) selama operasi, elevasi dasar saat ini turun menjadi 126,50 m. Selisih penurunan sebesar 0,59 m ini menandakan bahwa proses erosi telah berlangsung dan berpotensi mencapai kondisi yang lebih ekstrem.

3.3.1.1 Perhitungan Gerusan Teoretis

Untuk mengestimasi potensi gerusan (penurunan dasar) pada kondisi ekstrim, digunakan tiga metode perhitungan berikut:

1. Metode CSU (Contraction Scour – CSU)

$$y_{s,CSU} = \left(\frac{q}{\sqrt{g} d_{50}^{0.1}} \right)^{0.64}, \quad \text{dengan } q = \frac{Q}{b}.$$

2. Metode Laursen–Copeland (LC)

$$y_{s,LC} = 1.5 y_1^{0.65} Fr^{0.43},$$

$$\text{di mana } y_1 = \frac{Q}{b V_1} \text{ dan } Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}.$$

3. Metode Melville & Coleman M&C)

$$y_{s,M\&C} = 1.8 y_1^{0.65} Fr^{0.43},$$

Parameter yang digunakan:

- Debit, Q : 428, 391, 353, 260, dan 196 m³/s
- Lebar aliran efektif, $b = 71.8$ m
- Percepatan gravitasi, $g = 9.81$ m/s²
- Diameter median butir, $d_{50} = 0.20$ m (sehingga ≈ 0.851)
- Elevasi dasar awal (sebelum erosi) = 127,09 m

Nilai y_s yang diperoleh mewakili potensi penurunan dasar akibat erosi.

Elevasi dasar teoritis setelah erosi dihitung dengan:

$$\text{Elevasi Dasar Teoretis} = 127,09 \text{ m} - y_s.$$

Berdasarkan perhitungan dengan ketiga metode, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Perhitungan Gerusan Teoretis

Debit (m ³ /detik)	Metode CSU (m)		Metode L-C (m)		Metode M & C (m)	
	Kedalaman	Elevasi	Kedalaman	Elevasi	Kedalaman	Elevasi
Q100 (428)	1.67	125.42	1.25	125.84	2.09	125.00
Q50 (391)	1.58	125.51	1.19	125.90	1.98	125.11
Q25 (353)	1.48	125.61	1.11	125.98	1.85	125.24
Q5 (260)	1.22	125.87	0.92	126.17	1.53	125.56
Q2 (196)	1.02	126.07	0.76	126.33	1.27	125.82

Sumber : Hasil Perhitungan

3.3.1.2 Evaluasi dan Implikasi Desain

- Perbandingan Kondisi:

Data eksisting menunjukkan elevasi dasar saat ini sebesar 126,50 m. Namun, perhitungan teoritis mengindikasikan bahwa pada kondisi ekstrim (misalnya, debit 428 m³/s), potensi erosi dapat menurunkan elevasi dasar hingga antara 125,00 m (M&C) dan 125,84 m (LC).

- Implikasi Proteksi:

Potensi penurunan dasar yang signifikan ini menunjukkan bahwa, untuk kondisi ekstrim, sistem proteksi tambahan (seperti sub dam, apron

beton, riprap, dan sistem drainase) harus dirancang agar mencegah erosi lebih lanjut.

Data ini menjadi acuan penting untuk perencanaan bangunan pengendali, yang harus dapat meredam energi aliran sehingga potensi erosi ekstrim tidak mengancam struktur utama bendung.

- Rekomendasi:

Dalam pendekatan konservatif, hasil perhitungan dengan metode CSU atau M&C yang memberikan nilai erosi lebih tinggi akan digunakan untuk menetapkan margin proteksi.

3.3.2 Analisa Hidrolika Kondisi Existing

Pengendalian erosi dasar sungai merupakan salah satu aspek penting dalam menjaga kestabilan struktur Bendung Nangger. Data awal menunjukkan bahwa elevasi dasar sebelum terjadi erosi adalah 127,09 m, sedangkan pengukuran lapangan menunjukkan kondisi eksisting di 126,50 m. Perbedaan sebesar 0,59 m mengindikasikan bahwa proses erosi telah berlangsung dan potensi tekanan aliran, terutama pada kondisi ekstrim, dapat menyebabkan penurunan dasar yang lebih signifikan. Oleh karena itu, analisa hidrolika kondisi existing perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran yang ada, termasuk tinggi muka air, kecepatan aliran, dan proses hydraulic jump, sebagai dasar untuk rekomendasi tindakan proteksi.

3.3.2.1 Perhitungan Kapasitas dan lompatan Aliran

Rumus-rumus untuk menghitung Tinggi air di atas bendung (H), tinggi air sebelum loncatan (y_1), kecepatan air sebelum loncatan (v_1), bilangan Froud (Fr), tinggi loncatan air (y_2), kecepatan loncatan air (v_2) dan panjang loncatan air (L) adalah sebagai berikut :

1. Menghitung tinggi air di atas ambang

$$Q = (2/3) \cdot C_d \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

Dimana:

Q = debit aliran (m^3/detik)

C_d = koefisien discharge (kisaran 0,6–0,65 untuk weir sederhana)

L = lebar efektif spillway (dalam kasus ini 71,8 m)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

H = head efektif (selisih ketinggian air di atas crest spillway)

2. Perhitungan hidrolik di hilir bending dihitung dengan rumus-rumus:

- Kecepatan terjun

$$V_1 = \sqrt{2g\Delta H}$$

- Kedalaman awal (y_1) di hilir (dengan menganggap aliran keluar

melebar ke saluran terbuka dengan lebar efektif $b = 71,8 \text{ m}$)

$$y_1 = \frac{Q}{b V_1}$$

- V_2 dihitung dengan persamaan energi dari sebelum dan setelah lompatan:

$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} + y_1 + H_t - y_2$$

- Kedalaman sekuen setelah lompatan (y_2) menggunakan hubungan momentum untuk saluran persegi panjang:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 Fr_1^2} - 1)$$

- **Panjang lompatan (L) dengan pendekatan empiris:**

1. Metode Woyeski (1931):

Rumus:

$$L = \left\{ 8 - 0.05 \times \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \right\} \times (y_2 - y_1)$$

- Konstanta 8 dan 0.05 diperoleh dari studi eksperimental terhadap loncatan hidrolis di berbagai saluran terbuka.
- Angka 8 mencerminkan hasil pengamatan pada aliran dengan kondisi stabil di kolam olakan.
- Faktor 0.05 diperoleh dari regresi hasil percobaan, menunjukkan pengaruh rasio kedalaman air setelah dan

sebelum loncatan.

2. Metode Smetana (1933):

Rumus:

$$L = 6.9 \times y_2 \times \left(\frac{y_2}{y_1} - 1 \right)^{0.28}$$

- L = panjang lompatan hidraulik (m),
- y_1 = kedalaman air sebelum lompatan (m),
- y_2 = kedalaman air setelah lompatan (m).

3. Metode Silvester (1964):

Rumus:

$$L = 9.75 \times (Fr_1 - 1)^{1.01} \times y_1$$

- Konstanta 9.75 diperoleh dari hasil regresi pada ratusan data lompatan hidrolis di berbagai kondisi aliran.
- Eksponen 1.01 digunakan karena dari hasil eksperimen ditemukan bahwa hubungan antara panjang lompatan dan bilangan Froude tidak sepenuhnya linear, tetapi mendekati linear dengan eksponen sedikit lebih dari 1.

4. Metode USBR (United States Bureau of Reclamation):

Rumus:

$$L = A_n \times (y_2 - y_1)$$

- Konstanta A_n berkisar antara 5 hingga 6.9, diperoleh dari data empiris pada bendungan dan struktur air di Amerika Serikat.
- Nilai rata-rata 6.5 digunakan untuk kondisi umum, tetapi dapat berubah tergantung jenis aliran dan geometri kolam olakan.

Dengan perhitungan dengan berbagai metode hasil analisa hidrolika adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Perhitungan Hidrolik Kondisi Existing

Debit (m^3/dt)	H (m)	y1 (m)	V1 (m/dt)	Fr1	y2 (m)	V2 (m/dt)	Panjang Loncatan (L) (m)			
							L_W (m)	L_Sm (m)	L_Sil (m)	L_USBR (m)
Q100 (428)	2.20	0.50	11.96	5.41	3.57	8.37	12.73	12.21	15.23	13.81
Q50 (391)	2.07	0.46	11.96	5.66	3.42	8.19	11.96	11.56	14.88	13.11
Q25 (353)	1.93	0.41	11.96	5.96	3.26	8.00	11.15	10.86	14.4	12.37
Q5 (260)	1.58	0.30	11.96	6.94	2.82	7.44	9.35	9.27	13.02	10.84
Q2 (196)	1.31	0.23	11.96	7.99	2.47	6.96	8.02	8.00	11.78	9.53

Sumber : Hasil Perhitungan

3.3.2.2 Kondisi Hilir Bendung berdasarkan analisa Hidrolik

Berdasarkan hasil perhitungan panjang loncatan hidrolik dengan berbagai metode (Woyeski, Smetana, Silvester, dan USBR), kita dapat melakukan analisis terhadap potensi gerusan di sungai dan langkah-langkah proteksi yang diperlukan.

1. Dampak Loncatan Hidrolik terhadap Gerusan

- Semakin panjang loncatan hidrolik, semakin besar area sungai yang

terdampak oleh energi turbulen.

- Hasil perhitungan menunjukkan bahwa panjang loncatan berkisar antara 8 - 15 meter tergantung pada metode yang digunakan dan debit rencana.
- Jika kolam olakan atau proteksi tidak cukup panjang, maka energi sisa loncatan dapat menggerus dasar sungai di luar area yang dirancang.

2. Kecepatan Aliran Setelah Loncatan (V_2)

- Setelah loncatan, kecepatan air turun, tetapi masih cukup besar untuk menimbulkan potensi erosi lokal jika material dasar sungai tidak cukup kuat.
- Dalam tabel yang diberikan, V_2 setelah loncatan berkisar antara 6.96 - 8.37 m/s, yang masih cukup tinggi untuk menyebabkan penggerusan jika dasar sungai terdiri dari material lepas seperti pasir atau kerikil.

3. Bilangan Froude (Fr_1) Sebelum Loncatan

- Nilai Fr_1 antara 5.41 - 7.99, menunjukkan bahwa aliran sebelum loncatan adalah sangat superkritis.
- Semakin tinggi nilai Fr_1 , semakin besar potensi turbulensi dan daya erosi di area loncatan.
- Nilai Fr_1 tinggi juga menunjukkan bahwa penguatan dasar sungai sangat diperlukan untuk mencegah kerusakan.

3.3.2.3 Rekomendasi Proteksi untuk Mencegah Gerusan

Berdasarkan hasil panjang loncatan hidrolik, berikut adalah langkah-langkah proteksi yang dapat diterapkan untuk mengurangi dampak gerusan di hilir loncatan:

1. Desain Kolam Olakan yang Sesuai

- Panjang loncatan hidrolik berkisar antara 13 - 23 meter, sehingga panjang kolam olakan harus lebih besar dari panjang loncatan maksimum untuk memastikan disipasi energi yang cukup.
- Kolam olakan sebaiknya memiliki panjang sekitar 1.5 - 2 kali panjang loncatan maksimum, yaitu sekitar 27 - 36 meter untuk debit maksimum.

2. Penguatan Dasar Sungai dengan Material yang Kuat

- Gunakan beton bertulang atau batu boulder di dasar sungai untuk mencegah penggerusan akibat energi turbulen.
- Penempatan riprap (batuan pecah) atau tetrapod dapat membantu mengurangi kecepatan aliran dan memecah energi air sebelum mencapai bagian sungai yang lebih lemah.

3. Pembuatan Ambang Energi di Hilir Kolam Olakan

- Ambang energi berupa balok beton atau bendung rendah dapat ditempatkan di hilir kolam olakan untuk membantu meredam kecepatan air sebelum memasuki aliran sungai utama.

- Ambang ini juga berfungsi mengurangi gerusan pada area yang lebih jauh dengan cara mengendalikan kecepatan air yang keluar dari kolam olakan.

4. Pemilihan Material Proteksi Berdasarkan Kecepatan Setelah Loncatan

- Jika V_2 masih di atas 5 m/s, material dasar sungai harus lebih kuat seperti beton atau riprap besar.
- Jika V_2 turun di bawah 3 m/s, material yang lebih ringan seperti geotekstil atau batu pecah kecil dapat digunakan.

3.4 Perencanaan bangunan pengendali gerusan

Bendung Nangger mengalami permasalahan gerusan di hilir akibat hilangnya struktur pengendali yang sebelumnya berfungsi untuk meredam energi aliran. Tanpa perlindungan yang memadai, dasar sungai mengalami degradasi, yang berpotensi mengancam stabilitas bendung utama. Berdasarkan hasil analisa hidrolika, kecepatan aliran setelah loncatan hidrolis yang masih tinggi dapat menyebabkan penggerusan lebih lanjut jika tidak dikendalikan dengan baik.

Bangunan peredam energi diperlukan untuk mengatasi fenomena ini. Loncatan hidrolis yang terjadi di hilir bendung menghasilkan percepatan aliran yang signifikan, yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan degradasi dasar sungai dan merusak stabilitas bangunan utama. Analisa hidrolika menunjukkan bahwa

panjang loncatan hidrolis yang signifikan membutuhkan disipasi energi tambahan agar kecepatan aliran dapat dikendalikan sebelum memasuki aliran utama sungai.

Sebagai bentuk mitigasi, diperlukan pembangunan bangunan pengendali gerusan dalam bentuk sub-dam yang bertindak sebagai pelengkap dari bendung utama (main dam). Pemilihan sub-dam sebagai solusi pengendalian gerusan didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan hidrolis:

- Efektivitas dalam Disipasi Energi: Sub-dam mampu meredam energi aliran, mengurangi kecepatan air yang keluar dari bendung utama.
- Mencegah Undermining Bendung Utama: Dengan adanya struktur sub dam, risiko penggerusan langsung di hilir bendung dapat dikendalikan, mencegah degradasi dasar sungai yang dapat mengancam stabilitas main dam.
- Fleksibilitas dalam Pengendalian Sedimen: Sub-dam memungkinkan sedimentasi yang lebih terkontrol, sehingga tidak terjadi pendangkalan berlebih di hulu maupun pengangkutan sedimen yang merusak di hilir.

Bendung Nangger mengalami permasalahan gerusan di hilir akibat hilangnya struktur pengendali yang sebelumnya berfungsi untuk meredam energi aliran. Tanpa perlindungan yang memadai, dasar sungai mengalami degradasi, yang berpotensi mengancam stabilitas bendung utama. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan

bangunan pengendali gerusan yang mampu mempertahankan integritas struktur Bendung Nangger serta mengendalikan aliran dan sedimen secara efektif.

3.4.1 Dimensi Sub Dam

Bentuk mercu dan kemiringan hilir sub bendung sama dengan bentuk bendung utama. (hal. 5, SNI 2851:2015 : Desain bangunan penahan sedimen); Dengan demikian dimensi Sub dam adalah :

- Lebar atas (puncak) 1.50 m
- Kemiringan hulu 1 : 1
- Kemiringan hilir 1 : 0.50

3.4.1.1 Jarak Bendung Utama Dan Sub Bendung

Dengan :

- Elevasi puncak (crest) main dam) = +134.09 m
- Elevasi kolam olakan = +127.09 m

Maka Jarak Bendung Utama Dan Sub Bendung (L) dihitung dengan rumus:

$$L = (1.5 \text{ s/d } 2.0) \times (h_1 + h_3)$$

dimana :

L adalah jarak bendung utama dan sub bendung (m);

h1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (7 m);

h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama (m).

Sehingga jarak bendung utama dan sub bending adalah sebagai berikut :

Tabel 4 Panjang/Jarak Main Dam ke Sub Dam

Debit (m ³ /s)	h_3 (m)	$L_{\min} (m) = 1.5 \times (7.00 + h_3)$	$L_{\max} (m) = 2.0 \times (7.00 + h_3)$
428	2.2	$1.5 \times (7.00 + 2.20) = \mathbf{13.80}$	$2.0 \times (7.00 + 2.20) = \mathbf{18.40}$
391	2.07	$1.5 \times (7.00 + 2.07) = \mathbf{13.60}$	$2.0 \times (7.00 + 2.07) = \mathbf{18.13}$
353	1.93	$1.5 \times (7.00 + 1.93) = \mathbf{13.40}$	$2.0 \times (7.00 + 1.93) = \mathbf{17.86}$
260	1.58	$1.5 \times (7.00 + 1.58) = \mathbf{12.87}$	$2.0 \times (7.00 + 1.58) = \mathbf{17.16}$
196	1.31	$1.5 \times (7.00 + 1.31) = \mathbf{12.47}$	$2.0 \times (7.00 + 1.31) = \mathbf{16.62}$

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan demikian jarak antara main dam dan sub dam ditentukan sebesar 19 m.

3.4.1.2 Kedalaman Pondasi dan Elevasi Top Sub dam

Ke dalam pondasi merujuk pada potensi gerusan dari hasil analisa teoritis yang bisa mencapai kedalaman 2.09 m dari elvasi awal (top pondasi 127.09) sehingga sampai elevasi 125.00 m. Berdasarkan SNI 2851:2015 : Desain bangunan penahan sedimen hal. 40 tinggi sub dam, dihitung dengan persamaan :

$$h_2 = \left(\frac{1}{3} \text{ s.d. } \frac{1}{4}\right) \times h$$

h_2 = tinggi sub dam

h_1 = tinggi Main dam

Jika

$h_1 = 10 \text{ m}$, maka $h_2 = 2.50 - 3.33 \text{ m}$.

Dengan mempertimbangkan keamanan maka tinggi sub dam sebesar 4 m.

Top sub dam didesain dengan mempertimbangkan top pondasi main dam, elevasi sungai di hilir sub dam. Dengan top pondasi 127.09 m maka top sub dam di elevasi 127.84 m (0.75 m di atas elevasi top main dam yang harus di lindungi dari gerusan), dan elevasi hilir sub dam 126.34 m.

Dengan elevasi top sub dam 127.84 m dan tinggi sub dam 4.00 m maka elevasi pondasi di elevasi 123.84 m. (aman dari scoring). Dengan demikian didapatkan dimensi sub dam seperti gambar berikut ini

3.4.2 Perlindungan di hilir Sub Dam

Di hilir sub dam masih ada potensi gerusan yang diakibatkan oleh kecepatan lompatan air. Untuk melindungi hilir sub dam diproteksi dengan riprap. Untuk menghitung besar batu yang digunakan sebagai riprap adalah :

$$d_{30} = \frac{y^2 \times Sf \times Cs}{C_v \times CT}$$

Faktor Keamanan (S_f) = 1.2

Koefisien Stabilitas (C_s) = 0.3

Koefisien Distribusi Kecepatan (C_v) = 1.2

Koefisien Ketebalan Selimut (CT) = 1.5

Maka diameter batu riprap bila dengan $Q_{100th} = 428.00 \text{ m}^3/\text{dt}$ maka :

$D_{30} = 714 \text{ mm}$; Dengan demikian diameter batu riprap ditentukan sebesar $> 750 \text{ mm}$.

Panjang rip-rap di tentukan sebesar :

$L_{\text{riprap}} = 1.5 \times L_{\text{lompatan air dari titik jatuh atau dari titik } y_1}$

$L_{\text{riprap}} = 1.5 \times 13.81 = 20.72 \text{ m}$ dari titik y_1

dengan rumus :

$$X = V_x \times t \quad \text{Dan} \quad t = \sqrt{\frac{2H_t}{g}}$$

Dan dengan:

$H_t = 7.0 \text{ m}$ (tinggi jatuh air),

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

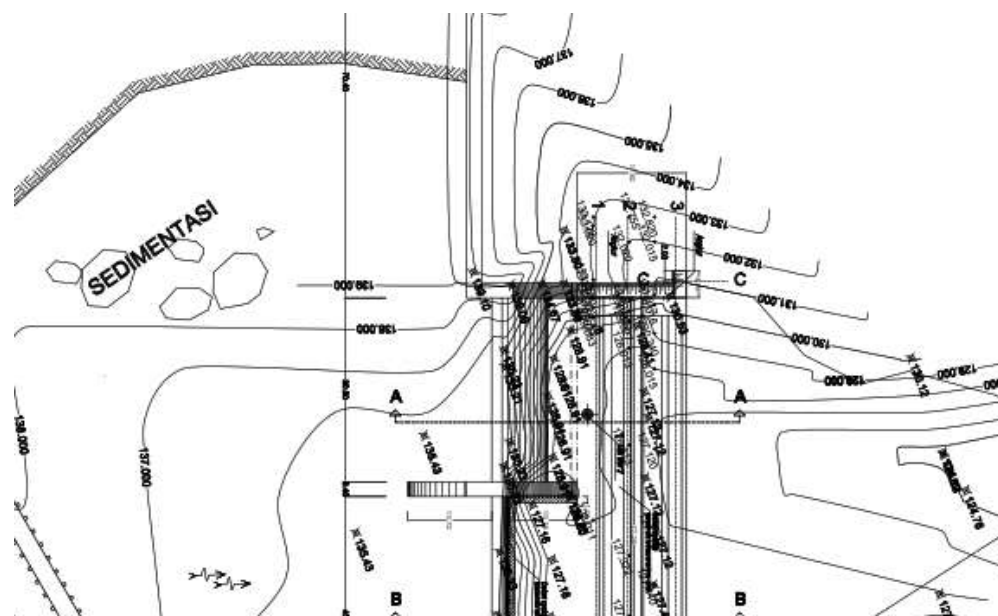
maka, $t = 1.2 \text{ s}$ dan $x = 3.25 \text{ m}$ dari hilir puncak bendung

dengan demikian maka panjang proteksi di hilir sub dam adalah sepanjang:

$L_{\text{riprap}} (\text{di hilir sub dam}) = 20.72 + 3.25 - 19 - 1.25 = 3.47 \text{ m}$

Kedalaman riprap (tebal) dihitung dengan pendekatan umum yang digunakan dalam desain konservatif adalah:

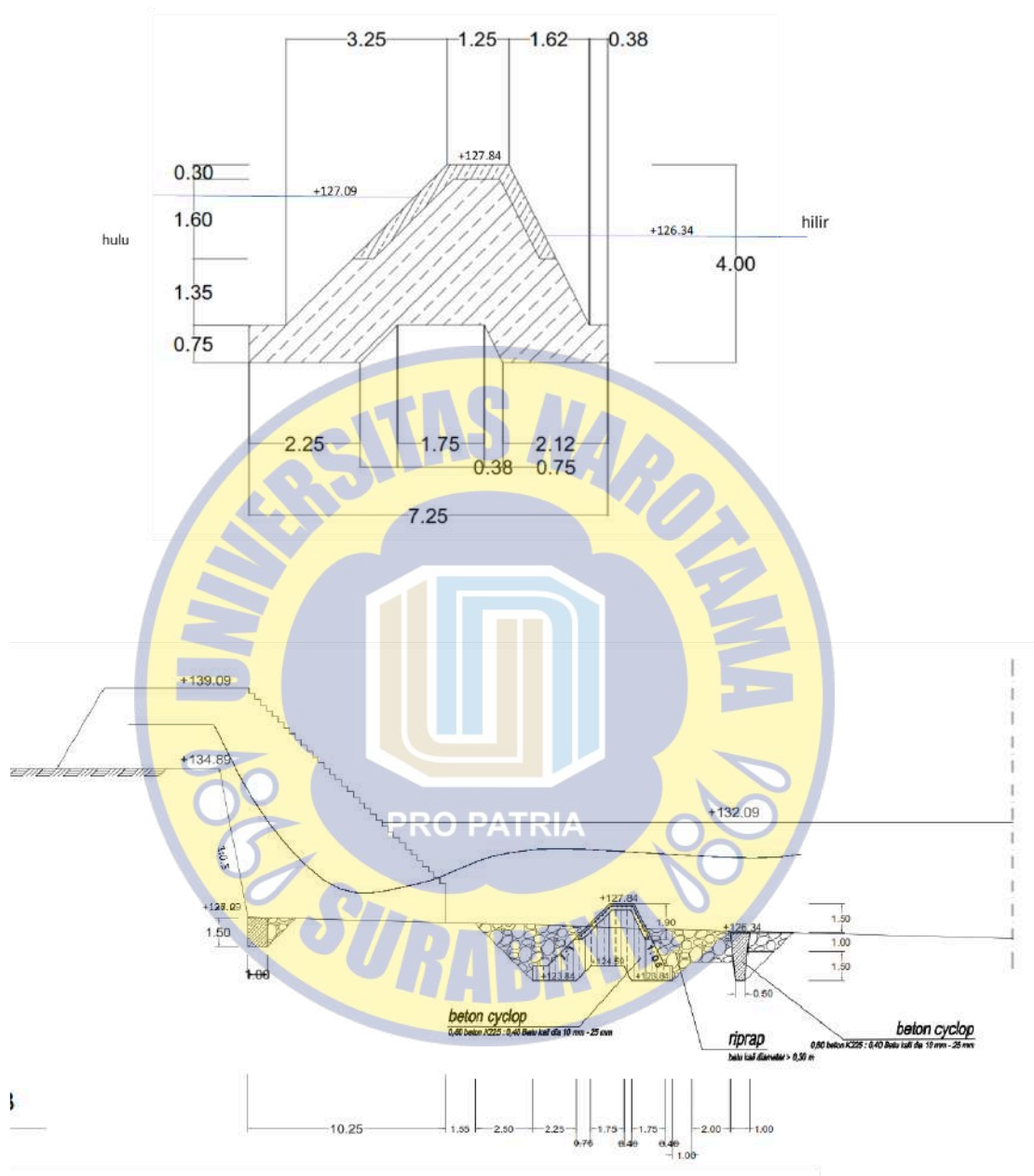
$$T=2 \times d_{30} \quad ; \text{menghasilkan ketebalan 1.43 m}$$





Gambar 17 Denah Bendung Nangger

(Sumber : Penulis)



Gambar 18. Potongan dan Dimensi Sub Dam
(Sumber : Penulis)