

PERENCANAAN KONSTRUKSI PENGENDALI SEDIMEN (CHEKDAM) DI HILIR KALI PACAL BOJONEGORO

Harjono¹, Yulis Widhiastuti²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil Universitas Bojonegoro

¹ haryono.adhi@yahoo.co.id, ² yulisrifda@yahoo.co.id

ABSTRAK

Meeting the needs and maintaining the availability of water is an effort where a situation where the area is usually not run by water such as settlements, industrial areas, and other public facilities. This situation is considered to be detrimental to both morally and materially, the impact of which will directly be felt by humans. Therefore humans must balance between needs and natural conditions.

Please note that the Klepek Dam is one of the buildings that functions as a water reservoir after the Pacal Reservoir for irrigation needs in the rice fields. To realize the success of quality Dam buildings and able to function as planned, it is needed by making check dam using concrete consumption.

From studies and calculations that have been done using software, AutoCad, and Harpes calculation methods, it is known the impact of flood discharge and cross section in the Lusi watershed to determine whether or not the cross section of the Pacal Reservoir is necessary. The problem of holding water in the Pacal Reservoir is overcome by making check dam using concrete consumption.

Keywords: *Chekdam, sedimentation, pacal rive*

I. Pendahuluan

Dalam dekade terakhir semakin marak berita tentang besarnya potensi kejadian bencana alam sedimen seperti terjadinya tanah-tanah longsor di beberapa tempat, baik di Jawa maupun di luar Jawa, yang menelan korban jiwa yang tidak sedikit serta kerugian moril dan materil yang cukup besar.

Tanah longsor merupakan kejadian alam yang menyangkut perpindahan atau gerakan massa tanah atau batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Longsoran tanah kalau bercampur air (air hujan atau air sungai), dapat bergerak menjadi aliran rombakan tanah/aliran debris (debris flow), seperti Lahar di Jawa, Galodog di Sumatra dan sebagainya.

Kali Pacal yang berada di wilayah Bojonegoro berdasarkan survei telah terjadi kerusakan lingkungan yang disebabkan adanya berubahnya tata guna lahan. kerusakan lingkungan ini berdampak pada tingkat erosi yang semakin meningkat sehingga berakibat pada peningkatan sedimentasi pada bangunan - bangunan air yang sudah ada sepertipada Bendung Klepek.

Pola penyebaran sedimentasi di dasar Bendung tergantung dari topografi bendung, ukuran butir sedimen, dan pola operasi bendung. Pengaruh sedimentasi terhadap berkurangnya volume bendung dapat menyebabkan berkurangnya volume efektif bendung dan tingkat operasional bendung.

Perencanaan Check Dam ini agar tampungan air sisa dimusim penghujan dapat di tampung ketika musim kemarau datang dengan sitem pompa.

check dam dengan menggunakan konsumsi beton dibangun pada suatu alur sungai sebagai penampung air yang berfungsi antara lain sebagai pembangkit tenaga listrik, penyedia air irigasi, dan pengendali banjir. Sedimen yang masuk ke bendung tersebut akan mengendap dan menyebabkan terjadinya pendangkalan pada bendung sehingga akan mempengaruhi perubahan kapasitas tampungan bendung tersebut.

Perencanaan Check Dam dirasa sangat diperlukan agar dapat mengendalikan sedimen sebelum masuk ke sungai. Kondisi bangunan existing masih dapat diselamatkan kelestariannya guna menampung sisa air yang bisa dimanfaatkan dengan dibuatkan lubang skot balk diatas mercu bendung serta penyediaan skot balknya.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah diuraikan di atas maka tujuan penelitian ini adalah "Menyusun strategi pengendalian sedimen Sub-DAS wilayah Kali Pacal dengan menggunakan pendekatan struktur bangunan pengendali sedimen (check dam) menggunakan metode Analisis Frekuensi".

II. Kajian Pustaka

A. Erosi dan Sedimentasi

Erosi tanah yang meliputi proses pelepasan butir – butir tanah dan proses pemindahan tanah. Erosi ini mampu menyebabkan timbulnya bahan endapan atau sedimentasi ditempat lain. Erosi dan sedimentasi ini merupakan dua buah masalah yang saling berkaitan. Awal permulaan terjadinya erosi dan sedimentasi adalah turun hujan, pukulan jatuhnya air hujan merupakan penghasil utama butir – butir yang terlepas dalam erosi tanah.

Aliran air, butir – butir tanah yang lepas akibat proses erosi akan diangkut masuk dalam aliran sungai dan kemudian akan diendapkan pada tempat – tempat tertentu (pada muara sungai dan waduk) berupa pengendapan atau sedimentasi. Endapan sedimen tersebut apabila semakin lama semakin terakumulasi jumlahnya, maka akan menimbulkan pendangkalan pada waduk dan muara sungai yang selanjutnya akan berakibat terhadap berkurangnya umur rencan waduk.

Banyaknya angkutan bahan endapan tergantung dari besarnya erosi tanah yang terjadi. Semakin banyak jumlah bahan sedimen yang terangkut menunjukkan makin besar tingkat erosi tanah yang terjadi dalam daerah aliran sungai yang bersangkutan. Karena erosi dan sedimentasi merupakan suatu hal yang saling memiliki keterkaitan, maka dibawah ini akan dibahas kedua masalah tersebut.

Ada banyak komponen hidrologi yang terpengaruh oleh adanya alih fungsi penggunaan lahan dan kegiatan pembangunan di bagian hulu DAS. Namun hanya beberapa yang menjadi fokus utama dan perlu menjadi perhatian (Asdak 2007), yaitu: 1) Koefisien runoff (C), yang menunjukkan persentase besarnya air hujan yang menjadi runoff. 2) Koefisien Rejim Sungai (KRS), adalah koefisien yang menyatakan perbandingan debit harian rata-rata maksimum dan rata-rata minimum. 3) Nisbah/perbandingan antara debit maksimum (Qmax) dan debit minimum (Qmin) dari tahun ke tahun, dan diamati kecenderungan perubahannya. Evaluasi ini untuk melihat keadaan DAS secara makro. 4) Kadar muatan sedimen dalam aliran sungai, yang dinyatakan dalam satuan mg/liter air. Kurva ini berbentuk logaritmik dan dapat digunakan sebagai alat evaluasi. 5) Karakteristik Air tanah, yang membedakan dari sisi pergerakan dan waktu tinggal yang sangat lama. 6) Frekuensi dan periode ulang banjir.

B. Faktor Erosi

Ada dua faktor yang menyebabkan terjadinya proses erosi, yaitu faktor penyebab terjadinya erosi yang dinyatakan dalam erosivitas dan faktor tanah yang dinyatakan dalam erodibilitas. (Hudson. 1986)

1. Erosivitas
2. Erodibilitas

Dari berbagai faktor tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan yang dikenal sebagai Persamaan Umum Kehilangan Tanah (PUKT) yaitu :

$$A * R * K * L * S * C * P$$

Proses terjadinya sedimentasi merupakan bagian dari proses erosi tanah. timbulnya bahan sedimen adalah sebagai akibat dari erosi tanah yang terjadi. proses erosi dan sedimentasi di indonesia yang lebih berperan adalah faktor air, sedangkan faktor angin relatif kecil

Perhitungan debit sedimen melayang (suspended load) metode perhitungan berdasarkan pengukuran sesaat

Rumus :

$$Q_s = 0,0864 * C * Q_w$$

Perhitungan Sedimen dasar (Bed Load), pengukuran sedimen dasar cara langsung, pengukuran sedimen dasar dengan cara tidak langsung

Perkiraan muatan sedimen dasar dengan rumus empiris Untuk perhitungan volume sedimen dapat di gunakan rumus sebagai berikut :

$$P_s = R \text{ s x } A / F$$

Volume sedimen total

$$V_{st} = V_{am} + V_{ad}$$

C. Bangunan Pengendali Sedimen

Persyaratan dalam perencanaan secara teknis bangunan penahan sedimen adalah sebagai berikut:

- 1) Parameter desain meliputi parameter desain topografi, hidrologi, dan geoteknik;
- 2) Data lain yang diperlukan seperti bahan bangunan tersedia, pemukiman, sarana prasarana, serta tenaga kerja.

Tata letak bendung penahan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut (SNI 03-2851-1991) :

1. Lokasi check dam harus direncanakan pada tempat yang dasar sungainya dikhawatirkan akan turun;
2. Penentuan lokasi agar dapat menghasilkan bangunan paling ekonomis sehingga biaya pembuatan perdaya tampungnya menghasilkan nilai paling kecil;
3. Di sekitar titik pertemuan kedua sungai dengan lokasi disebelah hilirnya;

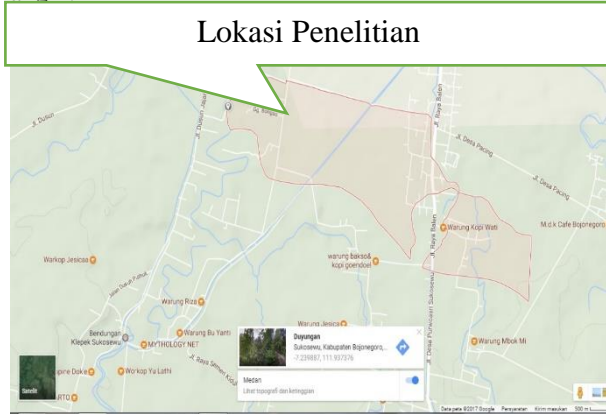
4. Sumbu bendung penahan sedimen harus tegak lurus arah aliran di bagian hilirnya;
5. Apabila lokasi bendung penahan pada tikungan sungai, harus dilakukan tinjauan hidraulik terhadap kemungkinan limpasan dan gerusan pada tebing luar baik di hulu maupun hilir bangunan.

III. Metode Penelitian

A. Pengumpulan Data Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah hulu DAS Waduk Kali Pacal, Bojonegoro. Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan. Secara umum tahapan-tahapan tersebut disajikan pada Gambar 2. Adapun metode penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahap yaitu (1) tahap pengumpulan data (2) tahap pengolahan data input, (3) tahap penggunaan metode Harpes, dan (4) tahap analisis dan penyajian data.

Tahap mengumpulkan data yang dibutuhkan dari instansi-instansi terkait. Data yang diperoleh berupa data sekunder yaitu peta Digital Elevation Map (DEM), peta tutupan lahan, peta tanah dan karakteristiknya, data curah hujan, data iklim seperti suhu udara minimum dan maksimum, kelembaban, radiasi sinar matahari, dan kecepatan angin.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

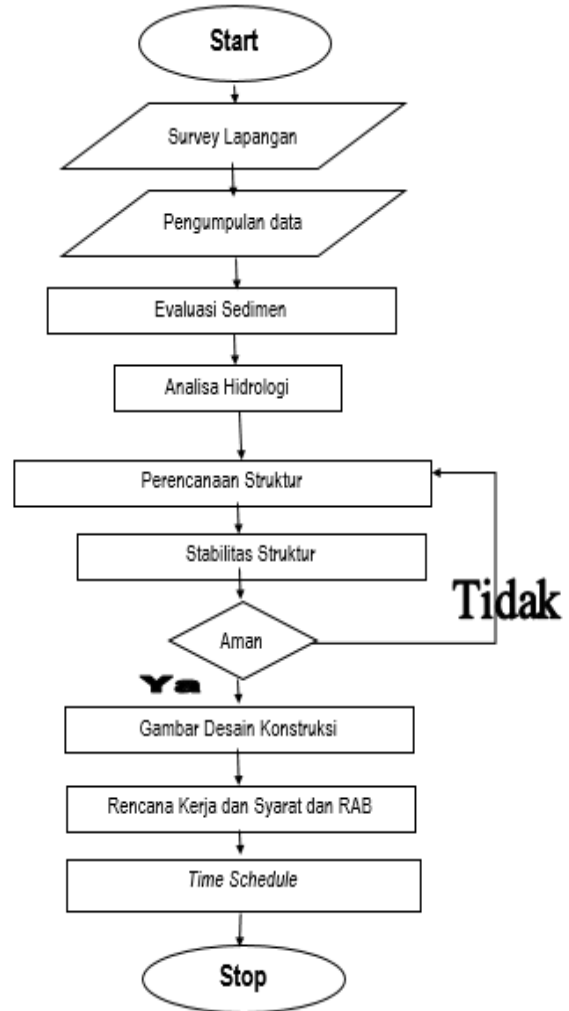
B. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperoleh dari catatan – catatan yang telah ada. Data ini diperoleh dari Instansi yang terkait yaitu Dinas Pengairan. Data tersebut meliputi :

- a) Peta situasi DAS Kali Pacal
- b) Peta topografi DAS Kali Pacal
- c) Volume DAS Kali Pacal
- d) Volume sedimen DAS Kali Pacal
- e) Hasil penyelidikan tanah DAS Kali Pacal
- f) Menyiapkan Desain Konstruksi Sedimen Kali Pacal.

C. Perencanaan Kontruksi

Hasil dari analisis hidrologi dan analisis sedimentasi di gunakan untuk menentukan perencanaan kontruksi dan pengendali sedimen yang sesuai dengan kondisi di lapangan.



Gambar 2. Alur Penelitian

IV. Hasil & Pembahasan

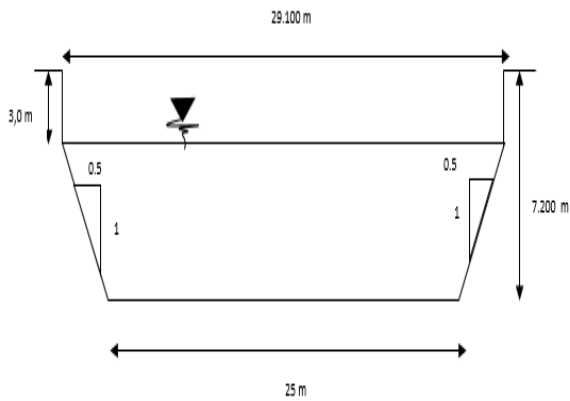
A. Perencanaan Kestabilan Dam Pengendali Sedimen (Check Dam)

Perencanaan kestabilan Dam Pengendali Sedimen kali pacal ini meliputi, antara lain sebagai berikut :

1. Perencanaan Peluap
2. Perencanaan Pondasi
3. Perencanaan Sayap
4. Perencanaan Sub dam dan Lantai
5. Perencanaan Bangunan Pelengkap
6. Selimut Beton.

B. Perencanaan Peluap

Perhitungan desain konstruksi bangunan pengendali sedimen mengacu pada buku Diklat Kuliah Bangunan Air, Ir.Salamun, MT



Gambar 3. Perencanaan Peluap

1. Tinggi Air di Atas Peluap

Jika $m_2 = 0,5$ dan $C = 0,6$, maka rumus diatas menjadi :

$$Q = (0,71 * h_3 + 1,77 * B_1) * h_3^{\frac{3}{2}} C$$

Ketahui :

$$Q = 443,678 \text{ m}^3/\text{detik} \quad (\text{Metode Harpes})$$

$$m_2 = 0,5$$

$$C = 0,6$$

$$B_1 = 25 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/detik}^2$$

sehingga didapat persamaan :

$$443,678 = (0,71x h_3 + 1,77x 25) * h_3^{\frac{3}{2}}$$

$$443,678 = (0,71h_3 + 44,25) * h_3^{\frac{3}{2}}$$

Dengan cara trial error, di dapat nilai $h_3 = 4,20 \text{ m}$ dengan $Q = 443,678 \text{ m}^3/\text{detik} \approx 443,678 \text{ m}^3/\text{detik}$

$$B_2 = B_1 + 2 + m x h_3$$

$$B_2 = 25 + 2 + 0,5 x 4,2$$

$$\begin{aligned} B_2 &= 29,200 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Kecepatan Aliran di Atas Mercu

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{2} (25 + 29,200) x 4,200 \\ &= 113,820 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$v_1 = \frac{443,678}{113,820} = 3,898 \text{ m/detik}$$

$$h_v = \frac{3,898^2}{2 x 9,81} = 0,774 \text{ m}$$

$$h = h_3 + h_v = 4,200 + 0,774 = 4,974 \text{ m}$$

$$d = \frac{2}{3} x 4,974 = 3,316 \text{ m}$$

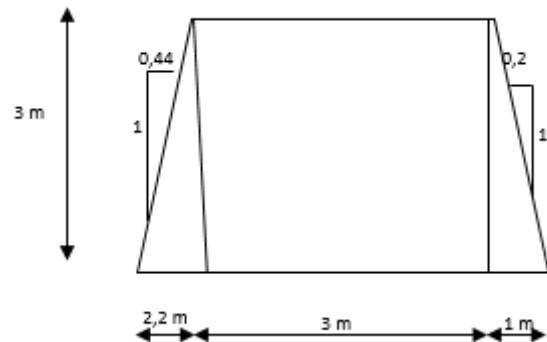
$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{2} (25 + 0,5 x 3,316) x 3,316 \\ &= 44,204 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$v_2 = \frac{443,678}{66,834} = 10,037 \text{ m/detik}$$

$$v = \frac{(3,898 + 10,037)}{2} = 6,968 \text{ m/detik}$$

3. Tinggi Jagaan (Free Board)

Besarnya tinggi jagaan ditetapkan berdasarkan debit rencana yang bernilai $Q = 443,678 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dengan melihat tabel 2-16, untuk $200 < Q < 500$ tinggi jagaan adalah sebesar 0,8 m.



Gambar 4. Perencanaan Main Dam

4. Tinggi Main Dam

Tinggi Main Dam Di tentukan sebesar $H = 3 \text{ m}$

5. Lebar Mercu Peluap

Lebar mercu peluap (b_1) ditentukan sebesar 3 meter dengan kriteria material berupa batu-batu besar dan criteria hidrologis dengan debris flow kecil sampai dengan debris flow besar.

6. Lebar Mercu Peluap

Untuk $H < 15 \text{ m}$, kemiringan Badan main dam dihulu 1 : m dengan perhitungan sebagai berikut :

Perhitungan :

$$h_3 = 4,200 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$B = 3 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_w = 1,2 \text{ t/m}^3$$

$$\alpha = \frac{h_3}{H} = \frac{4,200}{3} = 1,400$$

$$\beta = \frac{b_1}{H} = \frac{3}{3} = 1$$

$$\gamma = \frac{\gamma_c}{\gamma_w} = \frac{2,4}{2,1} = 2,000$$

$$(1 + 1,400)m^2 + [2(0,2 + 1) + 0,2(4 \times 1,400 + 2,000) + 2 \times 1,400]m - (1 + 3 \times 1,440) - 1,440 \times 1(4 \times 0,2 + 1) + (3 \times 0,2 \times 1 + 1^2 + 0,2^2) = 0$$

$$2,400 m^2 + 4,32m - 1,36 = 0$$

m dicari dengan menggunakan rumus abc :

$$m_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$m_{1,2} = \frac{-4,320 \pm \sqrt{4,320^2 - 4 \times 2,400 \times 1,360}}{2 \times 2,400}$$

$$m_{1,2} = \frac{-4,320 \pm 2,367}{4,800}$$

$$m_1 = -1,393 \text{ dan } m_2 = 0,408$$

Diambil m = 0,31

7. Tinjauan Terhadap Gaya-gaya yang bekerja
Tinggi main dam (H) adalah 3 meter < 15 meter. Berdasarkan tabel 2.5, tidak yang ditinjau untuk keadaan normal. Sedangkan untuk keadaan banjir, gaya-gaya yang di tinjau adalah :

a. Berat sendiri (W)
Perhitungan :

$$W_1 = \gamma_c * A_1 = 2,4 \times (0,5 \times 1 \times 3) = 3,6 \text{ t/m}^3$$

$$W_2 = \gamma_c * A_2 = 2,4 \times (3 \times 3) = 21,6 \text{ t/m}^3$$

$$W_3 = \gamma_c * A_3 = 2,4 \times (0,5 \times 2,2 \times 3) = 7,92 \text{ t/m}^3$$

b. Tekanan Air Statik (P)
Tekanan air horizontal adalah :

$$Ph_1 = \frac{(\gamma_w \times 4,200) + (\gamma_w \times 7.200)}{2} \times 2,5 = 14,250 \text{ t/m}$$

Titik Tangkap Ph1 terhadap O :

$$TPh_1 = \frac{(4,200 \times 2,5) \times 3,25 + (0,5 \times 2,5 \times 2,5) \times 2,667}{(14,250 + 6,125)}$$

$$= 1,959 \text{ m}$$

$$Pv_1 = 1 \times \left(\frac{2,2 + 0,66}{2} \right) \times 2,5 + 4,2 + 7,2 = 14,875 \text{ m}$$

Titik Tangkap Pv terhadap O :

$$TPv_1 = \frac{(4,200 \times 7,2 \times 2,6) + (0,5 \times 2,5 \times 2,5) + (0,66 \times 2,5 \times 2,667)}{(14,875 + 6,125 + 2,4)}$$

$$TPv_1 = 3,681 \text{ m}$$

c. Perhitungan Stabilitas

1) Resultan (R) gaya-gaya harus berada pada inti

Rumus : (*Design Of Sabo Facillitie, JICA*)

$$x = \frac{M}{V}$$

$$e = \frac{b_2}{2} - x$$

syarat :

$$1/3b_2 < x < 2/3b_2$$

$$e < 1/6 b_2$$

Momen akibat berat sendiri

$$M_w = W_1 \times 0,667 + W_2 \times 2,5 + W_3 \times 4,733$$

$$M_w = 3,6 \times 0,667 + 21,6 \times 2,5 + 7,92 \times 4,733$$

$$M_w = 93,887 \text{ tm/m}$$

Momem akibat tekanan air

$$M_v = Pv_1 \times 3,681 - Ph_1 \times 1,959$$

$$M_v = 14,875 \times 3,681 - 14,250 \times 1,959 = 26,839 \text{ tm/m}$$

$$M = M_w + M_v = 93,887 + 26.839 = 120,726 \text{ tm/m}$$

$$V = W_1 + W_2 + W_3 + Pv_1$$

V = gaya vertical (ton)

$$V = 3,6 + 21,6 + 7,92 + 14,875 = 47,995 \text{ t/m}$$

$$x = \frac{M}{V}$$

$$x = \frac{120,726}{47,995}$$

$$x = 2,515 \text{ m}$$

Syarat $1/3b_2 < x < 2/3b_2$

$$b_2 = 1 + 3 + 2,2 = 6,2 \text{ m}$$

$$1/3 \times 6,2 < 2,515 < 2/3 \times 6,2$$

$$2,066 < 2,515 < 4,13 \text{ (memenuhi)}$$

$$e = \frac{b_2}{2} - x = \frac{6,2}{2} - 2,515 = 0,585 \text{ m}$$

Syarat $e < 1/6 b_2$

$$0,585 < 1/6 \times 6,2$$

$$0,585 < 1,033 \text{ (memenuhi)}$$

- 2) Stabilitas terhadap geser
perhitungan :

$$\phi = \frac{28 + 32}{2} = 30^\circ$$

$$C = \frac{0,07 + 0,09}{2} = 0,08 \text{ kg/cm}^2 = 0,8 \text{ t/m}^2$$

$$H = Ph_1 = 14,250 \text{ t/m}'$$

$$SF = \frac{(47,995 \times \tan 30^\circ) + (0,8 \times 6,2)}{14,250} = 2,292 > 1,2 \text{ (aman)}$$

- 3) Stabilitas terhadap guling
Perhitungan :

$$SF = \frac{M_v + (Pv_1 \times 3,681)}{Ph_1 \times 1,959}$$

$$= \frac{26,839 + (11,345 \times 3,681)}{(14,250 \times 1,959)}$$

$$SF = 2,457 > 1,2 \text{ (aman)}$$

- 4) Tegangan pada dasar pondasi
perhitungan :

$$\sigma_{12} = \frac{47,995}{6,2} \left(1 \pm \frac{6 \times 0,585}{6,2} \right)$$

$$= 7,741(1 \pm 0,566)$$

$$\sigma_{max} = 7,741 \times 1,566 = 12,122 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{min} = 7,741 \times 0,434 = 3,359 \text{ t/m}^2$$

- 5) Daya Dukung batas untuk tipe pondasi
menerus

Perhitungan :

$$qu = C \times N_c + \gamma \times D \times N_q$$

$$+ 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

$$= 0,8 \times 19 + 1,69 \times 0,5 \times 8,5$$

$$+ 0,5 \times 1,69 \times 6,2 \times 5,5$$

$$qu = 51,197 \text{ t/m}^2 > \sigma_{max} = 12,122 \text{ t/m}^2$$

C. Perencanaan Pondasi

1. Kedalaman Pondasi
perhitungan :

$$d_1 = \frac{1}{3} (3 + 4,200) = 2,400 \text{ m}$$

Karena tanah dasar sungai merupakan lapisan tanah keras, maka main dam tidak menggunakan pondasi tetapi strukturnya menyatu dengan lantai terjun(panjang lantai terjun overlap terhadap dasar main dam.)

2. Penetrasi Pondasi

Pada dasar dam berupa batuan dan tanah keras, maka dasar dam pengendali sedimen di tempatkan 1,5 m dari permukaan batuan di hulu main dam.

D. Perencanaan Sayap

1. Kemiringan Sayap

Agar tidak ada limpasan pada sayap, maka kearah tebing sayap dibuat lebih tinggi dengan kemiringan $1/N >$ Kemiringan dasar sungai. Nilai N ditentukan sebesar 200, sehingga kemiringannya sebesar $1/200 = 0,005 > 0,004448$ (kemiringan Dasar sungai).

2. Lebar Sayap

Lebar sayap diambil sama dengan lebar mercu yaitu 3 m. di bagian hulu sayap diberi tembok pelindung berbentuk *fillet*.

3. Penetrasi Sayap

Sayap harus masuk cukup dalam ketebing karena tanah pada bagian tebing mudah tergerus oleh aliran air. Kedalaman sayap direncanakan 2 m kearah dalam tebing.

E. Perencanaan Sub dam dan Lantai

1. Letak *Sub Dam* dari *Main Dam*

Untuk *main dam* tidak begitu tinggi ($H = 5$ meter $<$ 15 meter) dengan perhitungan sebagai berikut :

$$H_1 = 3 \text{ m}$$

$$h_3 = 4,200 \text{ m}$$

$$L = 2,0(H_1 + h_3) = 2 \times (3 + 4,200)$$

$$= 14,400 \text{ m}$$

Diambil $L = 15 \text{ m}$

2. Penampang Sub Dam

- 1) Lebar mercu sub dam sama dengan lebar mercu main dam $b_1' = b_1 = 3 \text{ m}$
- 2) Kemiringan badan sub dam di bagian hilir ditetapkan sama dengan main dam yaitu 1:0,2.

3. Tinggi Sub Dam

Perhitungan :

$$H_2 = \frac{1}{3} \times 3 - \frac{1}{4} \times 3 = 1 - 0,75$$

$$H_2 = 0,25 \text{ m}$$

$$h_4 = 1,25 \text{ m}$$

$$H' = 0,25 + 1,25 = 1,5 \text{ m}$$

4. Tebal Lantai/ *Apron*

Lantai direncanakan dengan kolam olak, sehingga rumus yang dipakai (*Sabo Design, Dept. Pekerjaan Umum*):

perhitungan :

$$t = 0,1 \times (0,6 \times 3 + 3 \times 4,200 - 1)$$

$$= 1,340 \text{ m}$$

Diambil $t = 1,5 \text{ m}$

5. Tinggi Muka Air di Atas Peluap

Perhitungan :

$$Q = 443,678 \text{ m}^3/\text{detik (Metode Harpes)}$$

$$M2 = 0,5$$

$$C = 0,6$$

$$B1 = 25 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/detik}^2$$

$$Q = (0,71 * h_2 + 1,77 * B_1) * h_2^{\frac{3}{2}}$$

$$443,678 = (0,71x h_2 + 1,77x 25) * h_2^{\frac{3}{2}}$$

$$443,678 = (0,71x h_2 + 44,25) * h_2^{\frac{3}{2}}$$

Dari hasil trial and error, di dapat nilai h2 = 2,420 m dengan Q = 443,678 m³/detik ≈ 443,678m³/detik.

$$B_2 = B_1 + 2 + m * h_2$$

$$B_2 = 25 + 2 + 0,5 * 2,42$$

$$B_2 = 28,210 \text{ m}$$

6. Kemiringan Badan Sub Dam

Kemiringan Badan Hilir ditentukan 1 : 0,2 , sedangkan kemiringan badan hulu :

$$\alpha = \frac{h_2}{H'} = \frac{2,42}{3} = 0,806$$

$$\beta = \frac{b_1'}{H'} = \frac{1,5}{1,5} = 1$$

$$\alpha = \frac{\gamma_c}{\gamma_w} = \frac{2,4}{1,2} = 2$$

$$(1 + 0.806) m^2 + [2 (0,2 + 1) + 0,2 (4 * 0.806 + 2) + 2 * 0.806] m - (1 + 3 * 0.806) - 0,806 * x 1 (4 * 0,2 + 1) + (3 * 0,2 * x 1 + 1^2 + 0,2^2) = 0$$

$$1,806 m^2 + 5,165 m - 2,864 = 0 \text{ m}$$

dicari dengan menggunakan rumus

$$abc : 20,689$$

$$m_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$m_{1,2} = \frac{-5,165 \pm \sqrt{5,165^2 - 4 * 1,806 * 2,864}}{2 * 1,806}$$

$$m_{1,2} = \frac{-5,165 \pm 5,988}{3,612}$$

$$m_1 = -3,087 \text{ dan } m_2 = 0,277$$

Diambil m = 0,43

7. Tinjauan Terhadap Gaya-gaya yang bekerja

Tinggi main dam (H) adalah 1,5 meter < 15 meter. Berdasarkan tabel 2.5, tidak yang ditinjau untuk keadaan normal. Sedangkan untuk keadaan banjir, gaya-gaya yang di tinjau adalah :

1) Berat sendiri (W)

Perhitungan :

$$W_1 = \gamma_c * A_1 = 2,4 * (0,5 * 0,6 * 1,5) = 1,08 \text{ t/m}^3$$

$$W_2 = \gamma_c * A_2 = 2,4 * (1,5 * 1,5) = 5,4 \text{ t/m}^3$$

$$W_3 = \gamma_c * A_3 = 2,4 * (0,5 * 0,51 * 1,5) = 0,918 \text{ t/m}^3$$

2) Tekanan Air Statik (P)

Tekanan air horizontal adalah :

$$Ph_2 = \frac{(\gamma_w * x 3,2) + (\gamma_w * x 4,2)}{2} * x 1 = 3,080 \text{ t/m}$$

Titik Tangkap Ph1 terhadap O :

$$TP_{Ph_2} = \frac{(2,767 * x 1,0) * x 1,25 + (0,5 * x 1 * x 1) * x 2}{(3,080 + 1,125)} = 1,060 \text{ m}$$

Tekanan air static vertical adalah :

$$Pv_2 = \gamma_w * x A_2$$

$$Pv_2 = 1 * x [3,02 * x 2,51$$

$$+ \left(\frac{0,51 + 0,255}{2} \right) * x 1]$$

$$Pv_2 = 4,832 \text{ t/m}'$$

Titik Tangkap Pv terhadap O :

$$TP_{Pv_2} = \frac{(3,02 * x 3,51) * x 0,667 + (0,5 * x 0,255 * x 1,5) * x 2,77 + (0,255 * x 1,5) * x 5,767}{(4,832 + 1,191 + 0,3285)} = 1,543 \text{ m}$$

3) Perhitungan Stabilitas

Resultan (R) gaya-gaya harus berada pada inti Rumus : (Design Of Sabo Facillitie, JICA)

$$x = \frac{M}{V}$$

$$e = \frac{b_2}{2} - x$$

syarat :

$$1/3b_2 < x < 2/3b_2$$

$$e < 1/6 b_2$$

Momen akibat berat sendiri

$$M_w = W_1 * x 0,4 + W_2 * x 2,1 + W_3 * x 3,77$$

$$M_w = 1,08 * x 0,4 + 5,4 * x 2,1 + 0,918 * x 3,77$$

$$M_w = 15,233 \text{ tm/m}'$$

Momem akibat tekanan air

$$M_p = Pv_2 * x 1,543 - Ph_2 * x 1,060$$

$$M_p = 4,832 * x 1,543 - 3,080 * x 1,060 = 4,190 \text{ tm/m}'$$

$$M = M_w + M_p = 15,233 + 4,190 = 19,423 \text{ tm/m}$$

$$V = W_1 + W_2 + W_3 + P_v2$$

V = gaya vertical (ton)

$$V = 1,08 + 5,4 + 0,918 + 4,832 = 12,230 \text{ t/m'}$$

$$x = \frac{M}{V}$$

$$x = \frac{19,423}{12,230}$$

$$x = 1,588 \text{ m}$$

Syarat $1/3b_2 < x < 2/3b_2$

$$b_2 = 0,51 + 1,5 + 0,6 = 2,61 \text{ m}$$

$$1/3 \times 2,61 < 1,588 < 2/3 \times 2,61$$

$$0,87 < 1,588 < 1,74 \text{ (memenuhi)}$$

$$e = \frac{b_2}{2} - x = \frac{2,61}{2} - 1,588 = 0,283 \text{ m}$$

Syarat $e < 1/6 b_2$

$$0,283 < 1/6 \times 2,61$$

$$0,283 < 0,360 \text{ (memenuhi)}$$

4) Stabilitas terhadap geser

Perhitungan :

$$\phi = \frac{28 + 32}{2} = 30^\circ$$

$$C = \frac{0,07 + 0,09}{2} = 0,08 \text{ kg/cm}^2 = 0,8 \text{ t/m}^2$$

$$H = Ph_1 = 3,080 \text{ t/m'}$$

$$SF = \frac{(12,230 \times \tan 30^\circ) + (0,8 \times 2,61)}{3,080} = 2,970 > 1,2 \text{ (aman)}$$

5) Stabilitas terhadap guling

Perhitungan :

$$SF = \frac{M_v + (P_v2 \times 1,543)}{Ph_2 \times 1,060}$$

$$= \frac{4,190 + (4,832 \times 1,543)}{(3,080 \times 1,060)}$$

$$SF = 4,007 > 1,2 \text{ (aman)}$$

6) Tegangan pada dasar pondasi

Perhitungan :

$$\sigma_{12} = \frac{12,230}{2,61} \left(1 \pm \frac{6 \times 0,283}{2,61} \right)$$

$$= 4,686 (1 \pm 0,650)$$

$$\sigma_{max} = 4,686 \times 1,650 = 7,731 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{min} = 4,686 \times 0,350 = 1,640 \text{ t/m}^2$$

7) Daya Dukung batas untuk tipe pondasi menerus

Perhitungan :

$$qu = C \times N_c + \gamma \times D \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

$$= 0,8 \times 19 + 1,69 \times 0,125 \times 8,5$$

$$+ 0,5 \times 1,69 \times 2,61 \times 5,5$$

$$qu = 29,125 \text{ t/m}^2 > \sigma_{max} = 7,731 \text{ t/m}^2$$

F. Perencanaan Bangunan Pelengkap

1. Tembok Talud.

Kondisi data yang telah diketahui sebagai berikut.

$$H = 4 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 2,3 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi = 30^\circ \text{ (pasir)}$$

$$\delta = 2/3 \Phi = 20^\circ$$

$$DC = 0,30 \text{ m}$$

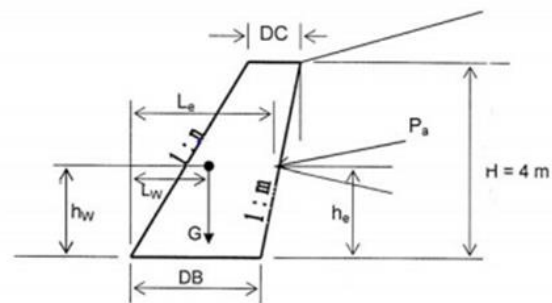
$$\gamma_s = 1,80 \text{ t/m}^3$$

$$\theta = 11,310^\circ$$

$$a = 20^\circ$$

$$n = 0,5$$

$$m = 0,2$$



Gambar 5. Perencanaan Bangunan Pelengkap

$$DB = DC + n.H - m.H$$

$$= 0,30 + 0,5 \cdot 4 - 0,2 \cdot 4 = 1,5 \text{ m}$$

$$G = H/2 \cdot (DC + DB)$$

$$\gamma_c = 4/2 \cdot (0,3 + 1,5) \cdot 2,3 = 8,28 \text{ ton}$$

$$LW = \left\{ \frac{DB^2 + DB \cdot DC + DC^2}{3 \cdot (DB + DC)} \right\} + \left(\frac{n \cdot H}{3} \right) \cdot \left\{ \frac{DB + 2 \cdot DC}{DB + DC} \right\}$$

$$LW = \left\{ \frac{1,5^2 + 1,5 \cdot 0,3 + 0,3^2}{3 \cdot (1,5 + 0,3)} \right\} + \left(\frac{0,5 \cdot 4}{3} \right) \cdot \left\{ \frac{1,5 + 2 \cdot 0,3}{1,5 + 0,37} \right\} = 0,516 + 0,778 = 1,294 \text{ m}$$

$$hW = H/3 \left\{ \frac{DB + 2 \cdot DC}{DB + DC} \right\} = 4/3 \left\{ \frac{1,5 + 2 \cdot 0,3}{1,5 + 0,3} \right\} = 1,3 \times 1,167 = 1,55 \text{ m}$$

Ka

$$= \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cdot \cos(\theta + \delta) \cdot \left\{ 1 + \frac{\sin(k + \delta) \cdot \sin(\phi - a)}{\cos^2(\theta - \delta) \cdot \cos(\theta - a)} \right\}}$$

Ka

$$= \frac{\cos^2(30 - (-11,310))}{\cos^2(-11,310) \cdot \cos(-11,310 + 20) \cdot \left\{ 1 + \frac{\sin(30 + 20) \cdot \sin(30 - 20)}{\cos^2(-11,310 - 20) \cdot \cos(-11,310 - 20)} \right\}}$$

$$Ka = 0,56 / 0,96 \times 0,99 \times 1,94 = 0,304$$

$$Pa = 1/2 \cdot Ka \cdot \gamma_s \cdot H^2 = 1/2 \cdot 0,304 \cdot 1,8 \cdot 4^2 = 4,38$$

$$Le = DB + 1/3 \cdot H \cdot m = 1,5 + 1/3 \cdot 4 \cdot 0,2 = 1,77 \text{ m}$$

$$h_e = H/3 = 4/3 = 1,33 \text{ m}$$

$$P_a.H = P_a. \sin(90^\circ - \delta - 0) = 4,38 \cdot \sin(90^\circ - 20^\circ - 0) = 1,5$$

Tabel 1. Perhitungan Momen

Beban	Simbol	Gaya t0	Lengan (m)		Momen (t:m)
			Lw	Lv	
Beban Sendiri	G	8,28	Lw	1,294	10,714
Tekanan tanah Arah vertikal	PaV	1,5	Le	1,77	2,655
Total Pv dan Mv		9,78		1,367	13,369
Tekanan tanah Arah horisontal	PaH	4,12	he	1,35	5,562

Sumber : Olah Data

Stabil terhadap guling

$$X = M/PV = (13,360 - 5,5) / 9,78 = 0,8 \text{ m}$$

$$1/3 \cdot DB = 1/3 \cdot 1,5 = 0,5 \text{ m}$$

$$2/3 \cdot DB = 2/3 \cdot 1,5 = 1 \text{ m}$$

$$1/3 \cdot DB = 0,5 < X = 0,8 < 2/3 \cdot DB = 1$$

$$e = DB/2 - X = 1,5/2 - 0,8 = -0,05$$

$$SF = Mv / MH = 13,369 / 5,5 = 2,43 > 1,2 \text{ aman}$$

Stabilitas terhadap geser

$$SF = (f \cdot Pv + \sigma_0 \cdot L) / PH = (0,6 \cdot 9,78 + 0) / 4,12 = 1,42 > 1,2 \text{ aman}$$

Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi

$$\sigma_1 = (Pv / DB) \cdot (1 + 6 \cdot e / DB)$$

$$= (9,78 / 1,5) \cdot (1 + 6 \cdot (-0,05) / 1,5) = 5,216 \text{ t/m}^2 < 45 \text{ t/m}^2 \text{ aman}$$

$$\sigma_2 = (Pv / DB) \cdot (1 - 6 \cdot e / DB)$$

$$= (9,78 / 1,5) \cdot (1 - 6 \cdot (-0,05) / 1,5) = 7,824 \text{ t/m}^2 < 45 \text{ t/m}^2 \text{ aman}$$

G. Selimut Beton.

Selimut beton berfungsi untuk melapisi struktur main dam, lantai terjun dan sub dam dari gerusan material sedimen yang terbawa oleh air sungai agar bangunan tetap kokoh sesuai umur rencananya (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985) Selimut beton direncanakan mutu K225 dengan tebal 30 cm. Tulangan rangkap

berdiameter 12 mm dengan jarak 20 cm arah vertikal dan horisontal. Tulangan pada selimut beton dam berfungsi untuk mengikat beton dan bukan berfungsi struktural (menahan beban).

V. Kesimpulan dan Saran**1. Kesimpulan**

Untuk menanggulangi sedimentasi pada Kali Pacal, perencanaan dam pengendali sedimen adalah salah satu usaha yang paling efektif untuk dilakukan. Dengan hasil perencanaan sebagai berikut:

1. Dam pengendali sedimen dengan Selimut beton direncanakan mutu K225 dengan tebal 30 cm. Tulangan rangkap berdiameter 12 mm dengan jarak 20 cm arah vertikal dan horisontal
2. Elevasi puncak mercu = + 40 m dpl - Tinggi efektif dam = 1 m, Daya tampung dam pengendali sedimen = 3.000 m³, sedangkan untuk fungsi lain sebagai penampung air jika skot balk di pasang akan menampung air sekitar 28.500 m³ yang akan berfungsi untuk membantu irigasi pompa sekitar 53 Hektar persawahan penduduk.

2. Saran

1. Dalam waktu yang relatif singkat pembangunan dam pengendali sedimen adalah pilihan yang tepat.
2. Konservasi lahan pada Sub-DAS Kali Pacal sangat diutamakan untuk dapat menjaga terjadinya erosi yang berlebihan. Akan tetapi, hal ini sulit dilakukan mengingat penduduk membutuhkan aliran Air untuk persawahan.

DAFTAR PUSTAKA

- si. M. Mac Donald Partners Asia Cosulting Engineers, "Buku Panduan Pelaksanaan O & P Pengairan" Proyek Irigasi Jawa Timur Dirjen Pengairan Dep. PU Tahun 1984.
- Erman Mawardi Dipl. AIT "Desain Hidraulik. Bangunan Irigasi" Alfabeta, Bandung, 2007, ISBN 9789798433160
- Imam Subarkah "Hidrologi, untuk Perencanaan Bangunan Air", Idea Dharma Bandung 1980.
- Ir. Syamsudin Mansoer Dipl. HE "Perencanaan Teknis Rehabilitasi Jaringan Irigasi (Saluran dan Bangunan)" Pelatihan PISP Bandung April 2008.
- Roestam Sjarief, Ph. D, Edisi II "Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu" ANDI Yogyakarta, ISBN : 978- 979 -29-0239-6
- Jurnal Teknik Sipil Universitas Bojonegoro (De'TekSi) Edisi I Volume I Tahun 2016