

Analisis Stabilitas Bendung Studi Kasus Bendung Peusangan

HADI NUR FADILLA¹, IMAM ASCHURI²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung,
Indonesia

2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung,
Indonesia

Email : hadi.nur@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Bendung Peusangan merupakan salah satu infrastruktur penting yang berfungsi untuk mengatur aliran air dan mendukung kebutuhan irigasi. Stabilitas bendung menjadi faktor utama untuk menjamin keberlanjutan fungsi dan keamanan konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas Bendung Peusangan dengan menggunakan metode elemen hingga melalui perangkat lunak Plaxis 2D. Analisis dilakukan dengan memodelkan kondisi geometri bendung serta parameter tanah berdasarkan data hasil penyelidikan lapangan dan laboratorium. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan terhadap potensi keruntuhan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa bendung masih berada pada kondisi stabil dengan nilai faktor keamanan yang memenuhi standar perencanaan. Namun demikian, terdapat indikasi konsentrasi tegangan dan deformasi pada area tertentu yang perlu mendapat perhatian lebih lanjut dalam perencanaan perkuatan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengelolaan dan pemeliharaan Bendung Peusangan, serta memberikan kontribusi bagi pengembangan kajian stabilitas bendungan menggunakan metode numerik.

Kata kunci: Bendung Peusangan, stabilitas bendung, Plaxis 2D, metode elemen hingga, faktor keamanan.

1. PENDAHULUAN

Bendung merupakan infrastruktur penting yang berfungsi mengatur aliran sungai, irigasi, penyediaan air baku, serta pembangkit listrik, sehingga stabilitasnya harus selalu terjamin untuk mencegah kerusakan seperti *piping*, rembesan, guling, maupun gaya angkat (*uplift*). Bendung Peusangan di Kabupaten Aceh Tengah merupakan bagian dari proyek PLTA dengan kapasitas 88 MW yang berperan strategis bagi energi, irigasi, dan penyediaan air bersih di wilayah sekitarnya. Bendung ini terletak di Sungai Peusangan dan sangat vital untuk mendukung irigasi sawah seluas lebih dari 5.000 hektar serta mengurangi risiko kekeringan. Kegagalan struktur bendung dapat menimbulkan bencana besar, sebagaimana yang terjadi pada beberapa insiden bendung lain di Indonesia, sehingga evaluasi stabilitas secara berkala sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas Bendung Peusangan menggunakan metode numerik berbasis elemen hingga dengan perangkat lunak Plaxis 2D, sehingga diperoleh gambaran komprehensif mengenai kondisi aktual bendung serta rekomendasi untuk pemeliharaan dan perkuatan di masa mendatang. Secara spesifik, penelitian ini mengevaluasi faktor keamanan terhadap guling dan geser, pola rembesan, serta distribusi deformasi pada dua kondisi hidrologi yang berbeda.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) telah menjadi alat standar dalam analisis geoteknik yang kompleks. Plaxis 2D merupakan perangkat lunak yang khusus dikembangkan untuk analisis deformasi dan stabilitas dalam mekanika tanah dan batuan (Brinkgreve et al., 2020). Keunggulannya terletak pada kemampuannya untuk memodelkan perilaku material non-linear, interaksi tanah-struktur, serta simulasi proses konstruksi bertahap.

Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak Plaxis 2D untuk analisis numerik. Data yang digunakan berasal dari hasil investigasi geoteknik berupa parameter tanah seperti kohesi, sudut geser dalam, berat isi, modulus elastisitas, dan *rasio Poisson*. Model geometri bendung dibuat dalam kondisi dua dimensi dengan asumsi *plane strain*. Analisis dilakukan pada dua kondisi muka air, yaitu kondisi normal dan kondisi banjir. Metode reduksi Phi-c digunakan untuk memperoleh nilai faktor keamanan (*safety factor*). Selain itu, pemodelan juga meninjau deformasi, distribusi tegangan, serta pola rembesan di bawah tubuh bendung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter Tanah yang Digunakan

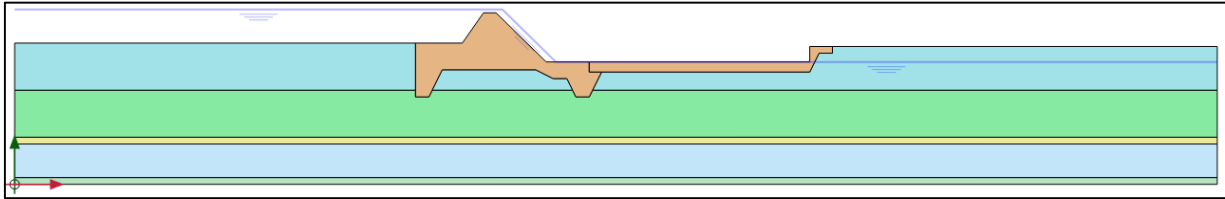
Berikut adalah parameter tanah yang digunakan pada pemodelan bendung untuk analisis stabilitas bendung menggunakan PLAXIS 2D yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Parameter Tanah yang Digunakan

Parameter Tanah	Lapis 1	Lapis 2	Lapis 3	Lapis 4	Lapis 5	Satuan
	<i>Loose Sand</i>	<i>Dense Sand</i>	<i>Medium Sand</i>	<i>Dense Sand</i>	<i>Very Dense Sand</i>	
Soil Model	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	-
Type	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	-
Kedalaman	0-7	7-15	15-17	17-23	23-25	meter
NSPT	4	41	23	34	52	-
yunsat	15	19	17	19	21	kN/m ³
ysat	18	21	20	21	22	kN/m ³
k_x	8,64	8,64	8,64	8,64	8,64	m/day
k_y	8,64	8,64	8,64	8,64	8,64	m/day
c'	1	1	1	1	1	kN/m ²
φ'	27,85	45,13	38,20	42,97	48,30	°
E50	3064	31406	16852	26044	39832	kN/m ²
Eoed	2451	25124,8	13481,6	20835,2	31865,6	kN/m ²
Eur	9192	94218	50556	78132	119496	kN/m ²
Vur	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	-
ψ	-	15,13	8,20	12,97	18,30	-

3.2 Pemodelan Bendung

Analisis stabilitas Bendung Peusangan dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS 2D. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan model material Hardening Soil untuk merepresentasikan karakteristik tanah dasar yang terdiri dari lima lapisan pasir dengan kepadatan berbeda. Analisis dilakukan pada dua kondisi hidrologi, yaitu kondisi air normal (muka air minimum) dan kondisi air banjir (muka air maksimum). Pemodelan Bendung dilakukan menggunakan PLAXIS 2D dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Pemodelan Tanah dan Struktur Bendung

3.3 Analisis Stabilitas Bendung pada Kondisi Air Normal

Pada kondisi air normal (elevasi muka air hulu +1173,50 m), simulasi numerik menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan (SF) global sebesar 2,375 pada bagian hilir bendung dan 2,618 pada bagian hulu. Kedua nilai ini jauh melebihi nilai faktor keamanan minimum yang disyaratkan ($SF \geq 1,5$), menunjukkan bahwa bendung berada dalam kondisi stabil. Bidang runtuh kritis teridentifikasi pada bagian hilir bendung, yang mengindikasikan bahwa daerah tersebut merupakan zona paling rentan terhadap kegagalan geser. Analisis rembesan menunjukkan bahwa kecepatan aliran air tercepat di bawah tubuh bendung mencapai 2,417 m/hari, dengan nilai total head tertinggi sebesar 26,01 m. Deformasi maksimum yang terjadi pada struktur bendung adalah 0,39 m dimana hasil tersebut masih dalam batas toleransi untuk struktur sejenis.

3.4 Analisis Stabilitas Bendung pada Kondisi Air Banjir

Pada kondisi banjir (elevasi muka air hulu +1178,00 m dan hilir +1173,50 m), nilai faktor keamanan global meningkat menjadi 6,810 di hilir dan 29,73 di hulu. Peningkatan nilai SF pada kondisi banjir disebabkan oleh tambahan beban vertikal dari air di hulu yang meningkatkan tahanan geser. Kecepatan aliran rembesan tertinggi adalah 2,016 m/hari, lebih rendah daripada kondisi normal, dengan total head maksimum 30,01 m. Deformasi yang terjadi sangat kecil, yaitu 0,025 m, menunjukkan bahwa struktur bendung tetap stabil pada kondisi pembebanan ekstrem.

3.5 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Bendung

Berdasarkan hasil analisis stabilitas bendung menggunakan PLAXIS 2D pada dua macam kondisi dapat direkapitulasi sebagai berikut pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Hasil Rekapitulasi Analisis Stabilitas Bendung

Parameter		Kondisi Air Normal	Kondisi Air Banjir	Kriteria Minimum	Keterangan
SF	Area Hilir	2,375	6,810	$\geq 1,5 / 1,3$	Aman
	Area Hulu	2,618	29,73	$\geq 1,5 / 1,3$	Aman
Deformasi Maksimum (m)		0,39	0,025	$\leq L/500$	Normal Tidak aman / Banjir Aman
Kecepatan Aliran Maks (m/day)		2,417	2,016		
Total Head Maksimum (m)		26,01	30,01		

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan Plaxis 2D, Bendung Peusangan masih dalam kondisi stabil baik pada saat muka air normal maupun banjir, dengan nilai *safety factor* yang jauh melebihi kriteria perencanaan minimum. Namun, terdapat konsentrasi tegangan, deformasi yang signifikan (0,39 m) pada kondisi normal, dan pola rembesan pada area tertentu yang perlu mendapat perhatian lebih lanjut. Oleh karena itu, pemeliharaan rutin serta perencanaan perkuatan pada struktur bendung sangat disarankan. Perkuatan dapat berupa penambahan *sheet pile* vertikal di area struktur bendung dengan kedalaman rekomendasi untuk mengurangi rembesan dan deformasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan bantuan selama proses penelitian hingga penyusunan jurnal.

DAFTAR RUJUKAN

- Bentley Systems. (2024). *PLAXIS 2D 2024.1 reference manual*. Bentley Systems, Inc.
- Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., & Swolfs, W. M. (2020). *PLAXIS 2D reference manual*. PLAXIS bv.
- Das, B. M. (2019). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Nanda, T. N. F., & Hamdhan, I. N. (2016). Analisis rembesan dan stabilitas bendungan Bajulmati dengan metode elemen hingga model 2D dan 3D. *Reka Racana: Jurnal Teknik Sipil*, *2*(4), 148–159.
- Schmertmann, J. H. (1970). Static cone to compute static settlement over sand. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, *96*(3), 1011–1043.
- Shahrbanozadeh, M., Toufigh, M. M., & Toufigh, V. (2015). Uplift pressure under hydraulic structures: A numerical modeling approach. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *7*(5), 584–591. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.06.005>
- Sukirman, R. (2014). *Stabilitas bendungan tipe urugan*. ITB Press.