

Analisis Settlement Puncak Bendungan Akibat Proses Konsolidasi dalam Penentuan Camber

Ahmad Hidayawan^{1*}), Andri Kurniawan²⁾, Bagas Wahyu Adhi³⁾, Beni Setiyanto⁴⁾, Hayu Rahayu⁵⁾

^{1),2),3),4),5)}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Batik Surakarta, Alamat Universitas: Jl. Agus Salim No. 10 Sondakan – Laweyan, Surakarta – Jawa Tengah 57147; Telp. (0271) 714751 Fax. 740160; Email: admin@uniba.ac.id
Email: hidayawan11@gmail.com^{1*)}, andrimartinez1991@gmail.com³⁾, bagaswahyu54@gmail.com⁴⁾, benisetiyanto09@gmail.com⁵⁾, hayurahayu75@gmail.com⁶⁾

Abstrak

Bendungan Pidekso merupakan bendungan tipe urugan random dengan inti tegak di tengah, panjang puncak bendungan 387 meter, dan tinggi bendungan maksimum 32,00 m dari dasar sungai atau 44,00 m dari dasar galian. Konstruksi timbunan inti terbentuk dari bahan material clay yang bersifat kedap namun memiliki nilai plastisitas yang tinggi sehingga pada timbunan inti cenderung akan mengalami proses konsolidasi. Proses konsolidasi tanah dipengaruhi oleh massa lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya. Analisis perhitungan dalam menentukan total penurunan akibat proses konsolidasi puncak bendungan menggunakan program Geostudio Versi 2018. Dalam perhitungan settlement pada bendungan, dimodelkan bahwa timbunan melalui beberapa tahapan. Perhitungan setiap tahapan konstruksi 5m untuk tiap layer-nya. Dari hasil analisis penurunan timbunan coverdam sebesar 0,14 cm, pada ketinggian bendungan mencapai $\frac{1}{2} H$ penurunan sebesar 0,45 m. Penyesuaian puncak bendungan berdasarkan total perhitungan proses konsolidasi. Pasca konstruksi penurunan sebesar 0,65 cm. Dan setelah selesai proses konsolidasi selama 10 tahun sebesar 0,95 m. Maka di tentukan timbunan extra sebesar 1m.

Kata kunci: Bendungan, Konsolidasi, Camber, Sigma W.

Abstract

The Pidekso Dam is a random fill-in type dam with an upright core in the middle, a crest length of 387 meters, and a maximum dam height of 32.00 m from the river bed or 44.00 m from the bottom of the excavation. The core pile construction is made of impermeable clay material but has a high plasticity value so that the core pile tends to undergo a consolidation process. The process of soil consolidation is affected by the mass of the soil layers that experience additional loads on it. The calculation analysis in determining the total settlement due to the consolidation process at the top of the dam uses the 2018 version of the Geostudio program. In calculating the settling of the dam, it is modeled that the embankment goes through several stages. Calculation of each stage of construction 5m for each layer. From the results of the analysis, the decline of the coverdam pile is 0.14 cm, at the height of the dam reaching $\frac{1}{2} H$ the decrease is 0.45 m. Adjustment of the crest of the dam based on the total calculation of the consolidation process. Post-construction settlement of 0.65 cm. And after completion of the consolidation process for 10 years of 0.95 m. Then determine the extra heap of 1m

Keywords: Dam, Consolidation, Camber, Sigma W.



Copyright © 2023 The Author(s)

This is an open access article under the [CC-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

1. PENDAHULUAN

Wilayah Sub DAS Bengawan Solo hulu adalah salah satu sumber daya air permukaan yang sangat potensial untuk dikembangkan secara terpadu dan optimal dalam upaya peningkatan penyediaan air hingga beberapa waktu mendatang, guna mencapai keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air. salah satu alternatif pemecahannya adalah dengan membangun sebuah bendungan.

Dalam Hal ini pembangunan bendungan Pidekso yang berada di kabupaten Wonogiri merupakan langkah pemerintah dalam rangka meningkatkan perekonomian warga di kabupaten Wonogiri. Berikut lokasi pembangunan bendungan Pidekso.



Gambar 1. Lokasi Pembangunan Bendungan Pidekso

Bendungan Pidekso merupakan bendungan tipe urugan random dengan inti tegak di tengah, panjang puncak bendungan 387 meter, dan tinggi bendungan maksimum 32,00 m dari dasar sungai atau 44,00 m dari dasar galian. Elevasi pondasi timbunan inti (+150,00) Elevasi puncak bendungan didesain pada (+El.189,00) dengan tinggi jagaan (free board) dari muka air normal (+El.185,0) sebesar 4,00 m (PT Metana 2011).

Kemiringan lereng hulu didesain 1V: 3,0H dan lereng hilir 1V : 3,0H. Konstruksi timbunan inti terbentuk dari bahan material clay yang bersifat kedap namun memiliki nilai plastisitas yang tinggi sehingga pada timbunan inti cenderung akan mengalami proses konsolidasi. Maka diperlukan perhitungan penurunan puncak bendungan dalam penentuan camber (timbunan extra).

2. METODE

Analisis perhitungan dalam menentukan total penurunan akibat proses konsolidasi puncak bendungan menggunakan program Geostudio Versi 2018. untuk mengantisipasi berkurangnya tinggi jagaan akibat penurunan (settlement) tubuh bendungan dan fondasi pasca konstruksi, pada puncak bendungan perlu ditambah timbunan ekstra yang besarnya sesuai dengan besar penurunan yang terjadi pasca konstruksi. Penurunan (settlement) pada fondasi dan tubuh bendungan dapat diperkirakan dengan cara:

- Analisis deformasi dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM), atau,
- Analisis konsolidasi material tanah.

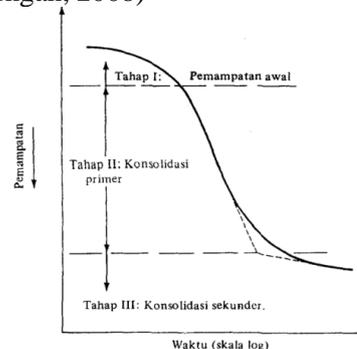
Proses konsolidasi tanah dipengaruhi oleh massa lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya (seperti bangunan gedung,

beban jalan, bendungan dan bangunan air lainnya), maka air pori akan mengalir dari lapisan tersebut dan isinya menjadi lebih kecil karena terjadi pemampatan pada massa tanah. (Soetjiono, 2010) Pemampatan dapat terjadi akibat berbagai proses misalnya :

- Keluarnya air dan udara dari pori-pori massa tanah;
- Pemampatan butir-butir tanah.
- Pemampatan udara dan air dalam pori-pori massa tanah.

Pada proses pemadatan tanah umumnya udaralah yang keluar dan terjadi penyusunan partikel-partikel padat. Tanah berbutir kasar umumnya dapat menjadi padat dalam waktu yang relatif singkat karena sifat permeabilitasnya tinggi dan udara dalam butir tanah yang mudah keluar dari pori-pori.

Pada tanah berbutir kasar, penurunan yang terjadi kemungkinan telah selesai pada masa pembangunan (low compressibility) dan tidak menimbulkan masalah di kemudian hari. Lain halnya dengan tanah berbutir halus (lempung, lanau halus), yang umumnya mempunyai sifat daya rembesan air yang relatif rendah (high compressibility). Air dapat keluar dari pori-pori butiran tanah dalam jangka waktu lama, sehingga penurunan yang mungkin terjadi akibat pemampatan tanah membutuhkan waktu yang lama dan patut diperhitungkan. (Balai Bendungan, 2008)



Gambar 2. Grafik Hubungan Pemampatan Awal Dan Konsolidasi Skunder

Umumnya lebar puncak bendungan, adalah sekitar 10~15 m bagi bendungan dengan tinggi diatas 15 m, sekitar 5 m bagi bendungan rendah. Lebar puncak bendungan, sering diestimasi berdasar rumus-rumus empiris sbb:

- ICOLD $b = 3,6 H^{1/3} - 3,0$ (1)
- USBR $b = 3,6 H^{1/3} - 1,5$ (2)
- Merriman $b = 0,2 H + 1,5$ (3)
- Trautwine $b = 0,6 + 1,1 H^{1/2}$ (4)

Dimana:

b = lebar puncak bendungan

H = tinggi bendungan

Sebagian besar penurunan terjadi pada masa konstruksi; penurunan yang terjadi pasca konstruksi umumnya kurang dari 1 % terhadap tinggi bendungan. Penurunan pada bendungan urugan batu dapat diperkirakan dengan rumus empiris berikut:

$$S = 0,001 H^{3/2} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

S = Penurunan total

H = Tinggi Bendungan

Penurunan pada puncak bendungan urugan tanah pasca konstruksi, dapat diperkirakan salah satunya dengan menggunakan rumus empiris berikut:

$$\Delta H = \frac{1}{2E} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot T$$

$$E = \frac{p_0 - p_x}{\frac{e_0 - e_x}{1 + e_0}} = \frac{1}{-m_v} \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

γ : berat jenis bahan tubuh bendungan

H: tinggi bendungan

T: koefisien penurunan (antara 0,3 s/d 0,5), yang didasarkan pada bendungan dan kecepatan pelaksanaan penimbunannya).

P_0 : tegangan efektif permulaan (beban pendahuluan).

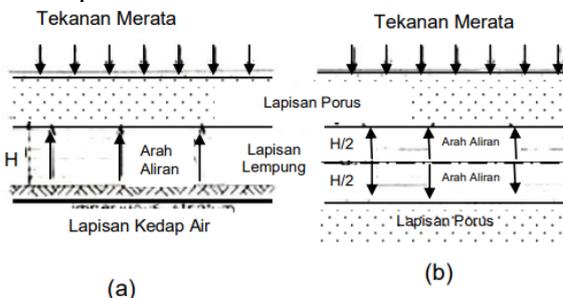
P_x : tegangan efektif setelah penimbunan mencapai ketebalan x mete

e_0 : angka pori pada keadaan tegangan P_0 .

e_x : angka pori pada keadaan tegangan P_x .

m_v : koefisien kompresi volume.

Waktu konsolidasi (t), adalah sesuai dengan proses disipasi (berkurangnya) tekanan air pori berlebihan (excessive pore pressure). Pada awalnya beban yang bekerja diterima seluruhnya oleh air di dalam pori-pori massa tanah dan secara bertahap (time dependent) ditransfer pada butiran tanah.



Gambar 3. Arah aliran disipasi tekanan air pori, (a) satu arah aliran, b (dua arah aliran)

$$t_v = (a.H)^2 \frac{T_v}{C_v} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

t = waktu konsolidasi

a = konstanta aliran; aliran satu arah = 1; aliran dua arah = 0,5

H = ketebalan lapisan yang ditinjau (m)

C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal ($m^2 / detik$)

t_v = faktor waktu, sesuai dengan tingkat konsolidasi (U) yang terjadi, sesuai grafik hubungan T_v dan U,

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Analisis

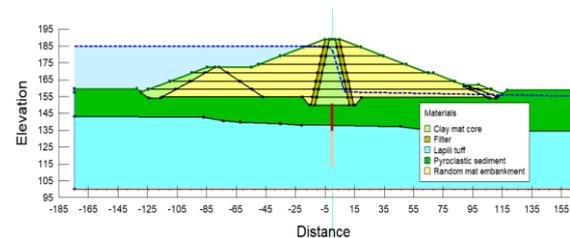
Berikut parameter yang digubkan dalam perhitungan menggunakan software geostudio

Tabel 1. Parameter analisis

No.	Material	γ wet	γ Sat	C	ϕ	C'	ϕ'	e	E	K (permeability)
		gr/cm ³	gr/cm ³	kg/cm ²	°	kg/cm ²	°		Kpa	cm/det
1	Zona 1 (Inti)	1,87	1,82	17	18,6	0,05	28	1,2	4.147	1,74E-06
2	Zona 2 (Filter)	1,89	2,18	0	36			0,5	50.000	3,86E-02
3	Zona 3 (Transisi)	1,88	1,99			0,36	29°59'9"	0,8	55.000	1,02E-03
5	Zona 4 (Random)	2,18	2,01	0,15	36,0			0,8	90.000	4,18E-04
6	Zona 5 (Rip rap)	2,48	2,36	0	40,0			0,1	250.000	1,00E-01
7	Pondasi	2,45	2,32	0	40			0,9	125.000	1,50E-05

Geometri Pemodelan

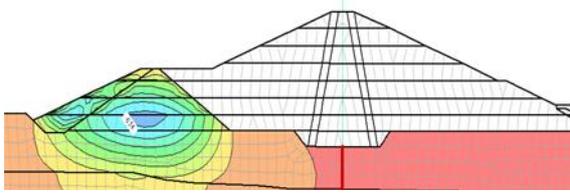
Dalam perhitungan settlement pada bendungan, dimodelkan bahwa timbunan melalui beberapa tahapan. Perhitungan setiap tahapan konstruksi 5m untuk tiap layer-nya. Sesuai gambar di bawah ini.



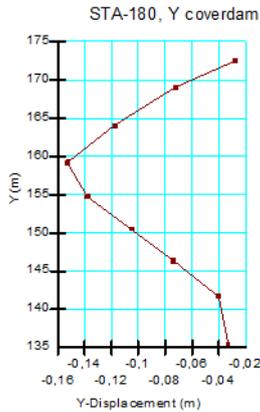
Gambar 4. Geometri Pemodelan Dengan Sigma W

Hasil Running Sigma W

Penurunan selama konstruksi timbunan coverdam, Bangunan coverdam tersusun dari material Zona 4 random dan Zona 1 Inti. Saat konstruksi coverdam digunakan sebagai jalur lalulintas material untuk proses timbunan, dari hasil running di dapat total penurunan sebesar 0,14 m



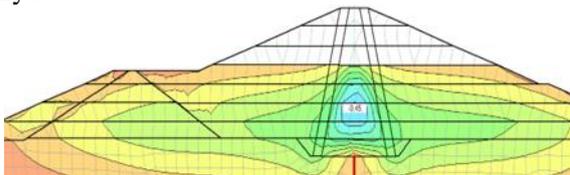
Gambar 5. Hasil running timbunan coverdam



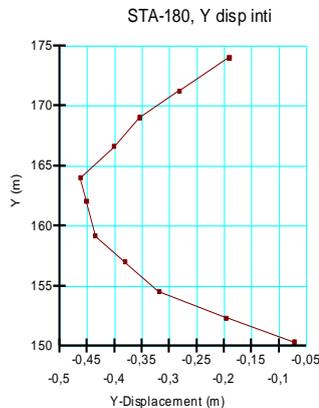
Gambar 6. Grafik hubungan besar displacement terhadap elevasi coverdam.

Penurunan tertinggi pada bangunan coverdam sebesar 0,14 m, diketahui elevasi pondasi cover dam +150,00 dan puncak coverdam El +172,00.

Penurunan selama konstruksi timbunan inti dipengaruhi oleh banyak faktor. Salah satunya kondisi material inti pada saat proses penimbunan harus disesuaikan dengan kadar airnya.



Gambar 7. Hasil running proses timbunan mencapai 1/2 dari tinggi bendungan



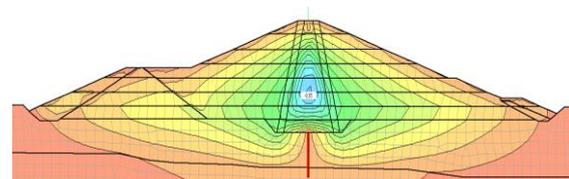
Gambar 8. Hasil running penurunan timbunan pada el + 174,00 (1/2 H bendungan)

Proses pekerjaan timbunan pada El +174,00 atau 1/2 dari tinggi bendungan, merupakan titik settlement terbesar. Dari hasil analisis di dapat penurunan sebesar 0,45 m. Dari hasil analisis tersebut, maka pada puncak bendungan diperlukan camber/ timbunan extra. Yang bertujuan untuk mengantisipasi berkurangnya tinggi jagaan (freeboard) akibat penurunan puncak bendungan. Berikut desain camber / timbunan extra puncak bendungan.

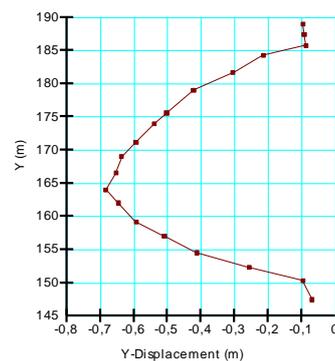


Gambar 9. Desain timbunan extra (camber)

Penyesuaian puncak bendungan untuk menyesuaikan penurunan timbunan inti jangka pendek/ pada saat masa konstruksi dan penurunan jangka panjang atau konsolidasi. Berikut hasil analisis Penurunan jangka pendek selama konstruksi.



Gambar 10. Hasil running selesai timbunan

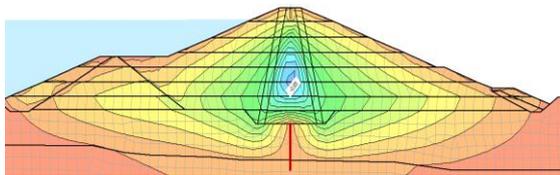


Gambar 11. Hasil running penurunan timbunan sampai dengan puncak bendungan saat konstruksi

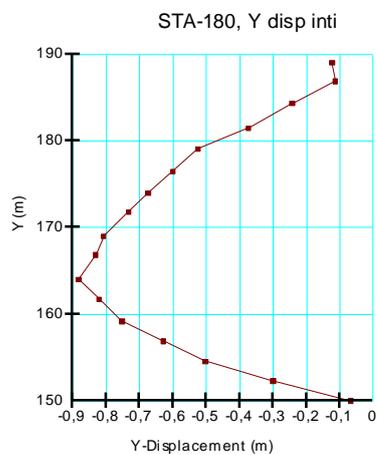
Lama pelaksanaan pekerjaan timbunan selama 2 tahun. Di mulai dari pondasi El +150,00 s/d El 190,00 Puncak bendungan yang sudah dilakukan penyesuaian dengan

menambah timbunan extra. Jadi total tinggi bendungan dari pondasi hingga puncak (crest dam) 40 m. Diketahui total penurunan jangka pendek selama konstruksi sebesar 0,65 cm.

Proses pengisian waduk (impunding) dilaksanakan setelah proses timbunan selesai. penurunan jangka panjang akibat konsolidasi terjadi. lama konsolidasi diperhitungkan selama 10 tahun.



Gambar 12. Hasil running konsolidasi selama 10 th



Gambar 13. Hasil running penurunan timbunan sampai dengan puncak bendungan waktu konsolidasi 10 th.

Dari hasil analisis selama 10 tahun akibat konsolidasi sebesar 0,95 m. Maka perlu penyesuaian puncak bendungan dengan menambahkan timbunan extra 1 m pada posisi timbunan tertinggi dari pondasi.

4. SIMPULAN

Dari hasil analisis yang sudah dilakukan di dapat kesimpulan sebagai berikut :

- Timbunan coverdam menggunakan material random berbutir kasar, sehingga mengalami penurunan sebesar 0,14 cm.

- Pelaksanaan timbunan setelah mencapai $\frac{1}{2}$ dari tubuh bendungan penurunan pada El 174,00 mencapai 0,45 cm. Kondisi tersebut sambungan pipa inclinometer perlu di tinjau kembali.

- Proses konstruksi timbunan dilaksanakan selama 2 tahun, di dapat total penurunan sebesar 0,65 m

- Konsolidasi di rencanakan selama 10 tahun, total penurunan sebesar 0,95 m. Maka pada puncak bendungan perlu ditambahkan camber 1m, dan disesuaikan pada ketinggian terhadap pondasi yang paling dalam.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada direksi teknis dan supervisi Bendungan Jragung serta para dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Batik Surakarta.

6. DAFTAR PUSTAKA

Balai Bendungan. (2008). Prinsip Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. In Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar.

Soetjiono, C. (2010). Gagasan Revitalisasi Bendungan Urugan dalam Mendukung Pengelolaan Sumber Daya Air. *Jurnal Sumber Daya Air*, 6(1), 59–74.

PT Metana. (2011). Review FS dan DD Waduk Pidekso di Kabupaten Wonogiri. Laporan Akhir.

Departemen Kimpraswil, 2002. Pedoman Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan. RSNi T01-2002.