

Analisa Kestabilan Lereng dan Metode Penanganannya Pada Tanah Lempung Berpasir

Fadli Imran¹⁾
Lusmeilia Afriani²⁾
Ahmad Zakaria³⁾

Abstract

There are several factors that effect the level security of a slope. Such as the condition of a slope with large loads, steep slope and heavy rain condition. The landslide and slope would often occurs on some double track lines on Martapura – Baturaja train because of this things. Therefor, the reinforcement is needed so that the slope is more stable around the slope.

The results of physical and mechanical properties of the soil are based on the results of laboratory tests and research in the field. so the PLAXIS program was used in analyzing the stability of the existing slope based on the data. From the results of the program calculation shows that the condition of the slope is not stable. because the safety value indicates 0,89 for saturated conditions and 0,67 for dry conditions and 0,91 for partially saturated conditions. Furthermore, slope stability analysis who was reinforced by a combination of soil retaining wall and borepile. there has been an increase in safety value of 1,30 for saturated conditions, 1,66 for dry conditions and 1,65 for partially saturated conditions. This shows that the slope is stable and the reinforcement design is safe and able to withstand landslides.

Keywords : Analysis of Slope On Sandy Clay

Abstrak

Tingkat keamanan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor. Seperti kondisi lereng dengan beban yang besar, kemiringan yang curam dan kondisi hujan yang deras. Hal ini sering mengakibatkan terjadinya kelongsoran dan kemiringan sebagian jalur *double track* kereta api Martapura - Baturaja. Sehingga di sekitar lereng diperlukan perkuatan agar lereng tersebut lebih stabil.

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan penelitian di lapangan didapatkan hasil sifat fisik dan mekanis tanah. Dari data tersebut digunakan program PLAXIS dalam melakukan analisis stabilitas lereng eksisting. Hasil perhitungan program menunjukkan kondisi lereng tidak stabil. karena nilai angka keamanan menunjukkan 0,89 untuk kondisi jenuh dan 0,67 untuk kondisi kering dan 0,91 untuk kondisi jenuh sebagian. Selanjutnya dilakukan analisis stabilitas lereng yang diperkuat dengan kombinasi dinding penahan tanah dan bor pile. Diperoleh peningkatan nilai angka keamanan sebesar 1,30 untuk kondisi jenuh, 1,66 untuk kondisi kering dan 1,65 untuk kondisi jenuh sebagian. Ini menunjukkan lereng sudah stabil dan desain perkuatan tersebut aman dan mampu menahan kelongsoran.

Kata kunci : Analisa Lereng Lempung Berpasir

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

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

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Kereta api merupakan alat transportasi yang banyak diminati di Indonesia, dengan perkembangan ekonomi yang sangat pesat, faktor keamanan, efisien waktu dan harga tiket yang terjangkau bagi semua kalangan masyarakat, mendorong manusia untuk memanfaatkan kereta api sebagai alat transportasi darat. Untuk mewujudkan transportasi yang aman, nyaman, dan memiliki konstruksi yang tahan lama terutama jalur kereta yang berada pada daerah lereng, diperlukan sebuah analisis terhadap tingkat keamanan lereng dalam perencanaannya.

Tingkat keamanan suatu lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah faktor kemiringan dan beban yang bekerja di atasnya. Kondisi lereng dengan beban yang besar dan kemiringan yang curam dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran.

Ada beberapa metode dalam melakukan analisis stabilitas lereng, salah satunya yaitu metode elemen hingga untuk analisis deformasi atau perubahan bentuk. Analisis stabilitas lereng dengan metode ini sangat membutuhkan ketelitian dan ketekunan untuk mendapatkan hasil yang akurat, sehingga analisis dapat dilakukan dengan menggunakan program komputer. Dari banyak program analisis kestabilan lereng yang ada, ada salah satu program komputer yang menggunakan prinsip metode elemen hingga dalam analisis stabilitas lereng contohnya program *Plaxis*. Pada penelitian ini kajian dibatasi untuk masalah masalah sebagai berikut: Data tanah yang digunakan adalah data tanah yang di ambil sampelnya hanya di ruas jalur ganda yang berlokasi di Martapura – Baturaja. Lereng digambarkan dengan menggunakan pemodelan dua dimensi. Tanah urugan kembali (backfill) didalam zona tanah perkuatan menggunakan tanah timbunan. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak yaitu program *Plaxis*. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut : Mendapatkan nilai faktor keamanan lereng di jalur ganda kereta api Martapura-Baturaja, dapat menganalisis stabilitas lereng yang diberi beban merata dan perkuatan tanah menggunakan bantuan perangkat lunak, mengetahui solusi dan penanganan yang bisa digunakan untuk meningkatkan faktor keamanan pada lereng di jalur ganda kereta api Martapura-Baturaja. Hasil simulasi dan analisa ini dilakukan dengan menggunakan alat bantu *software Plaxis* untuk mengetahui nilai faktor keamanan pada lereng yang dianalisa.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan dan referensi untuk perancangan ulang struktur lereng dan perkuatan pada lereng yang ada atau untuk kasus yang sama pada tempat berbeda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan galian dan penimbunan tanah, batuan dan bahan galian, karena menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi. Keadaan ini berhubungan dengan terdapat dalam bermacam-macam jenis pekerjaan, misalnya pada pembuatan jalan, bendungan, penggalian kanal, penggalian untuk konstruksi, penambangan dan lain-lain.

Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah (Hariyatmo 2003), Indrawahjuni (2011) menambahkan apabila komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikembangkan oleh tanah pada bidang longsornya

terlampau, maka akan terjadi kelongsoran. Dengan kata lain, suatu lereng akan longsor apabila keseimbangan gaya yang bekerja terganggu yaitu gaya pendorong melampaui gaya penahan.

2.2. Lereng dan Longsoran

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor (Tjokorda, dkk, 2010). Ada 3 tipe utama dari kelongsoran tanah, yaitu sebagai berikut :

- 1) Kelongsoran rotasi (*rotational slips*), yaitu kelongsoran yang bentuk permukaannya 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 di bawah permukaan lereng.

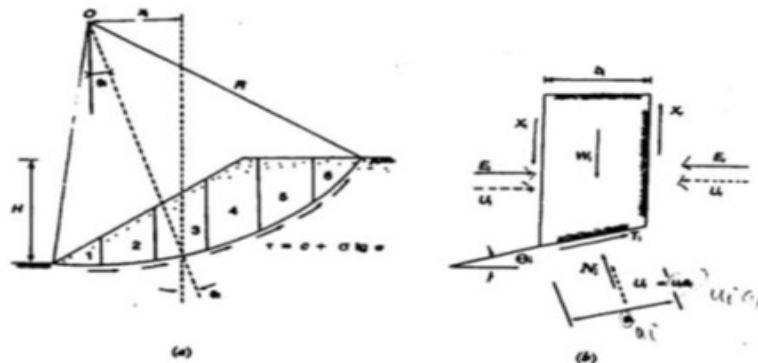
2.3. Perbaikan Lereng

Banyak cara dapat dilakukan untuk menambah stabilitas lereng, antara lain: pemotongan lereng, pembuatan berm, menurunkan muka air tanah, pemasangan tiang-tiang dan lain-lainnya (Hardiyatmo, 2003). Menurut Hardiyatmo metode perbaikan stabilitas lereng dibagi tiga kelompok, yaitu:

- 1) Metode geometri yaitu perbaikan lereng dengan cara mengubah geometri lereng.
- 2) Metode hidrologi yaitu dengan cara menurunkan muka air tanah atau menurunkan kadar air tanah pada lereng.
- 3) Metode-metode kimia dan mekanis yaitu dengan cara *grouting* semen untuk menambah kuat geser tanah atau memasang bahan tertentu (tiang) di dalam tanah.

2.4. Metode Irisan

Jika tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanah tidak menentu, cara yang lebih sesuai digunakan adalah dengan metode irisan. Menurut Hardiyatmo (2010), gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan. Ilustrasi dari metode irisan ini dapat dilihat pada gambar :



(Sumber: Hardiyatmo, HC. 2010. Mekanika Tanah II)

Gambar 1. Gaya - Gaya yang Bekerja pada Irisan (Sumber: Hardiyatmo, HC. 2010. Mekanika Tanah II)

Keterangan gambar:

X_1 dan X_r = gaya geser efektif disepanjang sisi irisan

E_1 dan E_r = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan

T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

U_1, U_r = tekanan air pori yang bekerja dikedua sisi irisan

U_i = tekanan air pori didasar irisan

2.5.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. 1998).

2.6.Pengertian Kereta Api

Kereta api adalah sarana transportasi berupa kendaraan dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan kendaraan lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di rel. Kereta api merupakan alat transportasi massal yang umumnya terdiri dari lokomotif (kendaraan dengan tenaga gerak yang berjalan sendiri) dan rangkaian kereta atau gerbong (dirangkaikan dengan kendaraan lainnya). Rangkaian kereta atau gerbong tersebut berukuran relatif luas sehingga mampu memuat penumpang maupun barang dalam skala besar. Karena sifatnya sebagai angkutan massal efektif, beberapa negara berusaha memanfaatkannya secara maksimal sebagai alat transportasi utama angkutan darat baik di dalam kota, antarkota, maupun antarnegara.

2.7.Turap

Menurut bahan yang digunakan dalam hal perancangan pondasi turap, pondasi ini terdiri dari kayu, beton bertulang, dan baja.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di PUSLATPUR, PT KERETA API INDONESIA Km 208 Martapura, Sumatra Selatan. Pada daerah tersebut terdapat banyak lereng buatan yang dibuat untuk kepentingan transportasi KAI sehingga dibutuhkan analisis kestabilan lereng demi mengantisipasi bencana longsor yang akan timbul.

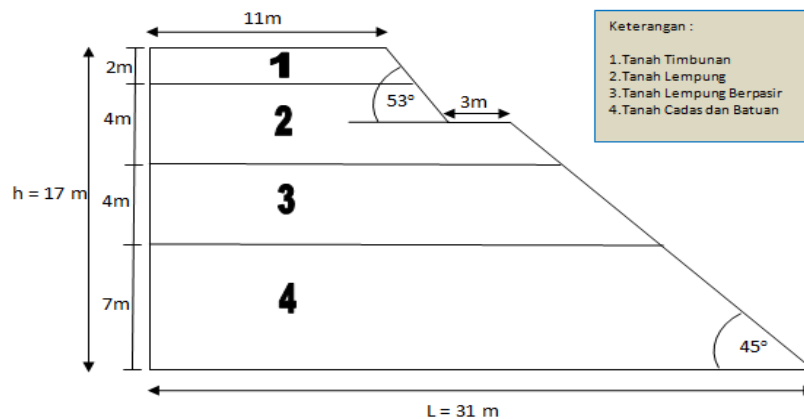
3.2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data sekunder, dimana data sekunder yang dipakai adalah berupa data-data hasil uji tanah pada lokasi penelitian di laboratorium mekanika tanah.

3.3. Tahapan Analisis Menggunakan PLAXIS.

3.3.1. Potongan Melintang Lereng

Langkah awal pada penelitian ini adalah menentukan bentuk dari potongan melintang lereng yang akan dianalisis. Pada penelitian ini kemiringan lereng dibuat dengan sudut 53° dan 45° dan dengan 4 lapisan tanah, di buat demikian agar menyerupai bentuk lereng asli dan mendapatkan bentuk lereng yang ideal. Berikut adalah tampilan potongan melintang lereng :

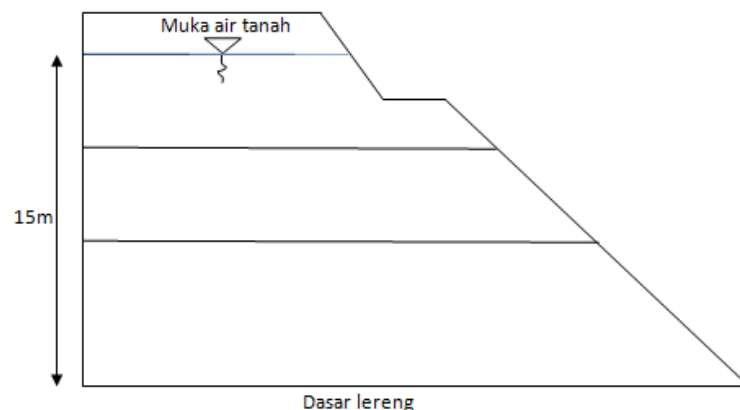


Gambar 2. Tampilan Potongan Melintang Lereng Asli

3.3.3. Penentuan Kondisi Analisis

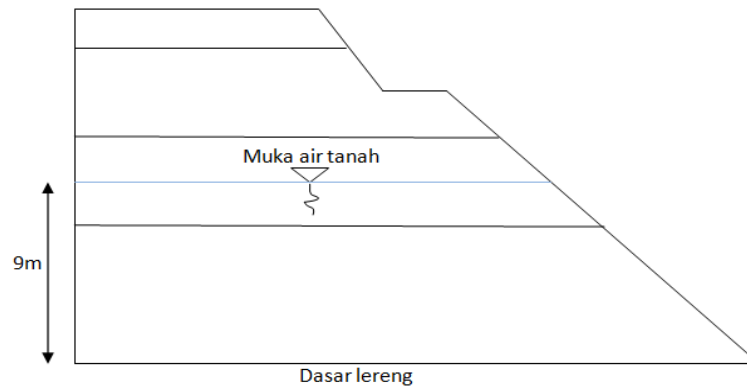
Langkah selanjutnya adalah menentukan kondisi yang akan dianalisis, apakah kondisi jenuh, kondisi jenuh sebagian, atau kondisi tidak jenuh, karena pada saat penggambaran akan disesuaikan tinggi muka air tanah pada lereng. Berikut adalah gambar lereng dengan 3 kondisi muka air tanah berbeda :

1) Pada analisa stabilitas lereng kondisi jenuh, yaitu kondisi dimana tinggi muka air tanah berada pada ketinggian 15 m dari dasar lereng. Berikut adalah tampilan letak muka air tanah lereng kondisi jenuh :



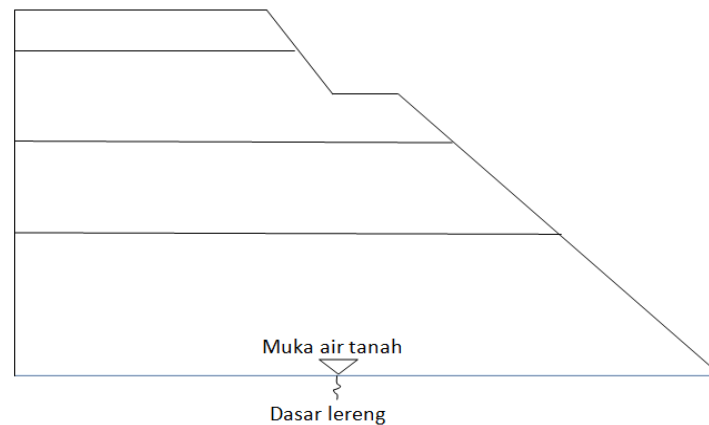
Gambar 3. Tampilan Letak Muka Air Tanah Lereng Kondisi Jenuh

2) Lalu pada analisa stabilitas lereng kondisi setengah jenuh, yaitu kondisi dimana tinggi muka air tanah berada pada ketinggian 9 m dari dasar lereng. Berikut adalah tampilan letak muka air tanah lereng kondisi jenuh sebagian :



Gambar 4. Tampilan Letak Muka Air Tanah Lereng Kondisi Jenuh Sebagian

3) Selanjutnya pada analisa stabilitas lereng kondisi tidak jenuh, yaitu kondisi dimana tinggi muka air tanah berada pada dasar lereng. Berikut adalah tampilan letak muka air tanah lereng kondisi tidak jenuh :



Gambar 5. Tampilan Letak Muka Air Tanah Lereng Kondisi Tidak Jenuh

3.3.4. Menganalisis Stabilitas Lereng Asli Menggunakan Program *Plaxis*

- 1) Melakukan input data untuk menentukan dimensi dan nama file, juga membuka lembar kerja baru.
- 2) Menggambar geometri lereng 2 dimensi.
- 3) Masukkan data-data tanah.
- 4) Melakukan penyusunan jaringan elemen.
- 5) Menentukan *Initial Condition* dan *Initial Pore Pressures* untuk menentukan kondisi muka air tanah (MAT) dan KO Procedure.
- 6) Melakukan *running program* atau perhitungan nilai faktor aman.
- 7) Menggambar bidang longsor lereng pada saat kondisi jenuh, jenuh sebagian dan tidak jenuh.

3.4. Memberikan Penanganan Pada Lereng Asli dan Menganalisis Stabilitas Lereng yang Telah Diberi Penanganan

Penanganan yang dilakukan pada lereng asli yaitu dengan cara memperkecil salah satu sudut kemiringan lereng. Hal ini dilakukan untuk menambah stabilitas lereng, agar konstruksi lereng kuat menahan bebannya sendiri untuk menghindari terjadinya kelongsoran. Setelah itu dilakukan kembali perhitungan faktor keamanan dengan 3 perbedaan kondisi muka air tanah pada lereng menggunakan program *plaxis v8.6* dan

menggambar bidang longsornya. Jika nilai faktor aman lereng yang dihasilkan $> 1,25$ maka, akan dianalisis lereng dengan pengaruh beban merata.

3.5. Menganalisis Lereng Dengan Pengaruh Beban Merata

Lereng yang sudah diberi penanganan sebelumnya dengan cara diperkecil salah satu sudutnya, selanjutnya diberi pengaruh beban merata. Beban yang diberikan diasumsikan sebesar 50T dan diletakkan pada permukaan lereng. Lereng dengan pengaruh beban merata ini kemudian dianalisis kestabilan nya menggunakan program *plaxis v8.6*, dalam 3 kondisi muka air tanah. Setelah didapatkan nilai faktor aman dari ketiga kondisi lereng tersebut, jika $FK < 1,25$ maka dilakukan perkuatan lereng.

3.6. Menganalisis Lereng Dengan Perkuatan Tanah

Perkuatan tanah dibutuhkan pada lereng untuk menahan pengaruh beban merata yang bekerja pada lereng. Dilakukan perkuatan dengan kombinasi *pile* dan dinding penahan tanah pada lereng. Lereng yang sudah diperkuat dengan kombinasi *pile* dan dinding penahan tanah akan di analisis kestabilan nya menggunakan program *plaxis v8.6*.

3.7. Pembahasan

Pembahasan ini berisi hasil-hasil dari analisis kestabilan lereng dalam beberapa kondisi berbeda dengan menggunakan program *Plaxis V.8.6*. Selain itu ditinjau penyebab kelongsoran berdasarkan besarnya sudut kemiringan lereng dan kandungan air dalam tanah pada lereng, serta menganalisis penanganan kelongsoran lereng yang telah terjadi dilapangan dengan menggunakan program *Plaxis V.8.6*.

3.8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil sesuai dengan pembahasan dan kemudian memberikan saran berdasarkan hasil analisis dengan program *Plaxis V.8.6* dengan membandingkan faktor keamanan pada saat tanah dalam kondisi tanah jenuh, jenuh sebagian dan tidak jenuh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Lereng

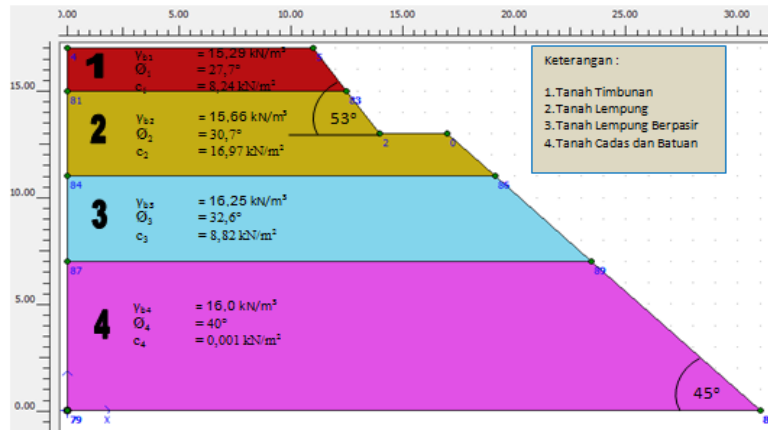
Berdasarkan hasil pengamatan lereng di lokasi penelitian, didapatkan karakteristik lereng tinjauan sebagai berikut :

- 1) Tinggi Lereng : 17 m
- 2) Kemiringan Lereng : 53° dan 45°
- 3) Lebar Lereng : 31 m

4.2. Analisis Stabilitas Lereng dengan PLAXIS v8.6

4.2.1. Lereng Eksisting (Lereng Kondisi Asli)

Lereng eksisting yang ditinjau memiliki tinggi sekitar 17 meter dan relatif curam, sehingga memungkinkan terjadi kelongsoran pada lereng tersebut sebelum nantinya diperkuat dengan struktur penahan tanah. Terdapat 4 data mekanis tanah dari laboratorium yang mewakili tiap lapisan dari geometri lereng yang telah digambarkan. Sampel tanah tersebut diambil pada kedalaman yang berbeda seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dan dikonversikan sesuai satuan yang ditentukan dalam *software*. Berikut adalah data sifat mekanis tanah hasil pengujian laboratorium pada BH 1 :



Gambar 6. Geometri Lereng dengan Data Tanah yang Telah di Masukkan.

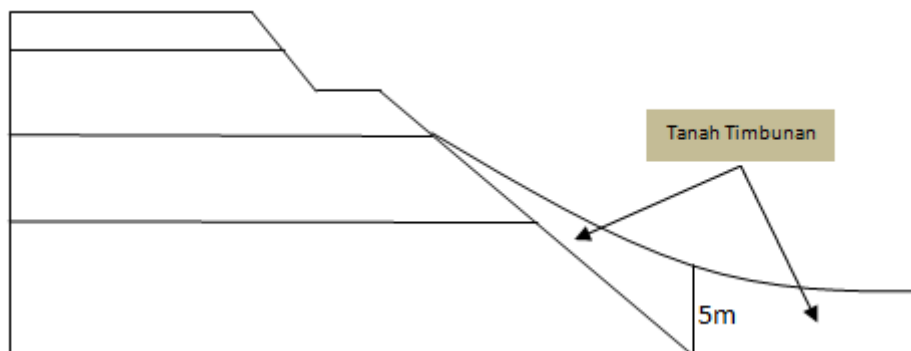
4.2.2. Hasil Analisis Lereng Eksisting (Kondisi Lereng Asli)

Tabel 1. Rekapitulasi Angka Keamanan Lereng Eksisting

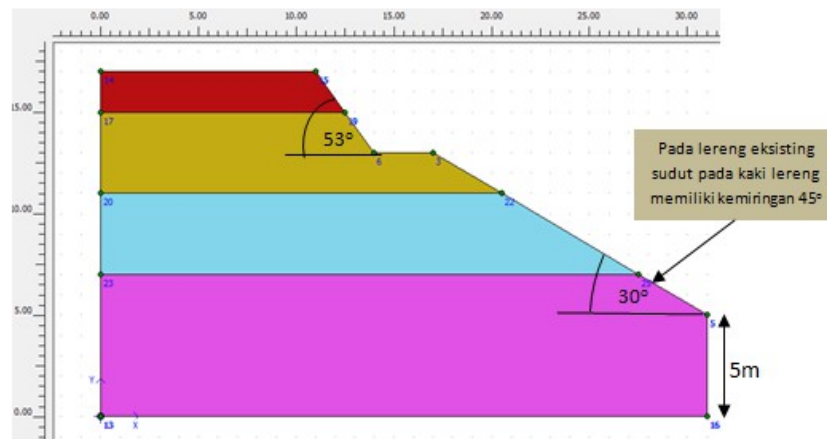
No	Kondisi Lereng	Angka Keamanan	Status	Kejadian/Intensitas Longsor
1	Tanah jenuh, MAT 15m dari dasar lereng	0,67	Tidak Aman	Longsoran terjadi biasa/sering (kelas labil)
2	Tanah tidak jenuh, MAT di dasar lereng	0,89	Tidak Aman	Longsoran terjadi biasa/sering (kelas labil)
3	Tanah jenuh sebagian, MAT 9m dari dasar lereng	0,91	Tidak Aman	Longsoran terjadi biasa/sering (kelas labil)

4.2.3. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Salah Sudut Kemiringan Lereng yang diperkecil dari 45° Menjadi 30°

Penanganan pertama yang dilakukan pada lereng eksisting adalah memperkecil salah satu sudut kemiringan nya. Yang pada mulanya sebesar 45° menjadi 30°, dengan cara penimbunan tanah pada kaki lereng tersebut.



Gambar 7. Penanganan Pada Lereng Dengan Timbunan Tanah



Gambar 8. Potongan Melintang Lereng Setelah Sudut Pada Kaki Lereng Dirubah
Analisis dari beberapa kondisi lereng dengan perubahan sudut kemiringan menggunakan program *PLAXIS* telah dapat diketahui hasilnya dan angka aman nya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 2.Rekapitulasi Angka Keamanan Setelah Perubahan Sudut Pada Kaki Lereng

No	Kondisi Lereng	Angka Keamanan	Status	Kejadian/Intensitas Longsor
1	Tanah jenuh, MAT 15m dari dasar lereng	1,25	Aman	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)
2	Tanah tidak jenuh, MAT di dasar lereng	1,59	Aman	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)
3	Tanah jenuh sebagian, MAT 9m dari dasar lereng	1,55	Aman	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)

4.2.4. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Pengaruh Beban Merata

Selanjutnya lereng eksisting yang telah diberi penanganan dengan memperkecil sudut kemiringannya diberi beban merata yang diasumsikan sebesar 50 T pada permukaan lereng sepanjang 11 m.

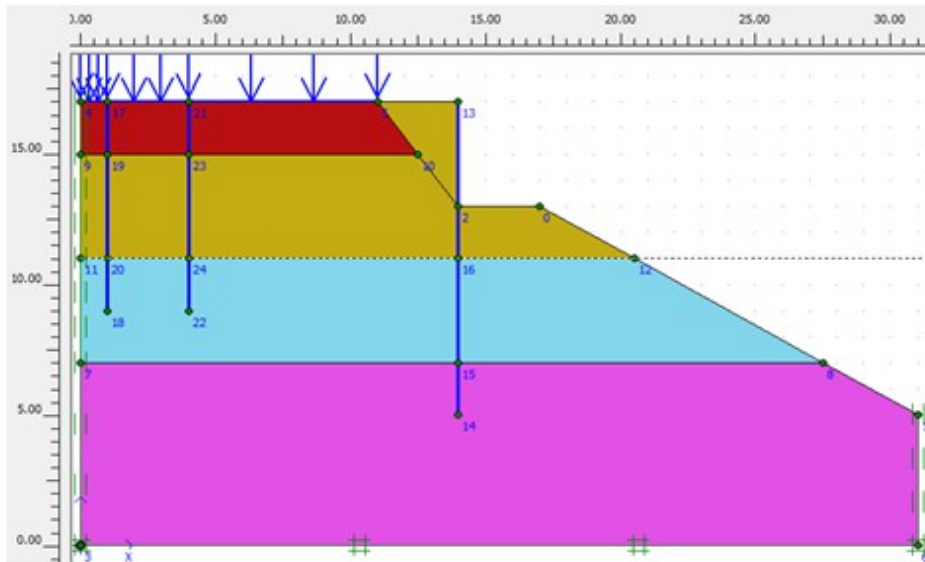
Analisis dari beberapa kondisi lereng setelah diberi beban merata dengan menggunakan perangkat lunak *PLAXIS* telah dapat diketahui hasilnya dan angka keamanan nya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 3.Rekapitulasi Angka Keamanan Setelah Lereng Dengan Pengaruh Beban Merata

No	Kondisi Lereng	Angka Keamanan	Status	Kejadian/Intensitas Longsor
1	Tanah jenuh	1,09	Tidak Aman	Longsoran pernah terjadi (kelas kritis)
2	Tanah tidak jenuh	1,10	Tidak Aman	Longsoran pernah terjadi (kelas kritis)
3	Tanah jenuh sebagian	1,11	Tidak Aman	Longsoran pernah terjadi (kelas kritis)

4.2.5. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Beban Merata dan Perkuatannya

Berikut adalah tampilan konstruksi lereng yang diberi beban merata dan diperkuat dengan *pile* sedalam 8m sebanyak 3 buah, dinding penahan tanah dan tanah timbunan.



Gambar 9. Konstruksi Lereng Setelah Diperkuat Dengan *Pile* dan Dinding Penahan Tanah
Berikut adalah hasil rekapitulasi angka keamanan stabilitas lereng yang telah diberikan perkuatan.

Tabel 4. Rekapitulasi Angka Keamanan Lereng Setelah Diperkuat Dengan *pile* dan Dinding Penahan Tanah

NO	KONDISI LERENG	ANGKA KEAMANAN	STATUS	Kejadian/Intensitas Longsor
1	Beban Merata, dinding penahan tanah dan <i>pile</i> jenuh	1,30	Aman	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)
2	Beban Merata, dinding penahan tanah dan <i>pile</i> tidak jenuh	1,66	Aman	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)
3	Beban Merata, dinding penahan tanah dan <i>pile</i> jenuh sebagian	1,65	Aman	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)

5. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain, Hasil analisis stabilitas lereng eksisting dengan menggunakan program PLAXIS menunjukkan kondisi tidak stabil karena dari hasil analisa diperoleh nilai angka keamanan 0,89 untuk kondisi kering, 0,67 untuk kondisi jenuh dan 0,91 untuk kondisi jenuh sebagian, sehingga diperlukan adanya perkuatan pada lereng tersebut. Dari hasil penelitian, perkuatan lereng dengan kombinasi dinding penahan tanah dan *pile* yang dipasang sedalam 8 meter sebanyak 3 buah dapat menahan lereng dari kelongsoran akibat beban merata. Dari hasil analisis menggunakan program PLAXIS diperoleh nilai angka keamanan sebesar 1,66 untuk kondisi kering, 1,30 untuk kondisi jenuh dan 1,65 untuk kondisi jenuh sebagian, sehingga desain perkuatan tersebut aman dan mampu menahan kelongsoran.

DAFTAR PUSTAKA

Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2003, *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2006, *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Tjokorda dkk, 2010, *Analisis Stabilitas Lereng Pada Badan Jalan Dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah*, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol 14 No 1 Januari 2010.

Indrawahjuni, Herlien. 2011. *Mekanika Tanah II*. Malang: Penerbit Bargie Media.