

**Perencanaan Dinding Penahan Tanah *Concrete Cantilever*
Dengan Menggunakan Program *Plaxis*
(Studi Kasus : Jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui KM.264+600)**

**Restu Arga Winanda¹⁾
Setyanto²⁾
Yohanes Martono Hadi³⁾**

Abstract

Landslides in Bukit Barisan Selatan National Park (TNBBS) usually occur during the rainy season, because the intensity of the rain more than usual, causing soil to become saturated with water in which the soil is no longer able to accommodate the water into the pores so that the pore water will rise resulting in shear strength become so small that the land becomes unstable and prone to landslides. Plaxis is a computer program based on two-dimensional finite element method that is used specifically to perform deformation and stability analysis for various applications in the geotechnical field by modeling geometry and mesh elements based on cross section.

From the analysis of slope stability with a height of 10 m, the slope is expressed in critical condition. The countermeasures are carried out with three conditions, the slope with cantilevered wall strengthening B is considered safe because it has a safety factor value of 1.4953, and the smallest displacement and settlement value between two other conditions and satisfies the shear stability of $2.8200 > 2$ (Safe), the stability of overturning $3.9631 > 2$ (Safe) and soil bearing capacity is $2.2782 > 2$ (Safe).

Keywords: slope stability, safety factor, plaxis, cantilevered retaining wall.

Abstrak

Longsor di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) biasanya terjadi saat musim hujan, karena intensitas hujan yang lebih dari biasanya akan menyebabkan tanah menjadi jenuh air yang mana tanah sudah tidak mampu lagi menampung air kedalam porinya sehingga air pori akan naik yang mengakibatkan kuat geser tanah menjadi kecil sehingga tanah menjadi labil dan rawan terjadi longsor. *Plaxis* merupakan program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik dengan membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang.

Dari hasil analisis stabilitas lereng setinggi 10 m, lereng dinyatakan dalam kondisi kritis. Penanggulangan dilakukan dengan tiga kondisi, lereng dengan perkuatan dinding kantilever kondisi B dianggap aman karena memiliki nilai faktor aman 1,4953, dan nilai *displacement* dan *settlement* yang terkecil diantara dua kondisi lainnya dan memenuhi stabilitas geser $2,8200 > 2$ (Aman), stabilitas guling $3,9631 > 2$ (Aman) dan daya dukung tanah adalah $2,2782 > 2$ (Aman).

Kata kunci : stabilitas lereng, faktor aman, plaxis, sdinding penahan tanah kantilever.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. Surel : setyanto@eng.unila.ac.id.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. Surel: martono_kat@yahoo.co.id.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Longsor di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) biasanya terjadi saat musim hujan, karena intensitas hujan yang lebih dari biasanya akan menyebabkan tanah menjadi jenuh air yang mana tanah sudah tidak mampu lagi menampung air kedalam porinya sehingga air pori akan naik yang mengakibatkan kuat geser tanah menjadi kecil sehingga tanah menjadi labil dan rawan terjadi longsor. Longsor adalah suatu peristiwa geologi yang terjadi karena pergerakan masa batuan atau tanah dengan berbagai tipe dan jenis seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. Kelongsoran dapat terjadi pada setiap macam lereng, akibat berat tanah sendiri, ditambah dengan pengaruh yang besar dari rembasan air tanah, serta gaya lain dari luar lereng.

Teknologi di bidang konstruksi bangunan mengalami perkembangan pesat, termasuk teknologi dalam bidang geoteknik. Sudah banyak diketahui bersama bahwa untuk mempercepat dalam perhitungan dan meminimalisir kesalahan pada saat menghitung kesetabilan dinding penahan tanah dengan menggunakan program bantu *Plaxis*. *Plaxis* merupakan program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik dengan membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang .

1.2. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah :

1. Perencanaan ini dilakukan diruas jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui KM. 264+600 (39-19).
2. Dalam penelitian ini menggunakan dinding penahan tanah jenis beton bertulang dengan balok kantilever (*Reinforced concrete cantilever walls*).
3. Pemodelan penanganan dilakukan dengan 3 kondisi penempatan dinding kantilever pada lokasi penelitian.
4. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis V.8.2* untuk mengetahui nilai faktor aman

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Merencanakan dimensi dan stabilitas dinding penahan tanah terhadap bahaya penggeseran, penggulingan dan amblas pada dinding penahan tanah di jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui KM. 264+600 (39-19) dengan metode manual.
2. Evaluasi nilai faktor aman (*Safety Factor*) pada jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui KM. 264+600 (39-19) berdasarkan analisis menggunakan program komputer *Plaxis V.8.2*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain dapat memodelkan penanganan yang tepat untuk menangani longsor yang terjadi di sepanjang jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui, serta dapat mengetahui cara untuk mencari faktor aman dan alternatif perkuatan dinding penahan tanah dalam stabilitas lereng dan penanganan kelongsoran di wilayah perbukitan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) Lampung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lereng dan Longsoran

Wesley (1977) membagi lereng menjadi 3 macam ditinjau dari segi terbentuknya, yaitu :

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk akibat kegiatan alam, seperti erosi, gerakan tektonik dan sebagainya.
2. Lereng yang dibuat manusia, akibat penggalian atau pemotongan pada tanah asli.
3. Lereng timbunan tanah, seperti urugan untuk jalan raya.

Ada 3 tipe utama dari kelongsoran tanah, yaitu sebagai berikut :

1. Kelongsoran rotasi (*rotational slips*), yaitu kelongsoran yang bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran atau kurva bukan lingkaran.
2. Kelongsoran translasi (*translational slips*), cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal dibawah permukaan lereng.
3. Kelongsoran gabungan (*compound slips*), terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang lebih dalam. Hal ini umumnya terjadi karena reruntuhannya terdiri dari potongan kurva dan bidang.

2.2 Mengatasi Kelongsoran Lereng

Menurut Wesley (1977), ada dua cara untuk membuat lereng supaya menjadi lebih aman dan mantap, yaitu :

1. Memperkecil gaya penggerak atau momen penggerak, yaitu dengan mengubah bentuk lereng. Cara yang dilakukan yaitu : a. Membuat lereng lebih datar, yaitu dengan mengurangi sudut kemiringan; b. Memperkecil ketinggian lereng. Cara ini hanya dapat dipakai pada lereng yang ketinggiannya terbatas, yaitu dalam hal kelongsoran yang bersifat "*rational slide*".
2. Memperbesar gaya melawan, yaitu yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu : a. Dengan memakai *counterweight* yaitu tanah timbunan pada kaki lereng; b. Dengan mengurangi tegangan air pori; c. Dengan cara mekanis, yaitu dengan membuat dinding penahan tanah atau dengan memancang tiang.

2.3. Tegangan Efektif

Craig (1989) menjelaskan bahwa tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu partikel padat tanah (*solid skeleton*) yang membatasi pori-pori yang mengandung air maupun udara. Pada tanah jenuh, pengurangan volume hanya terjadi bila sebagian airnya dapat melepaskan diri dan ke luar dari pori-pori. Pada tanah kering atau tanah jenuh sebagian, pengurangan volume selalu mungkin terjadi akibat kompresi udara dalam pori-pori, dan terdapat suatu ruang kembali partikel tanah.

2.4. Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah menurut (Hardiyatmo, 2002), adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila pembebanan akan ditahan oleh :

- a. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
- b. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

2.5. Tekanan Tanah Lateral

Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan plastis, yaitu saat massa tanah pada kondisi tepat saat akan runtuh. Kedudukan keseimbangan plastis ini

hanya dapat dicapai bila terjadi deformasi yang cukup pada massa tanahnya. Besar dan distribusi tekanan tanah adalah fungsi dari perubahan letak (*displacement*) dan regangan (*strain*). (Hardiyatmo, 2003).

a. Tekanan tanah aktif adalah tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang mengalami keluluhan atau bergerak ke arah luar dari tanah urugan di belakangnya, sehingga menyebabkan tanah urug akan bergerak longsor ke bawah dan menekan dinding penahannya, sedangkan nilai banding tekanan horisontal dan tekanan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif atau K_a . (Hardiyatmo, 2003).

b. Menurut Hardiyatmo (2003), tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah yang terjadi saat gaya mendorong dinding penahan tanah ke arah tanah urugannya, sedangkan nilai banding tekan horisontal dan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah pasif atau K_p .

2.6. Metode *Plaxis*

Plaxis (Finite Elemen Code for Soil and Rock Analyses) merupakan suatu rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisis deformasi dan stabilisasi geoteknik dalam perencanaan-perencanaan sipil. Grafik prosedur-prosedur input data (*soil properties*) yang sederhana mampu menciptakan model-model elemen hingga yang kompleks dan menyediakan *output* tampilan secara detail berupa hasil-hasil perhitungan. Perhitungan program ini seluruhnya secara otomatis dan berdasarkan pada prosedur-prosedur penulisan angka yang tepat. (*Plaxis*, 2012).

Dalam penelitian ini ada data-data yang di perlukan yaitu mengenai nilai-nilai parameter yang penting untuk melakukan analisis kesetabilan lereng adalah geometri lereng, sifat fisik tanah, kohesi, sudut geser dalam dan berat isi tanah. Sampel tanah diambil di jl. liwa – simpang gunung kemala krui km.264+600 selanjutnya sampel diuji di laboratorium mekanika tanah jurusan teknik sipil fakultas teknik universitas lampung. Peneliti menggunakan data sekunder tersebut untuk analisis stabilitas lereng dan penanganannya dengan kondisi lereng yang sama dan jenis tanah yang sama. Data yang diperoleh digunakan sebagai input, adapun langkah-langkah dari program *plaxis* antara lain sebagai berikut :

- a. Menentukan *title* (judul), model, dan elemen pada kotak serta menuliskan perintah atau tujuan yang akan dipakai.
- b. Menuliskan dimensi tanah dari kasus yang akan dipelajari, yaitu sepanjang ke kiri, ke kanan, ke atas, dan ke bawah.
- c. Merangkai bentuk dimensi dari tanah tadi kemudian diberi beban.
- d. Menentukan nilai parameter tanah dengan menekan tombol *Maerial Sets* antara lain kohesi, rasio *poisson*, dan lain sebagainya.
- e. Prosedur selanjutnya dapat dipahami lebih lanjut dan lebih jelas lagi pada literatur yang diperoleh dari program *plaxis*.

2.6. Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Tekanan lateral yang terjadi dapat menyebabkan terjadinya geser dan guling. Selain itu hal penting yang harus diperhatikan adalah bentuk struktur dan pelaksanaan konstruksi di lapangan. Oleh karena itu, kestabilan dinding penahan tanah yang harus diperhitungkan antara lain kestabilan tanah terhadap bahaya guling, bahaya geser, serta kapasitas daya dukung.

- a. Stabilitas terhadap guling merupakan stabilitas yang ditinjau berdasarkan kondisi tanah yang terguling yang diakibatkan oleh tekanan tanah lateral dari tanah urug di belakang dinding penahan tanah. (Hardiyatmo, 2002)
- b. Stabilitas terhadap geser yaitu perbandingan gaya-gaya yang menahan dan mendorong dinding penahan tanah. Gaya-gaya yang menahan bahaya geser adalah gesekan antara tanah dengan dasar pondasi serta tekanan tanah pasif di depan dinding penahan tanah akibat tanah timbunan. (Hardiyatmo, 2002).
- c. persamaan kapasitas daya dukung untuk menghitung stabilitas dinding penahan tanah antara lain adalah menggunakan kapasitas dukung Terzaghi, Meyerhof dan Hansen. Persamaan Terzaghi hanya berlaku untuk pondasi yang dibebani secara vertikal dan sentris. (Hardiyatmo, 2002).

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini data diperoleh adalah data sekunder berupa data fisik tanah dan gambar penampang melintang yang didapat dari laboratorium mekanika tanah universitas lampung, sedangkan analisis dilakukan dengan tiga pemodelan perletakan dinding penahan tanah kantilever menggunakan program *Plaxis* untuk mencari nilai faktor aman dan menggunakan metode manual untuk memeriksa stabilitas dinding penahan tanah kantilever. Lokasi penelitian berada di jl. Liwa – simpang gunung kemala krui km.264+600.

Data-data yang diperlukan untuk menjalankan program *Plaxis* adalah : berat jenis tanah, berat volume tanah basah, berat volume tanah kering, angka poisson's, modulus elastisitas tanah, kohesi tanah efektif, sudut geser efektif, dan data penampang melintang lereng tinjauan.

3.1. Cara Analisis Menggunakan Program *Plaxis* v.8.2

- a. *Plaxis Input*, dalam menggunakan program *plaxis*, haruslah membuat pemodelan sesuai kondisi di lapangan.
- b. *Plaxis Calculations* digunakan setelah proses *input* pada pekerjaan yang kita tinjau telah selesai. Program ini dapat secara otomatis terbuka setelah memilih *toolbar calculate* pada akhir *input* program, Jika kalkulasi tidak dilakukan langsung setelah proses input, kita dapat membuka program ini dengan memilih *Calculation Program* pada *start menu*.
- c. *Plaxis Output* dapat dipanggil dengan mengklik *toolbar Plaxis output*, atau dari *start menu* yang bersesuaian dengan program *plaxis*. *Toolbar Calculation* pada *Calculation Program* pun dapat juga dipakai untuk masuk ke *output program*.
- d. *Plaxis Curves Program* dapat dipakai untuk menggambar kurva hubungan beban atau waktu terhadap *displacement*, diagram tegangan-tegangan dari lokasi yang sebelumnya dipilih pada *Calculation Program (select point for curve)*.

3.2. Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini didapat data-data berupa data kontur dan *cross sections* dan data sifat fisik tanah dari laboratorium mekanika tanah teknik sipil universitas lampung. Dalam menganalisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan program *plaxis* dengan tiga kondisi perletakan dinding penahan tanah yaitu kondisi A, dinding penahan tanah kantilever berada didasar lereng dengan kedalaman 10 meter. Kondisi B, dinding penahan tanah kantilever berada pada ketinggian 2,4 meter dari dasar lereng. Kondisi C, permukaan dinding penahan tanah kantilever diletakkan sejajar permukaan atas lereng. Setelah dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis* dan

mendapatkan nilai faktor aman, selanjutnya dinding penahan tanah kantilever dihitung stabilitas geser, guling dan daya dukung tanahnya. Kondisi yang memenuhi semua syarat keamanan stabilitas lereng dan secara teknis dapat dilaksanakan dilapangan, akan dipilih sebagai alternatif penanganan lereng.

4. Hasil dan Pembahasan

Faktor-faktor yang mempengaruhi kesetabilan lereng penting untuk diketahui karena merupakan acuan untuk melakukan upaya penanggulangan lereng. Dalam hal ini parameter yang penting untuk melakukan analisis kesetabilan lereng adalah geometri lereng, sifat fisik tanah, kohesi, sudut geser dalam dan berat isi tanah. Kesetabilan lereng akan tercapai apabila gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak. Adapun yang termasuk gaya penahan antara lain sudut geser dalam dan kohesi sedangkan untuk gaya penggerak antara lain gravitasi, berat isi tanah dan sudut lereng.

4.1. Karakteristik Lereng

Berdasarkan hasil pengamatan lereng dilokasi penelitian, didapatkan karakteristik lereng tinjauan dengan ketinggian lereng sedalam 10 meter dan sudut kemiringan lereng sebesar 53°. Adapun hasil percobaan untuk mengetahui sifat fisik tanah yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah teknik sipil universitas lampung adalah sebagai berikut :

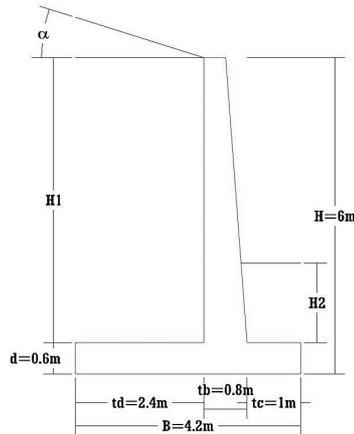
Tabel 1. Data Sifat Fisik Tanah

No.	Description (Undisturbed Sample)	Kedalaman (m)		
		2,00 – 5,00	6,00 – 7,00	16,00 -17,00
1.	Water Content (%)	47,29	65,65	47,37
2.	Density (gr/cm ³)	1,525	1,57	1,47
3.	Spesific Gravity	2,357	2,23	2,39
4.	Percent Lose No. 200 (%)	80,88	39,52	25,86
5.	Atterberg Limit			
	LL (%)	N.P.	54,31	N.P.
	PL (%)	N.P.	36,10	N.P.
	PI (%)	N.P.	18,22	N.P.
6.	Direct Shear Test			
	Cohesion (kg/cm ²)	0	0,1	0,01
	Internal Friction Angle (...°)	29,3	25,7	25,7

(Sumber : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Lampung.)

4.2. Penanganan Lereng KM.264+600

Penanganan perkuatan lereng dilakukan dengan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang kantilever dengan menggunakan tiga kondisi perletakan dinding penahan tanah dan menggunakan tanah timbunan untuk mendapatkan perkuatan lereng dengan nilai angka aman yang stabil. Penentuan dimensi dinding penahan tanah berdasarkan acuan desain dinding penahan tanah dan *trial and error* secara manual. Dimensi dinding penahan tanah yang didapat adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Dimensi Awal Dinding Penahan Tanah.

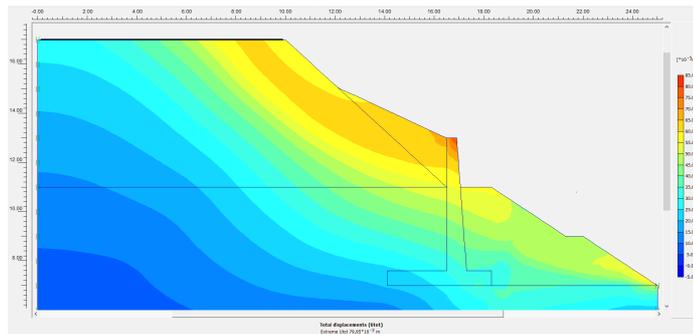
Data teknis dinding penahan tanah kantilever yang akan di *input* ke *plaxis* adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Data teknis desain dinding penahan tanah.

Properties	Simbol	Nilai	Unit
Model Material	Mode;		-
Material Behaviour	Type	Non Porus	-
Berat Volume Beton	γ	24	kN/m ³
Modulus Elastisitas	E	$2,3452 \times 10^7$	kN/m ²
Poisson's Ratio	ν	0,15	-

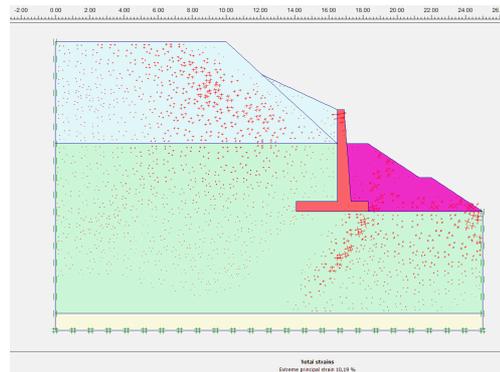
4.3. Analisis Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah Beton Kantilever

4.3.1. Hasil Analisis Lereng Kondisi A



Gambar 2. Tampilan *Total Displacement* Penanganan Kondisi A.

Warna biru yang terletak di lereng utama menggambarkan kondisi lereng tersebut aman dan tidak mengalami pergeseran dan warna merah bagian atas dinding penahan tanah adalah tempat yang paling besar mengalami pergeseran sebesar $79,95 \times 10^{-3}$ m.



Gambar 3. Tampilan *Total Strains* Penanganan kondisi A.

Tampilan *total strains* merupakan gambaran dari regangan pada partikel tanah yang terjadi pada daerah yang berpotensi mengalami penurunan (*settlement*). *Total strains* maksimum yang terjadi pada kondisi A adalah sebesar 10,19 %.

Nilai faktor aman yang didapat dari program *Plaxis* yang dilakukan pada kondisi A adalah sebesar $F_s = 2,0503$ atau berada pada posisi stabil ($F_s > 1,25$). Berikut adalah stabilitas dinding penahan tanah kantilever kondisi A.

1. Stabilitas terhadap geser

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} = \frac{282,1410}{76,0545} = 3,7097 > 2 \text{ (Aman)}$$

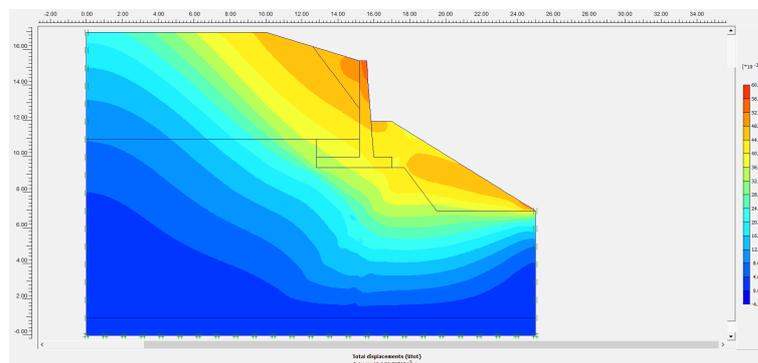
2. Stabilitas terhadap guling

$$F_{gl} = \frac{\sum M + (B \times P_{av})}{\sum M_h} = \frac{1070,8681}{444,2646} = 2,4104 > 2 \text{ (Aman)}$$

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

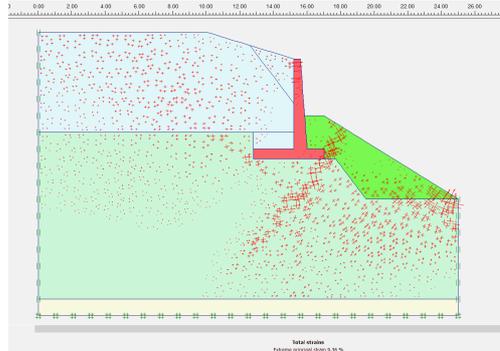
$$F = \frac{q_u}{q'} = \frac{317,8837}{164,6718} = 1,9122 < 2 \text{ (Tidak Aman)}$$

4.3.2. Hasil Analisis Lereng Kondisi B



Gambar 4. Tampilan *Total Displacement* Penanganan Kondisi B.

Luasnya gradasi warna menunjukkan besarnya luas lereng yang berpotensi mengalami perpindahan dan warna merah menunjukkan dimana pergeseran terbesar terjadi pada tanah timbunan mengalami pergeseran sebesar $56,25 \times 10^{-3}$ m.



Gambar 5. Tampilan *Total Strains* Penanganan Kondisi B.

Pada kondisi B lereng utama sudah tidak rentan terhadap *settlement*, hal itu di tunjukkan oleh kerapatan elemen merah yang hanya terjadi di tanah timbunan dan tanah bagian bawah dinding penahan tanah yang disebabkan oleh beban dinding penahan tanah tersebut. Hal tersebut lebih baik dari kondisi A ditunjukkan dengan angka *Total strains* maksimum yang terjadi pada kondisi B adalah sebesar 9,36 %.

Nilai faktor aman yang didapat dari analisis program *Plaxis* yang dilakukan pada kondisi B adalah sebesar $F_s = 1,4953$ atau lereng berada pada posisi aman ($F_s > 1,25$). Berikut adalah stabilitas dinding penahan tanah kantilever kondisi B.

1. Stabilitas terhadap geser

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} = \frac{266,0024}{93,0066} = 2,86 > 2 \text{ (Aman)}$$

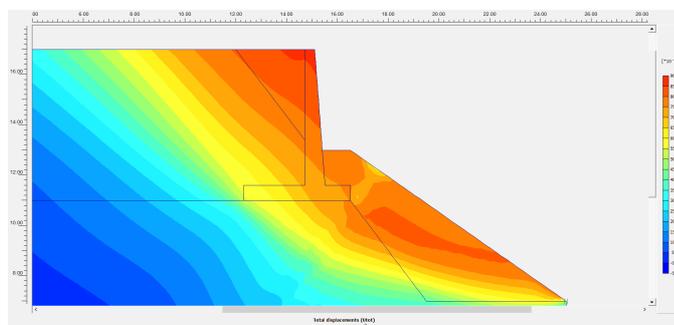
2. Stabilitas terhadap guling

$$F_{gl} = \frac{\sum Mw + (B \times P_{av})}{\sum M_h} = \frac{922,1939}{232,6975} = 3,9631 > 2 \text{ (Aman)}$$

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

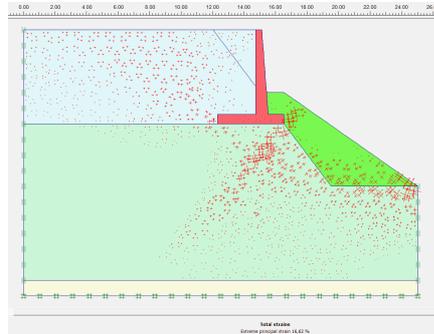
$$F = \frac{q_u}{q'} = \frac{813,2983}{84,5834} = 2,2782 > 2 \text{ (Aman)}$$

4.3.3. Hasil Analisis Lereng Kondisi C



Gambar 6. Tampilan *Total Displacement* Penanganan Kondisi C.

Warna biru yang terletak di lereng utama menggambarkan kondisi lereng tersebut aman dan tidak mengalami pergeseran dan warna merah menunjukkan dimana pergeseran terbesar terjadi pada bagian atas dinding penahan tanah sebesar $86,73 \times 10^{-3}$ m.



Gambar 7. Tampilan *Total Strains* Penanganan Kondisi C.

Angka *Total strains* maksimum yang terjadi pada kondisi C adalah sebesar 16,62 % karena kondisi tanah timbunan yang terlalu tinggi dari dasar lereng. Nilai faktor aman yang didapat dari analisis program *Plaxis* yang dilakukan pada kondisi C adalah sebesar $F_s = 1,4380$. Berikut adalah stabilitas dinding penahan tanah kantilever kondisi C.

1. Stabilitas terhadap geser

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} = \frac{235,1225}{64,1352} = 3,6660 > 2 \text{ (Aman)}$$

2. Stabilitas terhadap guling

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_h} = \frac{827,9176}{128,5076} = 6,4426 > 2 \text{ (Aman)}$$

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

$$F = \frac{q_u}{q'} = \frac{311,0781}{85,6508} = 3,6319 > 3 \text{ (Aman)}$$

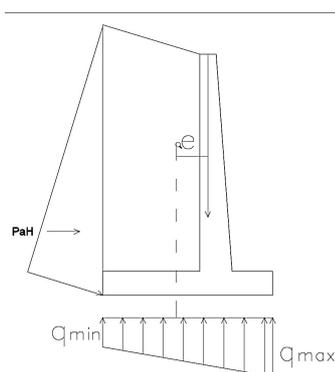
Hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever kondisi A, kondisi B dan kondisi C didapat angka stabilitas sebagai berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi hasil perhitungan faktor aman

Stabilitas	Faktor Aman (F_s)			
	Batas Aman	Kondisi A	Kondisi B	Kondisi C
<i>Plaxis</i>	1,25	2,0503	1,4953	1,4380
Geser	2,00	3,7409	2,8600	3,6660
<i>Guling</i>	2,00	2,4104	3,9631	6,4426
Daya Dukung	2,00	1,9122	2,2782	3,6319
Status		Tidak Aman	Aman	Aman

3.4. Perhitungan Tulangan Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan tabel 3, dinding penahan tanah kantilever yang akan dihitung penulangannya adalah dinding penahan tanah kantilever kondisi B karena memenuhi semua syarat stabilitas dinding penahan tanah dan memiliki nilai *displacement* yang kecil pada lokasi penelitian KM. 264+600 Dinding penahan tanah kantilever yang direncanakan menggunakan spesifikasi mutu baja (f_y) = 420 Mpa dan mutu beton (f'_c) = 25 Mpa.



Gambar 8. Gaya Vertikal dan Horizontal yang Bekerja pada Dinding Penahan Tanah

Perhitungan momen bagian badan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_u &= \left(\frac{P_{aH} \times (H-d)}{3} \right) \\
 &= \left(\frac{101,5690 \times (6-0,6)}{3} \right) \\
 &= 182,8246 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen bagian telapak adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q &= q_{min} + \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) \\
 &= 9,6268 + \left(\frac{51,7201 - 9,6268}{4,2} \right) \\
 &= 30,6737 \text{ kN/m}^2 \\
 M_u &= \frac{1}{8} q B^2 \\
 &= \frac{1}{8} 30,6737 \times 4,2^2 \\
 &= 67,6355 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

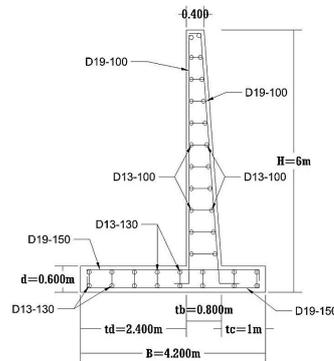
Tabel 4. Tulangan dinding kantilever bagian badan:

Loc	Moment		Rn	m	Control ($r_{max} < r < r_{min}$)				As	f	S	Aspakai
	Mu (kNm)	Mn (kNm)	Mpa	Mpa	rmax	rmin	rreq	rused	cm ²	mm	mm	cm ²
Mu	182,82	228,5	0,4063	19,76	0,019	0,003	0,001	0,0033	25,00	19	100	28,35
Mbg	SNI 2847-2013 (7.12.2.1)							0,0018	13,158	13	100	13,27

Tabel 5. Tulangan dinding kantilever bagian telapak:

Loc	Moment		Rn	m	Control ($r_{max} < r < r_{min}$)				As	f	S	Aspakai
	Mu (kNm)	Mn (kNm)	Mpa	Mpa	rmax	rmin	rreq	rused	cm ²	mm	mm	cm ²
Mu	67,635	84,5	0,2795	19,76	0,019	0,003	0,0006	0,0033	18,33	19	150	19,85
Mbg	SNI 2847-2013 (7.12.2.1)							0,0018	9,558	13	130	10,62

Sketsa penulangan dinding penahan tanah kantilever.



Gambar 9. Sketsa penulangan dinding

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding kantilever dengan program *Plaxis* adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis program *plaxis* sebelum dilakukan penanganan dengan dinding penahan tanah kantilever, kondisi lereng KM.264+600 secara umum mengalami kelongsoran disebabkan karena kondisi tanah yang tergolong memiliki sifat mekanis tanah yang rendah.
2. Pada kondisi A, dengan perletakan dinding penah tanah kantilever setinggi 6 meter berada di dasar lereng setinggi 10 meter, diperoleh nilai faktor aman (Fs) adalah sebesar 2,0503 dengan nilai *displacment* sebesar $79,95 \times 10^{-3}$ meter, besarnya nilai faktor aman disebabkan karena luas lereng yang mengalami *displacement* relatif kecil dan hanya terjadi di lereng utama.
3. Pada kondisi B, dinding penahan tanah kantilever setinggi 6 meter diletakan 2,4 meter dari dasar lereng, lereng utama dan tanah timbunan cenderung mengalami *displacement*, dengan nilai maksimum sebesar $56,25 \times 10^{-3}$ meter, hal ini mengakibatkan nilai faktor aman (Fs) menurun, yaitu sebesar 1,4953.
4. Pada kondisi C, permukaan dinding penahan tanah setinggi 6 meter diletakkan sejajar dengan permukaan lereng, tingginya perletakan dinding penahan tanah menimbulkan tekanan pada tanah didasar lereng dan mengakibatkan tanah timbunan pada dasar lereng juga mengalami *displacement*, sehingga didapat faktor aman (Fs) sebesar 1,4380 dan nilai *displacment* maksimum adalah sebesar $86,73 \times 10^{-3}$ meter.
5. Lereng dengan perkuatan dinding kantilever kondisi B dianggap lebih aman karena memiliki nilai *displacement* dan *settlement* yang terkecil serta memenuhi semua syarat stabilitas lereng yaitu stabilitas geser adalah $2,8200 > 2$ (Aman), terhadap guling adalah $3,9631 > 2$ (Aman) dan terhadap daya dukung tanah adalah $2,2782 > 2$ (Aman).
6. Struktur dinding penahan tanah kantilever kondisi B, bagian badan menggunakan tulangan D19-100, bagian telapak menggunakan tulangan D19-150 dan bagian tumit menggunakan tulangan D19-150.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil nalisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding kantilever dengan program *Plaxis*, saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut :

1. Untuk menghitung faktor keamanan sebaiknya menggunakan metode elemen hingga *Plaxis* karena sangat lengkap seperti *deformation, displacement, increments, effective strses, total strsess* dan masih banyak lainnya.
2. Dalam perencanaan dinding penahan tanah, perencana perlu mengetahui atau memahami lokasi yang akan dibangun dinding penahan tanah. Sehingga perencanaan dinding penahan tanah dapat diperhitungkan secara tepat menurut kondisi lapangan.
3. Untuk penelitian menggunakan *software* geoteknik selanjutnya diharapkan untuk lebih memahami cara pengoperasian, fasilitas yang disediakan, dan standar perhitungan yang digunakan terlebih dahulu supaya didapat hasil desain yang benar dan valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Craig, R.F., 1989, *Mekanika Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2003, *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Plaxis*, 2012, *Tutorial Manual*, A.A, Balkema, Rotterdam.
- Wesley, Laurence D., 1977, *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu*, Andi, Yogyakarta.