

ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN VARIASI KONSISTENSI TANAH ASLI DAN TANAH TIMBUNAN

Valencia Renata¹, Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Valencia.325189102@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
aniekp@ft.untar.ac.id

Masuk: 19-01-2022, revisi: 10-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-22-2022

ABSTRACT

Retaining wall is a structure that is built to retain inclined land or on land where its stability is easily disturbed. However, it is also common to find landslides at project sites where retaining walls have been installed. The failure of this retaining wall is generally caused by a design that does not consider the soil conditions at the project site properly or due to other external factors. Thus, in designing retaining wall, soil properties and characteristics, both original and embankment soil, should be well calculated. The purpose of this study is to compare 5 designs of gravity retaining walls in 2 soil conditions that have different consistency of original and embankment soil. The design of retaining walls is checked for shear stability, overturning, soil bearing capacity, global failure, and deformation. Calculation of lateral soil pressure is calculated using Rankine Theory, while the stability against bearing capacity failure is calculated using Hansen and Vesic equations. Analysis for stability against shear, overturning, and bearing capacity failure are calculated conventionally, while stability against global failure and deformation are calculated using the finite element method program with CPT and SPT data on project located in Bukit Asam, Palembang. and Buleleng Regency, Bali.

Keywords: retaining wall, subgrade soil, embankment soil, conventional method, finite element analysis

ABSTRAK

Dinding penahan tanah adalah suatu struktur konstruksi yang dibangun agar dapat menahan tanah yang mempunyai kemiringan atau lereng di mana tanahnya tidak stabil. Namun, tidak jarang ditemukan kasus tanah longsor pada lokasi proyek yang sudah dipasang dinding penahan tanah. Kegagalan dinding penahan tanah ini umumnya diakibatkan desain yang tidak sesuai dengan kondisi tanah pada lokasi proyek atau akibat faktor eksternal lainnya. Oleh karena itu, dalam mendesain dinding penahan tanah, parameter dan sifat-sifat tanah, baik tanah asli maupun tanah timbunan, penting untuk diperhitungkan. Tujuan dari studi ini adalah untuk membandingkan 5 desain dinding penahan tanah tipe gravitasi pada 2 kondisi tanah yang memiliki konsistensi tanah asli dan timbunan yang berbeda. Perencanaan dinding penahan tanah dicek terhadap stabilitas geser, guling, kapasitas daya dukung tanah, keruntuhan global, dan deformasi. Tekanan lateral tanah dihitung dengan menggunakan Teori Rankine, sementara perhitungan stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah dihitung berdasarkan persamaan Hansen dan Vesic berdasarkan karakteristik dan data teknis tanah. Analisis kestabilan geser, guling, dan kapasitas daya dukung dilakukan dengan metode konvensional, sementara perhitungan kestabilan terhadap keruntuhan global dan deformasi dilakukan dengan menggunakan bantuan program berbasis metode elemen hingga dengan menggunakan data sondir dan N-SPT pada proyek di daerah Bukit Asam, Palembang dan Kabupaten Buleleng, Bali.

Kata kunci: dinding penahan tanah, tanah asli, tanah timbunan, metode konvensional, metode elemen hingga

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah longsor adalah bencana alam yang terjadi akibat berpindahnya material pembentuk lereng yang berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng. Longsoran umumnya terjadi di daerah perbukitan atau lereng di mana terdapat perbedaan elevasi tanah akibat adanya daya dorong (*driving force*) yang lebih besar gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor. Untuk mencegah kelongsoran, salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan membangun struktur

dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah atau *retaining wall* adalah bangunan yang berfungsi untuk menahan tekanan lateral tanah yang ditimbulkan oleh tanah di belakang dinding penahan tanah (Hardiyatmo, 2008).

Tanah timbunan dengan ketinggian tertentu yang ditimbun di belakang dinding penahan seringkali menimbulkan pergeseran dan momen guling pada struktur dinding penahan tanah. Jika tidak dilakukan pekerjaan tanah seperti pemadatan atau pemotongan tanah sebelum dilakukan pembangunan dinding penahan tanah. Oleh karena itu, tidak menutup kemungkinan bahwa struktur dinding penahan tanah yang digunakan untuk menahan tanah timbunan dan tekanan-tekanan akibat beban-beban lain seperti beban merata, beban garis, dan tekanan air mengalami keruntuhan akibat faktor-faktor eksternal.

Pada tulisan ini, dilakukan analisis pada 2 lokasi yang memiliki kondisi tanah yang berbeda yang bertujuan untuk membandingkan desain dinding penahan tanah agar dapat menahan tanah dan mencegah terjadinya longsor dengan memperhitungkan faktor keamanan dinding terhadap pergeseran, pergulingan, penurunan daya dukung, dan keruntuhan global, serta membandingkan nilai defromasi yang terjadi pada dinding.

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, batasan-batasan masalah yang digunakan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada proyek di Bukit Asam, Palembang dan Kabupaten Buleleng, Bali.
2. Parameter tanah yang digunakan berdasarkan hasil pengujian tanah pada laboratorium dan pengujian tanah pada lapangan dari lokasi proyek.
3. Jenis dinding penahan tanah yang akan dianalisis adalah dinding penahan tanah kaku (*rigid retaining wall*), yaitu dinding gravitasi.
4. Analisis menggunakan metode konvensional dan program berbasis metode elemen hingga.
5. Muka air tanah diasumsikan berada jauh di bawah permukaan tanah.
6. Beban gempa dan air hujan tidak diperhitungkan.

Rumusan Masalah

Pembahasan yang dilakukan dalam rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada dinding penahan tanah pada masing-masing lokasi proyek.
2. Menganalisis pengaruh beban-beban yang bekerja terhadap gaya tekan lateral dinding penahan tanah.
3. Menganalisis pengaruh kondisi tanah pada masing-masing lokasi proyek terhadap nilai faktor keamanan dan deformasi dinding penahan tanah.
4. Menganalisis desain dinding penahan tanah yang paling efektif dan efisien untuk masing-masing kondisi tanah.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui beban-beban yang bekerja pada dinding penahan tanah pada masing-masing lokasi proyek.
2. Mengetahui pengaruh beban-beban yang bekerja terhadap gaya tekan lateral dinding penahan tanah.
3. Mengetahui pengaruh kondisi tanah pada masing-masing kondisi proyek terhadap nilai faktor keamanan dan deformasi dinding penahan tanah.
4. Mengetahui desain dinding penahan tanah yang paling efektif dan efisien untuk masing-masing kondisi tanah.

Kepadatan Tanah

Kepadatan tanah adalah proses meningkatnya kerapatan tanah dengan memperdekat jarak antarpartikel sehingga terjadi reduksi volume udara, tanpa terjadi perubahan volume air yang signifikan pada tanah tersebut. Pemadatan merupakan pemanfaatan energi mekanis untuk meningkatkan kerapatan tanah guna menghasilkan pemampatan partikel (Bowles, 1991). Tanah yang dipadatkan dengan cara yang benar akan dapat memperbaiki kuat geser tanah serta mengurangi kompresibilitas tanah. Dengan demikian, tanah yang lebih padat cenderung memiliki nilai kuat geser yang lebih tinggi.

Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah untuk memberikan gaya perlawanan terhadap desakan atau tarikan berupa tegangan geser yang terbebani. Kuat geser pada setiap jenis tanah disebabkan oleh faktor yang berbeda-beda. Pada tanah kohesif, kuat geser tanah diperoleh dari kohesi atau lekatan antara butiran tanah (c tanah). Pada tanah

non-kohefif, kekuatan geser tanah diperoleh dari gesekan antara butiran tanah, sehingga disebut juga sebagai sudut geser dalam (ϕ tanah). Sementara pada tanah yang merupakan campuran antara tanah kohefif dan tanah non-kohefif, kekuatan geser tanah diperoleh dari lekatan dan gesekan antara butiran tanah (c dan ϕ tanah) (Das, 2014).

Dinding Penahan Tanah

Struktur dinding penahan tanah berfungsi sebagai penahan tekanan lateral tanah yang timbul akibat kondisi tanah timbunan atau tanah asli yang tidak stabil. Dinding penahan tanah dapat diklasifikasikan menjadi 2 kategori utama, yaitu dinding penahan tanah kaku (*rigid retaining wall*) dan dinding penahan tanah fleksibel (*flexible retaining wall*). Jenis dinding penahan tanah kaku antara lain dinding gravitasi (*gravity wall*), dinding semigravitasi (*semi-gravity wall*), dinding kantilever (*cantilevered wall*), dinding *counterfort* (*counterfort wall*), dan dinding *buttress* (*buttress wall*). Dinding gravitasi adalah dinding penahan yang dibuat dari beton tanpa tulangan atau pasangan batu. Dinding ini mengandalkan berat atau beban sendiri untuk stabilitas terhadap geser dan guling.

Desain dinding penahan tanah antara lain dipengaruhi oleh besarnya tekanan lateral tanah serta beban-beban yang bekerja pada dinding penahan tanah. Melalui parameter-parameter tanah asli dan tanah timbunan, seperti nilai berat jenis tanah (γ), kuat geser tanah (c dan ϕ), dan kemiringan tanah timbunan di belakang dinding, dapat dihitung besarnya tekanan lateral tanah serta kestabilan dinding terhadap berbagai faktor.

Tekanan Lateral Tanah

Menurut teori Rankine (1857) yang dikutip dari jurnal karya J. B. Halim (2020), analisis tekanan lateral tanah dilakukan pada keadaan keseimbangan plastis, yaitu kondisi pada saat massa tanah tepat akan mengalami keruntuhan. Titik keseimbangan plastis ini hanya akan tercapai jika deformasi yang cukup besar terjadi pada massa tanah.

Stabilitas Guling

Angka faktor keamanan terhadap penggulingan disyaratkan sebesar 2 berdasarkan ketentuan pada SNI 8460:2017. Angka faktor keamanan terhadap penggulingan (F_{gl}) dapat diperoleh dari persamaan:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \quad (1)$$

dengan $\sum M_w$ = jumlah momen yang melawan penggulingan (kNm), $\sum M_{gl}$ = jumlah momen yang menyebabkan penggulingan pada dinding penahan tanah (kNm).

Stabilitas Geser

Angka faktor keamanan terhadap penggeseran disyaratkan sebesar 2 berdasarkan ketentuan pada SNI 8460:2017. Angka faktor keamanan terhadap penggeseran (F_{gs}) dapat diperoleh dari persamaan:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \quad (2)$$

dengan $\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran (kN), $\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN).

Pengecekan Eksentrisitas

Nilai eksentrisitas terhadap titik yang terjadi pada struktur dinding penahan tanah dapat diperoleh dari persamaan:

$$e = \frac{B}{2 - \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{\sum P_v}} \quad (3)$$

dengan $\sum P_v$ = jumlah gaya-gaya vertikal (kN), B = lebar alas dinding penahan tanah (m).

Stabilitas Kapasitas Daya Dukung

Angka faktor keamanan terhadap kapasitas daya dukung disyaratkan sebesar 3 berdasarkan ketentuan pada SNI 8460:2017. Angka faktor keamanan terhadap kapasitas daya dukung (F_{qu}) dapat diperoleh dari persamaan:

$$F_{qu} = \frac{qu}{\sigma_{max}} \quad (4)$$

dengan qu = kapasitas daya dukung ultimit (kNm), σ_{max} = tegangan maksimum pada dasar fondasi (kNm).

Tegangan maksimum yang bekerja pada dasar fondasi dapat diperoleh dari persamaan:

$$\sigma_{max} = \frac{\sum Pv}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (5)$$

dengan e = eksentrisitas beban (m).

Sementara daya dukung ultimit (qu) pada fondasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma_{atasfondasi} N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B \gamma_{bawahp} N_\gamma \quad (6)$$

dengan d_c , d_q , d_γ = faktor kedalaman, i_c , i_q , i_γ = faktor kemiringan beban, N_c , N_q , N_γ = faktor daya dukung, D_f = kedalaman pemasangan fondasi (m), γ = berat jenis tanah (kN/m³).

2. METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Data proyek yang ditinjau dalam penelitian ini berlokasi di daerah Bukit Asam, Palembang dan Kabupaten Buleleng, Bali. Kumpulan data untuk analisis diperoleh dari hasil peninjauan di lokasi proyek dengan mengolah dan merekapitulasi hasil uji tanah yang telah dilakukan. Data yang digunakan untuk analisis adalah data hasil pengujian CPT (sondir), pengujian N-SPT (*Standard Penetration Test*), hasil pengujian laboratorium, dan kondisi awal di lapangan.

Metode Analisis Data

Sebelum analisis dilakukan, terlebih dahulu dilakukan studi literatur agar seluruh objek dan metode dalam penelitian dapat dipahami. Studi literatur dilakukan melalui berbagai buku dan jurnal. Hasil studi literatur digunakan sebagai landasan teori untuk menganalisis pembebanan pada dinding penahan tanah, serta perhitungan stabilitas terhadap guling, geser, dan kapasitas daya dukung tanah untuk menahan struktur dinding penahan tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Tanah

Parameter tanah yang dibutuhkan untuk proses analisis diperoleh dari hasil pengujian laboratorium serta korelasi dari data SPT dan sondir yang tersedia untuk masing-masing proyek. Korelasi parameter tanah menggunakan teori dan pendekatan yang tercantum dalam buku *Soil Mechanics* karya R. V. Whitman (1969). Hasil rekapitulasi parameter tanah yang digunakan dalam proses analisis untuk masing-masing proyek dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Parameter Tanah pada Proyek Bukit Asam, Palembang

Depth (m)	Soil Type	Consistency	γ_{sat} (kN/m ³)	e_0	C_c	C_s	S_u (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)	OCR	P_c' (kPa)	E_u (MPa)
0 - 6	Clayey Sandy Silt	Firm to Stiff	19	0,44	$\frac{0,12}{3}$	0,086	300	28,5	60	90	3200	100
6 - 11,5	Clay	Very Hard	21	0,56	$\frac{0,12}{3}$	0,086	630	25	140	30	5200	170
11,5 - 17	Clayey Sandy Silt	Hard to Very Hard	20,5	0,56	$\frac{0,12}{3}$	0,086	590	28	115	19	5080	150

Tabel 2. Rekapitulasi Parameter Tanah pada Proyek Buleleng, Bali

Depth (m)	Soil Type	Consistency	γ_{sat} (kN/m ³)	e_0	Cc	Cs	Su (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)	OCR	Pc' (kPa)	Eu & E' (MPa)
0	2,5	Gravelly Sand	Very Loose	14				28	5			18,24
2,5	7,5	Gravelly Sand	Medium Dense	16,5				34	11			18,24
7,5	10,5	Gravelly Sand	Dense	19				36	20			18,24
10,5	12,5	Sandy Silt	Hard	22	0,701	0,11	0,06	320	42	27	2500	63
12,5	16,5	Sandy Silt	Hard	21	0,701	0,11	0,06	285	42	16,5	2050	63
10,5	18,5	Sandy Silt	Hard	21	0,701	0,11	0,06	300	42	13	2075	63
18,5	20,5	Sandy Silt	Hard	22	0,701	0,11	0,06	340	42	12	2220	63
20,5	22,5	Sandy Silt	Hard	21	0,701	0,11	0,06	285	42	9	1820	63
22,5	24,5	Sandy Silt	Hard	22	0,701	0,11	0,06	400	42	10,5	2400	63
24,5	31	Sandy Silt	Hard	22	0,701	0,11	0,06	380	42	7	1900	63

Gambaran Umum Proyek

Pada kondisi 1, tanah asli merupakan tanah eksisting pada proyek Bukit Asam, Palembang yang sudah dipadatkan setiap 30 cm hingga mencapai kepadatan optimal dan tanah timbunan merupakan tanah yang diambil dari lokasi proyek Kabupaten Buleleng, Bali di mana tanah memiliki konsistensi sangat lepas dengan N-SPT 2 dan nilai sudut geser 28°. Sementara pada kondisi 2, tanah asli merupakan tanah eksisting pada proyek Kabupaten Buleleng, Bali dan tanah timbunan merupakan tanah urug dari lokasi proyek Bukit Asam, Palembang yang dipadatkan setiap 30 cm hingga mencapai kepadatan optimal tanpa dengan nilai kohesi 60 kPa atau 6,118 ton/m² dan sudut geser 28,5°.

Fondasi Dangkal

Beban bangunan sebesar 68 ton disalurkan dari kolom ke fondasi, sehingga diperlukan perancangan fondasi dangkal untuk mengetahui besarnya tekanan lateral yang diakibatkan oleh beban bangunan ke dinding penahan tanah. Perhitungan syarat penurunan dan daya dukung tanah untuk desain fondasi dangkal menggunakan persamaan Terzaghi, Janbu, dan Streinbrenner yang diambil dari buku *Advanced Foundation Engineering* oleh V.N.S. Murthy (2007).

Pada kondisi 1, fondasi didesain selebar 2 m dan diletakkan pada kedalaman 1,5 m, sehingga besarnya tegangan yang bekerja di dasar fondasi adalah 17 ton/m². Hasil perhitungan tegangan lateral tanah akibat pembebanan fondasi pada kondisi 1 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Tegangan Lateral Tanah oleh Fondasi Dangkal untuk Kondisi 1

n	β (radian)	α (radian)	β (°)	α (°)	σ (ton/m ²)	σ (kN/m ²)
1	0,1244	1,2721	7,125	72,8884	2,4558	24,083
2	0,1974	1,0189	11,31	58,3783	3,0919	30,3208
3	0,245	0,8251	14,0362	47,2748	2,8595	28,0421
4	0,245	0,682	14,0362	39,0783	2,1126	20,7173
5	0,2709	0,5761	15,5241	33,0094	1,7551	17,2112

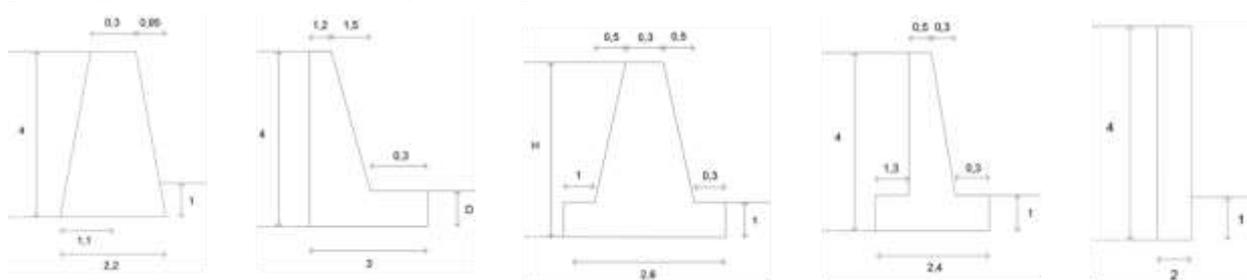
Pada kondisi 2, fondasi didesain selebar 2,5 m dan diletakkan pada kedalaman 1,5 m, sehingga besarnya tegangan yang bekerja di dasar fondasi adalah 10,88 ton/m². Hasil perhitungan tegangan lateral tanah akibat pembebanan fondasi pada kondisi 1 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Tegangan Lateral Tanah oleh Fondasi Dangkal untuk Kondisi 2

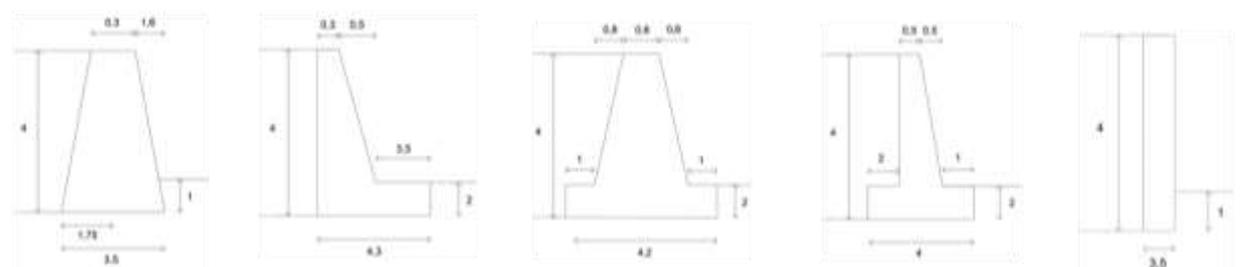
n	β (radian)	α (radian)	β ($^\circ$)	α ($^\circ$)	σ (ton/m ²)	σ (kN/m ²)
1	0,1171	1,2434	6,7098	71,2425	1,4531	14,2498
2	0,1799	0,9742	10,3048	55,8156	1,7025	16,6957
3	0,2187	0,7761	12,5288	44,4664	1,4866	14,5787
4	0,2129	0,6346	12,2005	36,3590	1,0400	10,1994
5	0,2337	0,5322	13,3925	30,4950	0,8410	8,2472

Alternatif Desain Dinding Penahan Tanah

Perhitungan faktor keamanan dinding penahan tanah terhadap stabilitas geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas daya dukung dilakukan secara manual melalui proses *trial and error* untuk mendapatkan dimensi dinding penahan tanah yang memenuhi keempat syarat kestabilan sesuai ketentuan faktor keamanan pada SNI (8460:2017). Sementara perhitungan stabilitas keruntuhan global dan deformasi dilakukan dengan menggunakan program berbasis metode elemen hingga. Analisis dilakukan terhadap 5 alternatif desain dinding penahan tanah pada masing-masing kondisi tanah. Desain dinding penahan tanah yang digunakan pada kedua kondisi tanah berdasarkan proses perhitungan secara *trial and error* dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Alternatif Desain Dinding Penahan Tanah untuk Kondisi 1



Gambar 2. Alternatif Desain Dinding Penahan Tanah untuk Kondisi 2

Analisis Faktor Keamanan dan Deformasi

Analisis kestabilan global lereng dalam penelitian ini menggunakan *shear strength reduction method* (metode reduksi kuat geser) dengan bantuan program berbasis metode elemen hingga. Metode ini diterapkan dengan mereduksi nilai kuat geser tanah secara bertahap hingga diperoleh nilai faktor keamanan yang paling kritis, sehingga nilai faktor keamanan yang didapatkan merupakan nilai paling minimum. Hal ini bertujuan agar desain perkuatan tanah memenuhi kriteria aman pada kondisi kuat geser tanah dengan nilai terendah. Contoh hasil output berdasarkan analisis kestabilan global program dengan menggunakan program berbasis metode elemen hingga dapat dilihat pada Gambar 3.

Reached values	
Reached total time	10,00 day
CSP - Relative stiffness	0,3431E-12
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	81,53 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,532

Gambar 3. Contoh Hasil Output Program untuk Alternatif 2 Desain 1

Pada output terdapat nilai ΣM_{sf} yang merupakan nilai faktor keamanan kritis terhadap kestabilan global, di mana:

$$FK = \frac{\text{kuat geser semula}}{\text{kuat geser saat terjadi longsor}} = \text{nilai } \Sigma M_{sf} \text{ pada saat longsor}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis dengan menggunakan program berbasis metode elemen hingga, maka hasil nilai faktor keamanan dan deformasi untuk masing-masing alternatif desain dari setiap kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Faktor Keamanan dan Deformasi untuk Setiap Alternatif Desain Dinding Penahan Tanah pada Kondisi 1

	Alternatif Desain 1	Alternatif Desain 2	Alternatif Desain 3	Alternatif Desain 4	Alternatif Desain 5
Faktor Keamanan terhadap Geser	1,92 > 1,5 (OK)				
Faktor Keamanan terhadap Guling	2,24 > 2 (OK)	2,1 > 2 (OK)	2,06 > 2 (OK)	2,07 > 2 (OK)	2,29 > 2 (OK)
Faktor Keamanan terhadap Eksentrisitas	0,36 < 0,37 (OK)	0,44 < 0,5 (OK)	0,35 < 0,43 (OK)	0,24 < 0,4 (OK)	0,09 < 0,33 (OK)
Faktor Keamanan terhadap Kapasitas Daya Dukung	24,04 > 3 (OK)	43,49 > 3 (OK)	44,71 > 3 (OK)	37,83 > 3 (OK)	23,28 > 3 (OK)
Faktor Keamanan terhadap Keruntuhan Global	1,46 < 1,5 (NOT OK)	1,53 > 1,5 (OK)	1,52 > 1,5 (OK)	1,57 > 1,5 (OK)	1,79 > 1,5 (OK)
Deformasi Total Maks. Tahap Konstruksi 1 (mm)	13,57	6,74	20,57	26,13	4,64
Deformasi Total Maks. Tahap Konstruksi 3 (mm)	15,38	15,38	15,38	15,03	15,02

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Faktor Keamanan dan Deformasi untuk Setiap Alternatif Desain Dinding Penahan Tanah pada Kondisi 2

	Alternatif Desain 1	Alternatif Desain 2	Alternatif Desain 3	Alternatif Desain 4	Alternatif Desain 5
Faktor Keamanan terhadap Geser	1,87 > 1,5 (OK)	3,08 > 1,5 (OK)	3,04 > 1,5 (OK)	2,95 > 1,5 (OK)	1,65 > 1,5 (OK)
Faktor Keamanan terhadap Guling	3,14 > 2 (OK)	2,53 > 2 (OK)	3,35 > 2 (OK)	4,82 > 2 (OK)	3,06 > 2 (OK)
Faktor Keamanan terhadap Eksentrisitas	0,52 < 0,58 (OK)	0,7 < 0,72 (OK)	0,67 < 0,7 (OK)	0,65 < 0,67 (OK)	0,47 < 0,5 (OK)
Faktor Keamanan terhadap Kapasitas Daya Dukung	49,5 > 3 (OK)	71,79 > 3 (OK)	45,27 > 3 (OK)	28,66 > 3 (OK)	58,08 > 3 (OK)
Faktor Keamanan terhadap Keruntuhan Global	3,4 > 1,5 (OK)	4,7 > 1,5 (OK)	4,9 > 1,5 (OK)	4,4 > 1,5 (OK)	3,1 > 1,5 (OK)
Deformasi Total Maks. Tahap Konstruksi 1 (mm)	35,01	33,38	33,3	33,92	35,49
Deformasi Total Maks. Tahap Konstruksi 3 (mm)	2,48	17,95	18,03	17,84	17,8

Struktur dinding penahan tanah dimodelkan dalam 3 tahap konstruksi (*construction stage*). Tahap konstruksi pertama merupakan keadaan pada masa konstruksi dinding di mana terdapat beban konstruksi sebesar 1 ton/m² pada area tanah timbunan. Tahap konstruksi kedua merupakan tahap pembuatan galian untuk fondasi dangkal. Sementara tahap konstruksi ketiga merupakan keadaan pada masa konstruksi fondasi dangkal di mana terdapat beban kolom yang bekerja pada area galian sebesar 68 ton.

Melalui hasil analisis program pada Tabel 5 dan Tabel 6, dapat dilihat bahwa nilai deformasi total pada tahap konstruksi 1 lebih besar dari nilai deformasi total pada tahap konstruksi 3. Hal ini dikarenakan beban konstruksi dimodelkan tepat di belakang dinding penahan tanah. Sementara untuk tahap konstruksi selanjutnya, dilakukan *unloading* terhadap beban konstruksi dan kemudian pada tahap konstruksi 3 diberikan beban fondasi yang diletakkan pada galian yang berjarak 3 m dari dinding.

Analisis Efisiensi Dinding Penahan Tanah

Efisiensi dinding penahan tanah diukur berdasarkan kebutuhan material berupa pasangan batu, beton, dan pekerjaan galian tanah yang dibutuhkan untuk memasang struktur dinding penahan tanah. Dalam analisis, pekerjaan galian fondasi tidak diperhitungkan karena pada setiap kondisi, besarnya volume galian yang dibutuhkan untuk fondasi adalah sama untuk setiap alternatif desain. Perbandingan luas penampang dinding, jenis material, dan luas galian tanah untuk masing-masing alternatif desain dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Perbandingan Efisiensi Desain Dinding Penahan Tanah untuk Kondisi 1

	Luas Penampang Dinding (m ²)	Jenis Material	Luas Galian Tanah (m ²)
Alternatif Desain 1	5	Pasangan batu	1,8875
Alternatif Desain 2	8,85	Pasangan batu	3
Alternatif Desain 3	5	Pasangan batu	2,6

Alternatif Desain 4	4,35	Beton	2,4
Alternatif Desain 5	8	Beton	2

Tabel 8. Perbandingan Efisiensi Desain Dinding Penahan Tanah untuk Kondisi 2

	Luas Penampang Dinding (m ²)	Jenis Material	Luas Area Galian (m ²)
Alternatif Desain 1	7,6	Pasangan batu	3
Alternatif Desain 2	10,25	Pasangan batu	8,6
Alternatif Desain 3	11,2	Pasangan batu	8,4
Alternatif Desain 4	9,5	Beton	8
Alternatif Desain 5	14	Beton	3,5

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang sudah dilakukan baik secara manual maupun dengan bantuan program, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban yang bekerja pada dinding penahan tanah berupa:
 - Beban akibat tanah timbunan di belakang dinding penahan tanah.
 - Beban bangunan sebesar 68 ton yang kemudian didistribusikan ke fondasi dangkal sehingga besarnya tegangan pada dasar fondasi masing-masing sebesar 17 ton/m² untuk kondisi 1 dan 10,88 ton/m² untuk kondisi 2.
 - Beban luar tambahan seperti beban pemadatan akibat konstruksi yang diambil sebesar 1 ton/m² sesuai dengan ketentuan SNI 8470:2017.
2. Tanah timbunan di belakang dinding penahan tanah dengan variasi konsistensi yang berbeda antara tanah asli dan tanah timbunan pada kondisi 1 dan kondisi 2 memberikan pengaruh yang berbeda terhadap tekanan lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah. Tanah dengan konsistensi yang lebih padat memberikan tekanan lateral yang lebih besar, sehingga pada kondisi 2 nilai tekanan lateral aktif akibat dorongan tanah timbunan (Pa2) lebih besar, yaitu 116,8043 kN. Sementara pada kondisi 1 nilai tekanan pasif akibat dorongan tanah dasar (Pp2) lebih besar, yaitu 231,3614 kN.
3. Pada kondisi 1, tingkat kestabilan terhadap geser, guling, dan kapasitas daya dukung struktur dinding penahan tanah lebih tinggi dibanding dengan kondisi 2, sehingga desain dinding penahan tanah untuk kondisi 1 lebih ekonomis atau memiliki dimensi yang lebih kecil dibanding dengan kondisi 2.
4. Desain dinding penahan tanah yang efektif dan efisien untuk kondisi 1 adalah alternatif desain 4, yaitu dinding gravitasi beton dengan ketinggian total 4 m, lebar atas 0,5 m dan lebar bawah 2,4 m, serta panjang tumit dinding di belakang dan depan dinding masing-masing 1,3 m dan 0,3 m. Sedangkan untuk kondisi 2, dipilih alternatif desain 1, yaitu dinding gravitasi pasangan batu sebagai desain dinding penahan tanah yang paling efektif dan efisien dengan ketinggian total 4 m, lebar atas 0,3 m, dan lebar bawah 3,5 m.

Saran

Berdasarkan analisis dan proses pengerjaan dalam studi kasus ini, ditemukan beberapa hal yang bisa diperbaiki atau masalah yang belum terpecahkan. Beberapa hal yang dapat diperhatikan untuk studi lebih lanjut antara lain:

1. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat menjadi saran pada penulisan agar kedepannya model atau tipe dinding yang akan dianalisis agar lebih bervariasi dengan tambahan penulangan sehingga dapat menambah efisiensi desain dinding.

2. Data tanah berupa SPT dan CPT yang didapatkan diperoleh dari berbagai titik pengujian, sehingga akan lebih baik jika lebih banyak data hasil pengujian tersebut dikorelasi agar dapat mendapatkan hasil yang lebih optimal dalam proses analisis.
3. Untuk penelitian selanjutnya agar mempertimbangkan variasi ketinggian muka air tanah dan beban infiltrasi akibat air hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. (1991). *Sifat-Sifat Fisik dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- BSN. (2017). *SNI 8460:2017 Tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: BSN.
- Das, B. M. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering 8th Edition*. Boston: Cengage Learning.
- Halim, J. B. (2020). Analisis Dinding Penahan Tanah di Daerah Aliran Sungai dengan Menggunakan Program MIDAS GTS NX. *JMTS: Volume 3, No. 4*, 1067-1-76.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Fondasi 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Murthy, V. N. S. (2007). *Advanced Foundation Engineering*. New Delhi: CBS Publisher.
- Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.