

STUDI KELAYAKAN STABILITAS BENDUNG TERHADAP GESER, GULING DAN DAYA DUKUNG TANAH DI BENDUNG CIANTEN 1B

Winda Harsanti¹, Moch. Khamim²

^{1,2}Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang
¹winda.harsanti@polinema.ac.id, ²chamim@polinema.ac.id

Abstract

Weir is a river transverse building that is served to raise the river water. Cianten River is one of the rivers that need this building, because the water level planned to be used for micro power plant is not sufficient. The planned weir dimension needs to be analyzed for its stability. From the analysis results it is known that for stability against bolsters and soil bearing capacity has a safety factor above the minimum number. But for the stability of the shear and the crawl is below the minimum safety number. To solve this problem, the foundation of weir needs to be lengthened.

Keywords: *safety factor, stability, weir*

Pendahuluan

Sungai Cianten adalah salah satu sungai di bagian barat Kabupaten Bogor. Sungai ini berhulu di kawasan Gunung Salak, mengalir dari selatan menuju utara dan bermuara di Sungai Cisadane. Tempat pertemuan Sungai Cianten dengan sungai Cisadane ini dikenal dengan sebutan Pasir Muara, yang masuk ke dalam wilayah Kecamatan Cibungbulang.

Luas DAS Cianten secara keseluruhan adalah sebesar 426,50 km² dengan panjang sungai utama adalah 49,2 km. Elevasi tertinggi lahan DAS adalah + 1.450 m dan elevasi terendah dasar sungai adalah + 125 m. Sungai Cianten ini memiliki potensi debit air yang besar. Salah satu pemanfaatannya saat ini adalah untuk pembangkit listrik, yaitu PLTA Karacak. Debit operasi maksimum yang dialirkan untuk kebutuhan PLTA Karacak dari Sungai Cianten sebesar 8,5 m³/dt.

Dengan semakin bertambahnya kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat dan belum adanya pemanfaatan air di hulu PLTA Karacak maka berdasarkan kondisi tersebut direncanakan akan dibangun pembangkit listrik skala mikro atau yang lebih dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di bagian hulu PLTA Karacak. Alasan bahwa pembangkit yang akan dibangun berskala mikro adalah tidak tersedianya tinggi jatuh (*head*) yang mencukupi untuk PLTA. Kondisi perbedaan tinggi muka air di hulu PLTA Karacak ini relatif kecil. Berdasarkan kondisi tersebut, untuk memenuhi agar tinggi muka air yang tersedia mencukupi untuk dibangun PLTM maka diperlukan bangunan bendung untuk menaikkan tinggi muka air. Tujuan dari studi ini adalah menganalisis kelayakan stabilitas bendung terhadap kondisi normal tanpa sedimen dan kondisi normal dengan sedimen.

Tinjauan Pustaka

a. Bendung

Bendung adalah suatu bangunan air yang dibangun melintang sungai yang berfungsi untuk menaikkan tinggi muka air untuk mendapatkan tinggi terjun yang dikehendaki yang nantinya air tersebut akan dialirkan menuju tempat yang membutuhkan secara gravitasi (Mawardi & Memed, 2002). Terdapat dua macam bendung, yaitu bendung tetap dan bendung berfungsi. Bendung tetap biasanya dibangun di sungai bagian hulu sampai tengah. Bendung tetap ini hanya mampu menahan aliran air tanpa bisa mengatur tinggi muka airnya. Sedangkan bendung berfungsi adalah bendung yang dapat meninggikan muka air dan dapat mengatur aliran dan angkutan sedimen sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efektif dan efisien.

b. Lantai Bendung

Lantai bendung sering diistilahkan dengan apron, dimana apron ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu apron hulu dan apron hilir. Tebal apron di hulu bendung direncanakan untuk menahan gaya *uplift* pada pondasi serta mengurangi penetapan panjang lantai. Apron hulu lebih ditujukan untuk menjaga stabilitas aliran di hulu bendung.

Sama halnya dengan apron hulu, apron hilir juga direncanakan untuk menahan gaya *uplift* pada pondasi serta mencegah terjadinya gerusan di hilir bendung. Perencanaan panjang apron hilir ditujukan untuk menahan bahaya piping. Bahaya piping atau erosi bawah tanah disebabkan karena naiknya dasar galian atau rekahnya pangkal hilir bendung.

c. Keamanan terhadap Rayapan

Pada saat air dibendung, maka akan terjadi perbedaan tinggi air di hulu dan di hilir bendung sehingga akan menimbulkan selisih tekanan. Tekanan

ini akan menimbulkan aliran air di bawah bendung yang lebih dikenal dengan rayapan. Apabila aliran air ini cukup kuat dan besar, tekanannya dapat mengakibatkan butiran-butiran tanah bergeser, sehingga akan terjadi gerusan yang dapat menghancurkan bendung.

Persamaan yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat keamanan bendung terhadap rayapan salah satunya adalah Metode Lane.

$$L > C_w \cdot \Delta H \quad (1)$$

Dengan:

L : panjang rayapan bawah tanah pondasi (m)

C_w : angka keamanan rayapan (minimum = 5)

ΔH : beda tinggi muka air hulu dan hilir (m)

d. Stabilitas terhadap Guling, Geser dan Daya Dukung Tanah

Dalam perencanaan konstruksi bendung, faktor keamanan harus diperhitungkan. Untuk mengetahui keamanan tubuh bendung harus diadakan cek stabilitas. Di dalam analisis stabilitas dilakukan kontrol terhadap gaya guling, geser dan daya dukung tanah.

1. Stabilitas terhadap guling

Persamaan untuk menghitung angka keamanan terhadap guling adalah:

$$SF = MT / MG \quad (2)$$

Dengan:

SF : angka keamanan

MT : momen tahan

MG : momen guling

Bangunan bendung dikatakan aman apabila nilai $SF > 1,5$ pada kondisi normal.

2. Stabilitas terhadap geser

Persamaan untuk menghitung angka keamanan terhadap geser adalah:

$$SF = \frac{f \sum V}{\sum H} \quad (3)$$

Dengan:

f : koefisien geser ($\tan \phi$)

$\sum V$: jumlah gaya vertikal

$\sum H$: jumlah gaya horizontal

Bendung dikatakan aman terhadap geser jika nilai SF adalah lebih besar dari 1,5 pada kondisi normal.

3. Stabilitas terhadap Daya Dukung Tanah

Pada perhitungan analisis terhadap daya dukung tanah, kondisi bendung dibagi dalam dua kondisi. Masing-masing kelompok adalah untuk kondisi nilai $e < L/6$ dan kondisi nilai $e > L/6$. Kedua kelompok tersebut akan memberikan persamaan tegangan yang berbeda. Masing-masing kelompok akan diuraikan berikut ini.

- Kondisi 1

$$e = \left| \left(\frac{\sum M}{\sum V} \right) - \frac{L}{2} \right| < \frac{L}{6} \quad (4)$$

Maka perhitungan tegangannya adalah:

$$\sigma_{\max/\min} = (\sum V/L) * [1 \pm (6.e)/L] < \sigma_{\text{ijin}} \quad (5)$$

- Kondisi 2

$$e = \left| \left(\frac{\sum M}{\sum V} \right) - \frac{L}{2} \right| > \frac{L}{6} \quad (6)$$

Maka perhitungan tegangannya adalah:

$$\sigma_{\max/\min} = 2 \cdot \sum V / [3 * (L/2 \pm e) * B] < \sigma_{\text{ijin}} \quad (7)$$

Tegangan pada kondisi ini dikatakan aman apabila nilai σ_{\max} masih berada di bawah σ_{ijin} . Nilai σ_{ijin} sendiri bisa didapatkan dari persamaan berikut:

$$\sigma_{\text{ijin}} = [c * N_c + \gamma_{\text{sat}} * D * N_q + 0,5 * B * \gamma_{\text{sat}} * N_{\gamma}] / SF \quad (8)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = [\gamma_w \cdot (G_s + e)] / (1 + e) \quad (9)$$

Dengan:

c : angka kohesi

D : dalam pondasi

B : lebar pondasi

γ_{sat} : berat isi jenuh

SF : faktor keamanan

γ_w : berat isi air

G_s : specific gravity

Untuk nilai N_c , N_q dan N_{γ} didapatkan dari tabel Terzaghi berdasarkan besarnya sudut geser tanah.

a. Tekanan Tanah

Dalam analisis stabilitas bendung, faktor tekanan tanah juga diperhitungkan. Tekanan ini dibagi dalam dua kelompok, yaitu tekanan tanah statis dan tekanan tanah dinamis. Masing-masing persamaan diberikan berikut ini.

- Tanah statis

$$P_a = K_a \cdot \gamma_t \cdot h^2 + \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_t \cdot h^2 \quad (10)$$

- Tanah dinamis

$$P_d = 0,5 \cdot \gamma_t \cdot c_e \quad (11)$$

$$c_e = (1 - \sin \phi) / (1 + \sin \phi) \quad (12)$$

Dengan:

P_a : tekanan tanah statis (tm)

P_d : tekanan tanah dinamis (tm)

h : tinggi (m)

γ_t : berat jenis tanah

ϕ : sudut geser dalam

b. Tekanan Sedimen

$$P_s = 0,5 \cdot (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \cdot c_s \cdot h^2 \quad (13)$$

Dengan:

c_s : koefisien tekanan tanah

c. Tekanan Berat Bangunan

$$W = V \cdot \gamma \text{ bangunan} \quad (14)$$

d. Koefisien tanah aktif (K_a)

$$K_a = (1 - \sin \theta) / (1 + \sin \theta) \quad (15)$$

e. Koefisien tanah pasif (K_p)

$$K_p = 1 / K_a \quad (16)$$

Metode

Metode yang digunakan dalam studi ini adalah:

1. Mengumpulkan informasi data tanah dan dimensi bendung
2. Melakukan analisis stabilitas terhadap geser, guling dan daya dukung tanah
3. Memberikan rekomendasi terhadap keamanan bendung

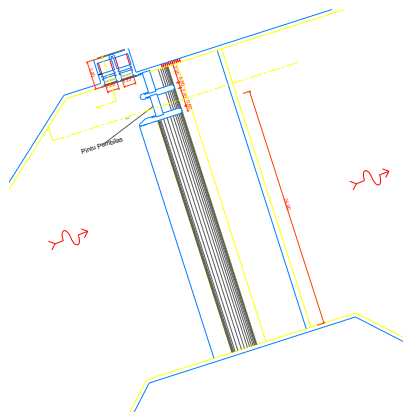
Hasil dan Pembahasan

1. Informasi data tanah dan dimensi bendung

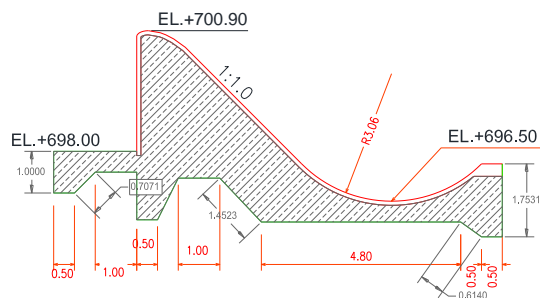
Informasi data tanah yang didapatkan dari kondisi tanah di rencana lokasi Bendung Cianten 1B diantaranya:

- Sudut geser dalam tanah (ϕ) = $5,484^\circ$
- Specific gravity (G_s) = 2,2
- Void ratio (e) = 29%
- Koefisien kohesi (c) = 0,08

Untuk dimensi bendung sendiri, tinggi bendung adalah 2,90 m dengan lebar 25,80 m. Elevasi apron hulu berada di ketinggian +698 m dan elevasi puncak bendung berada di ketinggian +700,90 m. Untuk panjang lantai apron bagian hulu adalah 2 m dengan ketinggian 1 m. Pada bagian hilir lantai apron memiliki panjang 5,8 m dengan ketinggian pada bagian akhir adalah 1,75 m. Untuk panjang lantai total bendung adalah 10,58 m. Tubuh bendung terbuat dari beton bertulang.



Gambar 1. Denah Bendung Cianten 1B



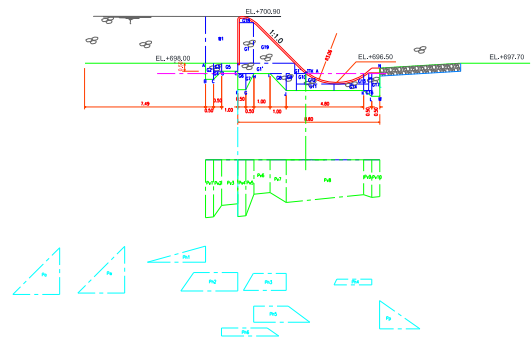
Gambar 2. Potongan melintang bendung

2. Perhitungan keamanan terhadap rayapan

Analisis yang pertama dilakukan adalah menentukan jalur rembesan berdasarkan metode Lane untuk mengetahui keamanan terhadap rayapan. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa panjang total rayapan bawah pondasi sebesar 12,473 m. Untuk perbedaan tinggi muka air antara hulu dan hilir adalah 3 m. Dengan menggunakan persamaan (1) maka didapatkan nilai C_w sebesar 4,158. Nilai ini masih berada di bawah nilai minimum yang disarankan, yaitu 5.

3. Analisis stabilitas terhadap guling, geser dan daya dukung tanah

Analisis stabilitas ini dilakukan dalam dua kondisi, dimana kondisi pertama yaitu kondisi normal tanpa sedimen dan tanpa gempa. Pada kondisi kedua dilakukan pada kondisi normal dengan sedimen dan tanpa gempa. Sebagai titik acuan dalam perhitungan ditentukan pada bagian kaki mercu bendung pada bagian hilir. Titik ini dipilih karena bagian ini yang dianggap cukup rawan terhadap guling dan patah. Selain itu, berdasarkan gambar desain yang sudah ada lantai ini cukup kecil sedangkan tekanan air yang diterima dari bagian puncak bendung cukup besar. Untuk mempermudah perhitungan, maka tubuh bendung dibagi ke dalam beberapa pias seperti **Gambar 3.**



Gambar 3. Diagram pembagian pias untuk perhitungan stabilitas

- Kondisi 1

Perhitungan pertama dilakukan pada momen tahan akibat tubuh bendung dan gaya vertikal. Berat jenis bahan bendung digunakan $2,4 \text{ ton/m}^3$. Untuk gaya vertikal sendiri adalah berat dari air, dimana berat jenisnya adalah 1 ton/m^3 . Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai total gaya yang bekerja adalah 54,898 ton dan untuk nilai momen tahannya adalah sebesar 127,488 tm.

Perhitungan berikutnya dilakukan untuk momen guling dan gaya vertikal akibat *uplift*. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa gaya total yang bekerja adalah 32,742 ton dan momen tahannya sebesar - 56,149 tm. Perhitungan dilanjutkan untuk momen guling akibat tekanan air dan gaya horizontal. Hasil yang didapatkan sebesar 17,199 ton untuk nilai total gaya yang bekerja dan 0,570 tm untuk nilai total momen tahan.

Perhitungan berikutnya dilakukan untuk momen guling akibat tanah pasif dan gaya horizontal. Hasil yang didapatkan adalah gaya total sebesar 15,162 ton dan momen tahan sebesar -12,008 tm. Apabila hasil-hasil tersebut dikelompokkan menjadi empat kelompok dimana masing-masing kelompok adalah gaya vertikal, gaya horizontal, momen tahan dan momen guling akan memberikan hasil seperti tabel berikut.

Tabel 1. Rekapitulasi perhitungan gaya dan momen pada tubuh bendung (kondisi 1)

Gaya Vertikal		Gaya Horizontal		Momen Tahan	Momen Guling
32,742	54,898	17,199	15,162	127,488	-56,149
				-12,008	0,570
22,156		2,037		115,479	55,579

Dari **Tabel 1**, maka keamanan terhadap guling, geser dan daya dukung tanah akan memberikan hasil sebagai berikut:

a. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\sum MT}{\sum MG}$$

$$SF = \frac{115,479}{55,579} = 2,708$$

b. Stabilitas terhadap geser

$$SF = f \frac{\sum V}{\sum H}$$

$$SF = \tan 5,484 \frac{22,156}{2,037} = 1,044$$

c. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Untuk menentukan apakah persamaan untuk menentukan σ_{max} yang digunakan maka harus menghitung nilai e untuk memilih antara persamaan (5) atau (7). Dengan data yang sudah ada didapatkan nilai $e = 2,586$ dan nilai ini lebih besar dari $L/6$, dimana nilai $L/6 = 1,763$. Maka untuk perhitungan σ_{max} menggunakan **Persamaan 7**. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai σ_{max} sebesar 0,536. Untuk nilai σ_{ijin} sendiri dengan ϕ sebesar $5,48^\circ$ maka didapatkan nilai $N_c = 7,523$, $N_q = 1,706$ dan $N_\gamma = 0,568$. Untuk nilai γ_{sat} berdasarkan persamaan (9) didapatkan nilai sebesar $1,93 \text{ t/m}^3$. Dengan menggunakan angka keamanan (SF) = 3 maka berdasarkan **Persamaan 8** didapatkan nilai σ_{ijin} sebesar 6,011. Maka nilai σ_{max} masih berada di bawah σ_{ijin} , sehingga stabilitas terhadap daya dukung tanah masih aman.

- Kondisi 2

Perbedaan kondisi pertama dengan kedua ini adalah tubuh bendung dianggap penuh dengan sedimen namun air masih dalam keadaan normal dan tanpa gempa. Dengan cara yang sama seperti pada perhitungan kondisi 1, didapatkan hasil rekapitulasi perhitungan gaya dan momen pada tubuh bendung seperti berikut ini.

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan gaya dan momen pada tubuh bendung (kondisi 2)

Gaya Vertikal		Gaya Horizontal		Momen Tahan	Momen Guling
32,742	54,898	18,808	15,162	127,488	-56,148
				-12,008	-3,502
22,156		3,646		115,479	59,650

Dari **Tabel 2**, maka keamanan terhadap guling, geser dan daya dukung tanah akan memberikan hasil sebagai berikut:

a. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{115,479}{59,650} = 1,936$$

b. Stabilitas terhadap geser

$$SF = \tan 5,484 \frac{22,156}{3,646} = 0,583$$

c. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Dari Perhitungan nilai e didapatkan nilai sebesar 2,77 dan angka ini masih berada di atas $L/6$, sehingga persamaan yang digunakan untuk menghitung σ_{max} adalah **Persamaan 7**. Dari hasil perhitungan didapatkan besarnya nilai σ_{max} adalah 0,507. Dengan menggunakan nilai σ_{ijin} seperti pada perhitungan kondisi 1 maka pada kondisi 2 ini juga masih dalam batas aman untuk stabilitas terhadap daya dukung tanah, dimana nilai σ_{max} masih berada di bawah σ_{ijin} .

Kesimpulan

Dari hasil analisis stabilitas pada Bendung Cianten 1B yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut:

- Keamanan terhadap rayapan dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode Lane didapatkan bahwa nilai $C_w = 4,158$. Nilai ini masih berada di bawah batas minimum yang diberikan, yaitu 5. Untuk mengatasi hal ini maka jalur rembesan air dapat diperpanjang dengan beberapa alternatif. Alternatif pertama bisa dilakukan dengan menambah tebal pondasi menjadi 1 m terutama pada apron bagian hilir. Alternatif berikutnya adalah dengan memperpanjang lantai apron baik hulu maupun hilir. Alternatif ketiga yang bisa dilakukan yaitu dengan menambah pile di beberapa titik lantai bendung.
- Pada kondisi 1 (air normal, tanpa sedimen dan tanpa gempa), angka keamanan terhadap guling dan daya dukung tanah masih berada pada kondisi aman. Namun stabilitas terhadap geser masih berada di bawah batas aman, dimana batas aman adalah 1,5. Alternatif yang bisa dilakukan untuk membuat agar tetap aman terhadap geser adalah sama dengan penyelesaian pada kesimpulan poin a.
- Pada kondisi 2 (air normal, dengan sedimen dan tanpa gempa), memberikan hasil yang sama seperti pada kondisi 1. Dimana kemandirian terhadap guling dan daya dukung tanah masih dalam kondisi aman dan stabilitas terhadap geser masih berada di bawah batas aman. Alternatif penyelesaian yang diberikan adalah sama dengan penyelesaian pada kesimpulan poin a.

Daftar Pustaka

- Anonim. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi bagian Bangunan Utama KP 02*. Bandung: CV. Galang Persada.
- Anonim. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi bagian Parameter Bangunan KP 06*. Bandung: CV. Galang Persada.
- Mawardi, E., & Memed, M. (2002). *Desain Hidrolik Bendung Tetap untuk Irigasi Teknis*. Bandung: Alfabeta.

