

**KAJIAN TENTANG ALTERNATIF STRUKTUR PENAHAN UNTUK
MENGATASI MASALAH PERGERAKAN TANAH PADA JALAN
PROVINSI TRENGGALEK-PONOROGO KECAMATAN TUGU
KABUPATEN TRENGGALEK JAWA TIMUR**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PENGETAHUAN DASAR
TEKNIK SUMBER DAYA AIR**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**MOHAMMAD ARY SUCAHYA SEPTIANSYAH
NIM. 145060407111022**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2020

RINGKASAN

Mohammad Ary Sucahya Septiansyah, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2020, Kajian Tentang Alternatif Struktur Penahan untuk Mengatasi Pergerakan pada Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur, Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Andre Primantyo Hendrawan, ST., MT.

Di wilayah Indonesia sering terjadi bencana alam, salah satu bencana alam tersebut merupakan bencana tanah longsor. Tanah longsor merupakan fenomena alam, yakni alam mencari keseimbangan baru akibat dari adanya gangguan yang menyebabkan terjadinya pengurangan kuat geser tanah. Bencana tanah longsor sering terjadi di daerah yang mempunyai kondisi topografi berbukit dan bergelombang.

Studi ini berada di jalan Provinsi-Trenggalek (Km 16+712-17+000), dimana dalam perencanaan pembangunan Bendungan Tugu terkendala keberadaan jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo, lokasi tersebut berada di posisi terdekat dengan tubuh Bendungan Tugu. Sebagai solusinya jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo harus di relokasi dengan memotong atau menggali lereng tersebut. Namun, aktivitas pemotongan atau galian tersebut ternyata dapat menyebabkan permasalahan lainnya yakni permasalahan stabilitas lereng bekas pemotongan atau galian dari lereng tersebut. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan ulang untuk stabilitas lereng dengan menggunakan bantuan *software* Geostudio 2012. Selain itu, dilakukan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam merencanakan struktur penahan tanah.

Berdasarkan hasil analisis lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012, dapat disimpulkan bahwa faktor keamanan lereng sebelum adanya alternatif pengamanan lereng sebagai berikut; (a) kondisi tanpa gempa pada *Cross* STA 0+075, *Cross* STA 0+125, dan *Cross* STA 0+175 nilai faktor keamanan < 1.50 , maka lereng tidak aman, (b) kondisi lereng dengan gempa < 1.25 , maka lereng tidak aman. Sedangkan hasil analisis lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012 setelah adanya alternatif sebagai berikut; (a) kondisi tanpa gempa, Alternatif 1 *bored pile*, Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever, dan Alternatif 3 dinding penahan tanah dengan *bored pile* nilai faktor keamanan > 1.50 , maka lereng aman, (b) kondisi dengan gempa, Alternatif 1 *bored pile*, Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever, dan Alternatif 3 dinding penahan tanah dengan *bored pile* nilai faktor keamanan > 1.25 , maka lereng aman. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam perencanaan pengamanan lereng yakni sebagai berikut; (a) Alternatif 1 *bored pile* sebesar Rp. 18,111,500,000,00 terbilang delapan belas milyar seratus sebelas juta lima ratus ribu rupiah, (b) Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever sebesar Rp. 4,923,600,000,00 terbilang empat milyar sembilan ratus dua puluh tiga juta enam ratus ribu rupiah, (c) Alternatif 3 dinding penahan tanah dengan *bored pile* sebesar Rp. 21,758,600,000,00 terbilang dua puluh satu milyar tujuh ratus lima puluh delapan juta enam ratus ribu rupiah.

Kata kunci: Stabilitas Lereng, *Bored Pile*, Dinding Penahan Tanah Kantilever, Faktor Keamanan, GeoStudio 2012.

Halaman Ini Sengaja Untuk
Dikosongkan



SUMMARY

Mohammad Ary Sucharya Septiansyah, Departement of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2020, *Study of Alternative Retaining Structures to Address Land Movement Problems on the Road of Trenggalek-Ponorogo Province Tugu District East Java*, Academic Supervisor: Dr. Eng. Andre Primantyo Hendrawan, ST., MT.

One of the natural disasters that had been occurred in Indonesia is landslide. Landslide is natural phenomenon that the nature find the new stability because of disturbance that leads to reduction of soil shear strength. Landslide disaster often occurs in area with hilly and wavy topography like mountain area.

This study conducted in Provincial Road of Trenggalek (Km 16+712-17+000), which included in construction planning of Tugu Dam. The location was in the nearest position within the main body of Tugu Dam. The solution is to relocate the Provincial Road of Trenggalek-Ponorogo by cutting or digging the surrounding slope. However, the cutting or digging activity can lead to the stability from that slope. Therefore, a recalculation is needed for slope stability using GeoStudio 2012's software. In addition, the budget plan for the planning of retaining structures is also calculated.

From the analysis results using GeoStudio 2012's software, the slope safety factor before reinforcement can be as follows: (a) slope without earthquake condition in Cross STA 0+075, Cross STA 0+125, and Cross STA 0+175 the safety factor number is < 1.25 , then the slope is unsafe; (b) slope with earthquake condition is < 1.25 , then the slope is unsafe. After the application of reinforcement, the safety factors are as follows: (a) without earthquake condition, Alternative 1 bored pile, Alternative 2 soil retaining wall with cantilever, and Alternative 3 soil retaining wall with bored pile the safety factor number is > 1.25 , then the slope is safe, (b) slope with earthquake condition, Alternative 1 bored pile, Alternative 2 soil retaining wall with cantilever, and Alternative 3 soil retaining wall with bored pile the safety factor number is > 1.25 , then the slope also safe. From the calculation of budget plan for the slope safety planning: (a) Alternative 1 bored pile is Rp. 18,111,500,000,00 (eighteen billion one hundred eleven million and five hundred thousand Rupiahs); (b) Alternative 2 soil retaining wall with cantilever is Rp. 4,923,600,000,00 (four billion nine hundred twenty three million and six hundred thousand Rupiahs); (c) Alternative 3 soil retaining with bored pile is Rp. 21,758,600,000,00 (twenty one billion seven hundred fifty eight million and six hundred thousand Rupiahs).

Key Words: *Slope Stability, Bored Pile, Soil Retaining Wall with Cantilever, Safety Factor, GeoStudio 2012.*

Halaman Ini Sengaja Untuk
Dikosongkan



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di wilayah Indonesia sangat banyak terjadi bencana alam, salah satu bencana alam yang sering terjadi adalah berupa tanah longsor. Peristiwa tanah longsor ini dikenal dengan gerakan tanah, batuan atau kombinasinya, sering terjadi pada lereng alami maupun lereng non alami. Tanah longsor sebenarnya merupakan fenomena alam, yakni alam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan atau faktor yang menyebabkan terjadinya pengurangan kuat geser serta peningkatan tegangan geser tanah (Suryolelono, 2005, p. 2).

Bencana alam seperti tanah longsor sering terjadi di beberapa wilayah di Indonesia. Beberapa faktor alami yang menyebabkan seringnya terjadi bencana tanah longsor tersebut antara lain banyak dijumpai gunung api yang masih aktif maupun non aktif, kemiringan lereng yang cukup curam, kondisi lahan yang berupa fungsi dan kondisi tanah yang kurang baik seperti tanah lempung (Rudiyanto, 2010, p. 1).

Tanah longsor atau biasa disebut dengan gerakan massa tanah (*mass movement*) merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di daerah yang mempunyai topografi berbukit dan bergelombang. Kejadian tanah longsor ini sulit terdeteksi akibat kurangnya perhatian pemerintah maupun masyarakat tentang hal-hal yang dapat mengakibatkan terjadinya bahaya tanah longsor tersebut. Akibat kurangnya perhatian dan pemahaman tersebut maka terjadilah bencana tanah longsor seringkali memberikan dampak kerusakan yang cukup besar, baik berupa bangunan maupun korban jiwa.

Dalam kasus tanah berlereng, terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, mengakibatkan komponen gravitasi dari berat cenderung menggerakkan massa tanah dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Dengan kata lain tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke bawah. Disamping gaya yang mendorong ke bawah terdapat pula gaya-gaya dalam tanah yang bekerja melawan atau menahan untuk menjaga kedudukan tanah pada lereng agar tetap stabil. Selain itu juga air hujan yang merembes ke dalam tanah juga berpengaruh terhadap kelongsoran. Struktur tanah merupakan salah satu faktor utama yang mengakibatkan terjadinya longsor.

Dalam pembangunan Bendungan di wilayah Indonesia sering terkendala dengan kondisi ketersediaan lahan. Salah satu contoh yakni, pada pembangunan Bendungan Tugu yang terkendala keberadaan jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000), dimana jalan tersebut berada di posisi terdekat dengan tubuh Bendungan Tugu. Sebagai solusinya jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo tersebut harus direlokasi dengan memotong atau menggali lereng. Namun bekas potongan atau galian tersebut ternyata dapat menyebabkan permasalahan atau kendala yang lainnya. Hal yang paling penting di daerah galian atau potongan adalah masalah stabilitas lereng bekas galian atau potongan tersebut. Kemungkinan terjadinya longsor lebih besar di daerah galian atau potongan dari pada timbunan karena dalam area galian rembesan air akan menuju lereng. Oleh karena itu diperlukan dan perhitungan ulang untuk stabilitas lereng dengan menggunakan bantuan *software* GeoStudio 2012.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari hasil investigasi geologi lapisan disekitar Bendungan Tugu, terdapat tanah aluvial yang harus digali dan diganti material yang memenuhi syarat untuk pondasi urugan material Bendungan. Penggalan lapisan tanah kolovial tersebut juga menyebabkan sebagian badan jalan akses utama Trenggalek-Ponorogo harus di relokasi ke lokasi yang lebih aman. Kondisi jalan yang berada di daerah lembah dan perbukitan menyebabkan kontruksi jalan harus dibangun dengan memotong atau menggali bukit dan membuat kontruksi pengamanan tebing baik untuk mengamankan lereng bukit yang terpotong atau yang terkali, maupun pengamanan lereng disisi lainnya. Hasil potongan atau galian itu dapat menyebabkan tanah tersebut labil dan rentah terjadi pergerakan tanah longsor.

Berdasarkan permasalahan yang telah dideskripsikan di atas, maka perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai:

“Kajian Tentang Alternatif Struktur Penahan untuk Mengatasi Masalah Pergerakan Tanah pada Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur”

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan diambil untuk mempersempit permasalahan yang akan dibahas dalam studi adalah dapat memberikan pemahaman yang terarah dan sesuai yang diharapkan. Adapun batasan-batasan masalah dari kajian ini yaitu:

1. Daerah kajian ini berada di jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur.
2. Membahas tentang kajian perencanaan alternatif struktur penahan tanah pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo.
3. Membahas tentang perhitungan analisis faktor keamanan lereng dengan menggunakan *software* GeoStudio 2012 dengan metode *bishop*.
4. Membahas tentang rencana anggaran biaya, hanya pada prioritas biaya bahan alternatif struktur penahan tanah pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo.
5. Tidak menghitung tulangan dan detail struktur dari alternatif struktur penahan tanah.
6. Tidak membahas tentang dampak lingkungan.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang sudah ada, maka dapat diperoleh rumusan masalah dari kajian ini yakni:

1. Bagaimana karakteristik tanah yang terdapat pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur ?
2. Bagaimana kondisi keamanan lereng pada lokasi studi bila ditinjau dengan perhitungan stabilitas lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012 ?
3. Bagaimana perencanaan alternatif struktur penahan tanah pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo ?
4. Berapakah rencana anggaran biaya bahan alternatif struktur penahan tanah pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo.

1.5 Tujuan dan Manfaat

Secara umum tujuan dari kajian penanganan dan analisa faktor keamanan lereng pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo ini adalah:

1. Dapat mengetahui kondisi karakteristik tanah yang ada di jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur.
2. Dapat mengetahui kondisi keamanan lereng di lokasi studi dan bila ditinjau dari segi perhitungan stabilitas lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012 dengan metode *bishop*.

3. Dapat merencanakan alternatif struktur penahan tanah pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo.

4. Dapat mengetahui Rencana Anggaran Biaya (RAB) bahan alternatif struktur penahan tanah pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo.

Manfaat yang akan didapat dari kajian ini adalah diharapkan dapat mengatasi masalah pergerakan tanah pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712-17+000)

Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur akibat dari pemotongan atau galian lereng bukit tersebut. Sehingga lereng bukit tersebut stabil serta dapat melindungi Bendungan Tugu maupun jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo dari bahaya longsor.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Gerakan tanah atau lebih dikenal dengan istilah tanah longsor adalah suatu produk dari proses gangguan keseimbangan lereng yang menyebabkan Bergeraknya massa tanah dan batuan ke tempat yang lebih rendah. Gaya yang menahan massa tanah disepanjang lereng tersebut dipengaruhi oleh sifat fisik tanah, dan sudut dalam tahanan geser tanah yang bekerja disepanjang lereng. Perubahan gaya-gaya tersebut ditimbulkan oleh pengaruh perubahan alam maupun tindakan manusia. Perubahan kondisi alam dapat diakibatkan oleh gempa bumi, erosi, kelembaban lereng karena penyerapan air hujan dan perubahan aliran permukaan. Pengaruh manusia terhadap perubahan gaya-gaya antara lain adalah penambahan beban pada lereng dan tepi lereng, penggalian tanah di tepi lereng dan penajaman sudut lereng. Tekanan jumlah penduduk yang banyak menempati tanah-tanah berlereng sangat berpengaruh terhadap peningkatan resiko longsor. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya gerakan tanah antara lain; tingkat keterlereng, karakteristik tanah, keadaan geologi, keadaan vegetasi, curah hujan atau hidrologi dan aktivitas manusia di wilayah tersebut.

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsorannya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perencanaan-perencanaan bangunan seperti, jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainnya. Kestabilan lereng dianalisa dengan cara menggabungkan teknik geologi (*engineering geology*) dan mekanika tanah atau batuan (*soil mechanics*). Umumnya analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah.

Analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya.

Terzaghi (1950) membagi penyebab terjadinya longsor lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh luar, yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Contohnya, akibat perbuatan segelincir manusia yang mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam, yaitu longsor yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contohnya, yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori di dalam lereng.

Kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut:

1. Penambahan beban lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke dalam pori-pori tanah maupun yang menggenangi di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuh-tumbuhan yang tertiuip angin dan lain-lain.
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendungan, sungai dan lain-lain,
5. Kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Gempa bumi atau getaran berlebihan.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentukan lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

2.2 Penyelidikan Tanah di Lapangan

Penyelidikan tanah di lapangan merupakan suatu pokok untuk memutuskan apakah usulan pekerjaan rekayasa layak atau patut dan cukup secara ekonomis atau non ekonomis dalam merencanakan konstruksi. Penyelidikan tanah di lapangan sangat perlu untuk menganalisa keamanan disaat terjadi sesuatu kejadian keruntuhan dalam pekerjaan yang ada, untuk memilih bahan-bahan dan menentukan metoda konstruksi untuk direncanakan yang kemudian dilaksanakan. Tujuan penyelidikan tanah di lapangan adalah untuk menghasilkan keterangan yang diperlukan untuk perencanaan proyek pembangunan. Keterangan ini meliputi keadaan geologi, jenis lapisan-lapisan tanah (stratigrafi), serta parameter-parameter yang dipakai dalam perhitungan. Keterangan tentang geologi dan stratigrafi diperoleh dari penyelidikan di lapangan, sedangkan parameter-parameter seperti komposisi tanah (*soil*

properties), sifat-sifat teknik tanah (*soil engineering*) serta kandungan mineralogi yang dimiliki oleh tanah berasal dari pengujian-pengujian di laboratorium. Pengetahuan akan parameter-parameter tanah tersebut sangat di perlukan untuk merencanakan awal desain stabilitas tanah.

Metode penyelidikan di lapangan sangat luas dalam ruang lingkup proyek rekayasa. Pada umumnya, beberapa penyelidikan akan di mulai dengan mengumpulkan dan mempelajari semua tentang keadaan tanah dan kondisi geologi di lapangan. Pada banyak daerah, keadaan pengetahuan setempat, catatan percobaan lubang galian, lubang bor dan lain-lain disekitarnya serta perilaku struktur yang ada kesemuanya ini sangat membantu. Jika keterangan yang tidak cukup atau tidak pasti, maka diperlukan pemeriksaan secara detail di lapangan.

2.2.1 Pekerjaan Sondir

Pekerjaan sondir saat ini merupakan salah satu uji lapangan yang telah diterima oleh praktisi dan pakar geoteknik. Pekerjaan ini dilakukan dengan alat sondir tau *cone penetrometer test* (CPT). Dari hasil CPT disajikan dalam bentuk diagram sondir yang mencatat nilai tahanan konus dan friksi selubung, tes ini dapat menentukan lapisan tanah berdasarkan pada korelasi tahanan ujung konus dan daya lekat tanah setiap kedalaman sondir, kemudian dapat digunakan untuk mengetahui elevasi tanah lapisan keras dan menghitung daya dukung pondasi yang diletakkan pada tanah tersebut.

Keuntungan dan kekurangan pada uji sondir ini adalah sebagai berikut:

- Keuntungan

1. Lubang bor tidak diperlukan, sehingga tanah yang diperiksa adalah dalam keadaan asli.
2. Data yang diperoleh adalah lengkap pada seluruh kedalaman.
3. Dipakai pada hampir semua negara.
4. Sederhana dan mudah dilaksanakan.
5. Pengangkutan perlengkapan tidak sulit.

- Kekurangan

1. Tidak dapat dipakai pada lapisan tanah yang keras.
2. Pengujian empiris, sehingga diperlukan korelasi dengan parameter-parameter lain.

2.2.2 Pengeboran

Pengeboran dilakukan untuk mendapatkan contoh dari tanah yang dapat diperiksa secara visual supaya sifat asli tanah dapat dicatat secara teliti dan teratur. Catatan ini mencakup jenis tanah pada setiap lapisan yang berbeda serta kedalamannya. Catatan ini, meliputi kedalaman penuh dari pengeboran disebut log pengeboran (*bore log*). Untuk memperoleh keterangan yang dapat dipercaya, contoh yang diambil dari lubang bor sedapat mungkin harus dalam keadaan asli (*undisturbed*), yaitu sifat-sifatnya masih seperti dalam keadaan aslinya di tempat asalnya.

Dengan memakai alat mesin untuk pengeboran, kita dapat memperoleh “inti” dari berbagai jenis tanah, termasuk lempung lunak sampai batuan, yaitu semua bahan yang berkohesi. Hanya pada tanah tak berkohesi, seperti pasir dan kerikil, tidak mungkin diperoleh inti atau contoh asli. Pada tanah ini, umumnya hanya contoh tidak asli yang diperoleh dari lubang bor. Kebanyakan pengeboran untuk penyelidikan tanah dalam bidang goeteknik dilaksanakan dengan memakai alat bor mesin. Namun, untuk proyek atau pekerjaan kecil serta tempat yang terpencil, bor tangan masih dapat dipakai. Sedangkan maksud dilakukan pekerjaan pengeboran dalam pengambilan sampel tanah ini adalah mengidentifikasi kondisi lapisan tanah sampai pada kedalaman yang ditetapkan, sehingga dapat digunakan dalam perencanaan pondasi pada stabilitas lereng. Sampel tanah yang didapat pada pemboran ini digunakan untuk mencari parameter-parameter tanah melalui serangkaian tes pada laboratorium.

2.2.3 Pengujian di Laboratorium

Sifat-sifat fisik tanah dapat dipelajari dari hasil-hasil pengujian laboratorium pada contoh tanah yang diambil dari pengeboran. Hasil-hasil pengujian yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung daya dukung dan penurunan. Kecuali itu, data laboratorium dapat pula memberikan informasi mengenai besarnya debit air yang mengalir ke dalam lubang galian fondasi, perilaku tanah dalam menderita tekanan, dan kemungkinan penanggulangan air pada penggalian tanah fondasi.

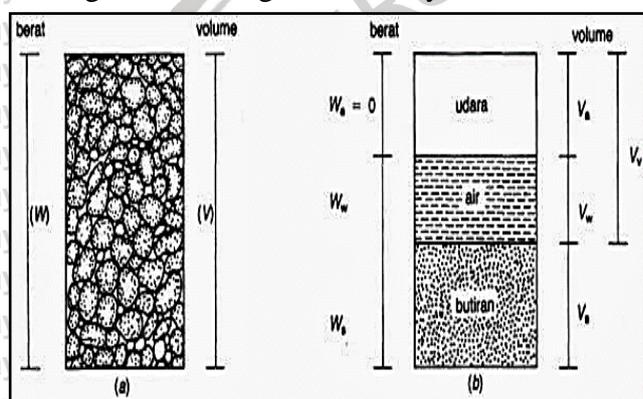
Perlu diingat bahwa kondisi lapisan tanah di lapangan dapat bervariasi. Karena itu, jumlah contoh atau sampel tanah yang terlalu sedikit akan memberikan analisa data yang hasilnya meragukan untuk dikelola. Secara umum, pengujian di laboratorium yang dilakukan untuk perencanaan fondasi meliputi sebagai berikut:

- a. Pengujian dari pengamatan langsung. Pengujian ini dilakukan untuk mencatat warna, bau, konsistensi dari contoh tanah terganggu dan tak terganggu yang diperoleh dari lapangan.
- b. Kadar air. Pemeriksaan kadar air tanah di lapangan dilakukan pada contoh tak terganggu dikirim ke laboratorium. Dengan membandingkan hasil-hasilnya dengan hasil yang diperoleh dari pengujian batas plastis dan batas cair, maka dapat disusun program pengujian kuat geser tanah.
- c. Analisis butiran. Pengujian analisis ukuran butir tanah dilakukan untuk keperluan klasifikasi. Pengujian dilakukan melalui analisis saringan dan sedimentasi atau analisis hydrometer, untuk memperoleh kurva gradasinya.
- d. Triaksial. Untuk perencanaan fondasi, pengujian triaksial terbatas hanya dilakukan pada tanah-tanah lempung, lanau, dan batuan lunak. Umumnya, pengujian ini tak dilakukan pada tanah pasir dan kerikil, karena sulitnya memperoleh contoh tanah tak terganggu. Walaupun pengambilan contoh tanah pasir sudah diusahakan sangat hati-hati, namun pada pelepasan contoh tanahnya dari dalam tabung, tanah akan menjadi berubah atau terganggu dari kondisi aslinya.
- e. Tekan-bebas. Pengujian ini berguna untuk menentukan kuat geser, tanpa drainase pada tanah lempung jenuh yang tak mengandung butiran kasar, yang akan digunakan dalam hitungan daya dukung.
- f. Geser baling-baling. Pengujian geser baling-baling lebih banyak dilakukan di lapangan dari pada di laboratorium. Namun, pengujian baling-baling di laboratorium sangat berguna bila tanah sangat sensitif dan lunak yang menyulitkan dalam pendirian contoh tanah pada waktu dilakukan pengujian tekan-bebas.
- g. Konsolidasi. Pengujian ini hanya dilakukan untuk jenis tanah berbutir halus seperti lempung dan lanau dan digunakan untuk mengukur besarnya penurunan konsolidasi dan kecepatan penurunannya.
- h. Permeabilitas. Pengujian permeabilitas dilakukan pada contoh tanah tak terganggu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui banyaknya air yang harus dipompa pada penggalian tanah fondasi.
- i. Analisis bahan kimia. Pengujian analisis bahan kimia ini dilakukan untuk mengetahui kemungkinan kandungan bahan kimia dari air tanah yang dapat merusak fondasi beton, turap baja, atau tiang pancang baja. Bila fondasinya berupa bahan baja, biasanya cukup dengan menentukan nilai pH dan kandungan klorida pada tanah dan air tanahnya. Untuk fondasi beton, umumnya perlu ditentukan kandungan

sulfatnya dan bila tanah mengandung banyak bahan organik, disarankan untuk menambahkan pengujian *pH* dan penentuan persentase kandungan bahan organiknya.

2.2.4 Komposisi Tanah

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase ditunjukkan dalam *Gambar 2.1*. *Gambar 2.1a* memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume *V* dan berat total *W*, sedangkan *Gambar 2.1b* memperlihatkan hubungan berat dengan volumenya.



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah
 Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2012, p. 3).

Hubungan volume-berat:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots(2-1)$$

dimana:

V_s = volume butiran padat

V_v = volume pori

V_w = volume air dalam pori

V_a = volume udara dalam pori

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots(2-2)$$

dimana:



W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

2.2.5 Hubungan Antara Berat Volume (*Unit Weight*), Angka Pori (*Void Ratio*), Kadar Air (*Moisture Content*), dan Berat Spesifik

Berdasarkan hubungan ini maka dapat dinyatakan dengan menggunakan definisi berat volume dan berat volume kering dalam Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4, sebagai berikut ini:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} \quad \text{.....(2-3)}$$

dengan:

γ_d = berat volume tanah kering

W_s = berat butiran tanah

V = volume total

G_s = berat spesifik butiran padat

γ_w = berat volume air (9,81 kN/m³)

e = angka pori (*Void Ratio*)

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \cdot \gamma_w}{1 + e} \quad \text{.....(2-4)}$$

dengan:

γ_{sat} = berat volume tanah yang jenuh air

G_s = berat spesifik butiran padat

γ_w = berat volume air (9,81 kN/m³)

e = angka pori (*Void Ratio*)

2.2.6 Batas Konsistensi Tanah

Batas konsistensi tanah atau yang biasanya disebut *atterberg limit* merupakan hal yang penting dan selalu dilakukan pada saat penyelidikan. Penyelidikan ini khusus dilakukan pada tanah berbutir halus dan dikarenakan batas-batas ini tidak mempunyai sifat-sifat fisika yang jelas maka dipakai cara empiris untuk menentukannya. Kegunaan batas *atterberg limit* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat-sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan *compressibility* yang tinggi sulit dalam hal pemadatannya.



2.2.7 Analisa Saringan dan Hidrometer

Analisa saringan dan hidrometer diperlukan untuk klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirannya. Pemeriksaan analisis saringan dan hidrometer ini untuk menentukan penyebaran butiran atau gradasi dari suatu sampel tanah dengan menggunakan saringan dan hidrometer sehingga dapat diketahui jenis tanah berdasarkan diameter butirannya. Analisa saringan dilakukan dengan cara mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set alat ayakan. Dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan, kemudian hasil dari analisa saringan tersebut diplotkan pada kurva distribusi ukuran butiran. Diameter butiran digambarkan dalam skala logaritmik dan presentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitung biasa.

Sedang pada analisis hidrometer pemeriksaan ini untuk memperpanjang atau melanjutkan batas kurva distribusi ukuran butiran atau gradasi dan untuk memperkirakan ukuran yang lebih kecil dari saringan No. 200, pemeriksaan dengan analisa hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi butir-butir tanah dalam air, tiap partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbedah-bedah.

2.3 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah sangat diperlukan untuk memberikan gambaran sepintas mengenai sifat-sifat tanah didalam perencanaan dan pelaksanaan suatu kontruksi. Dalam mekanika tanah telah banyak dibuat metode pengklasifikasian sesuai dengan dasar yang dipakai untuk mendasari metode yang dibuat. Walaupun terdapat berbagai sistem pengklasifikasian tanah, tetapi tidak satupun dari sistem tersebut yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yakni antara lain:

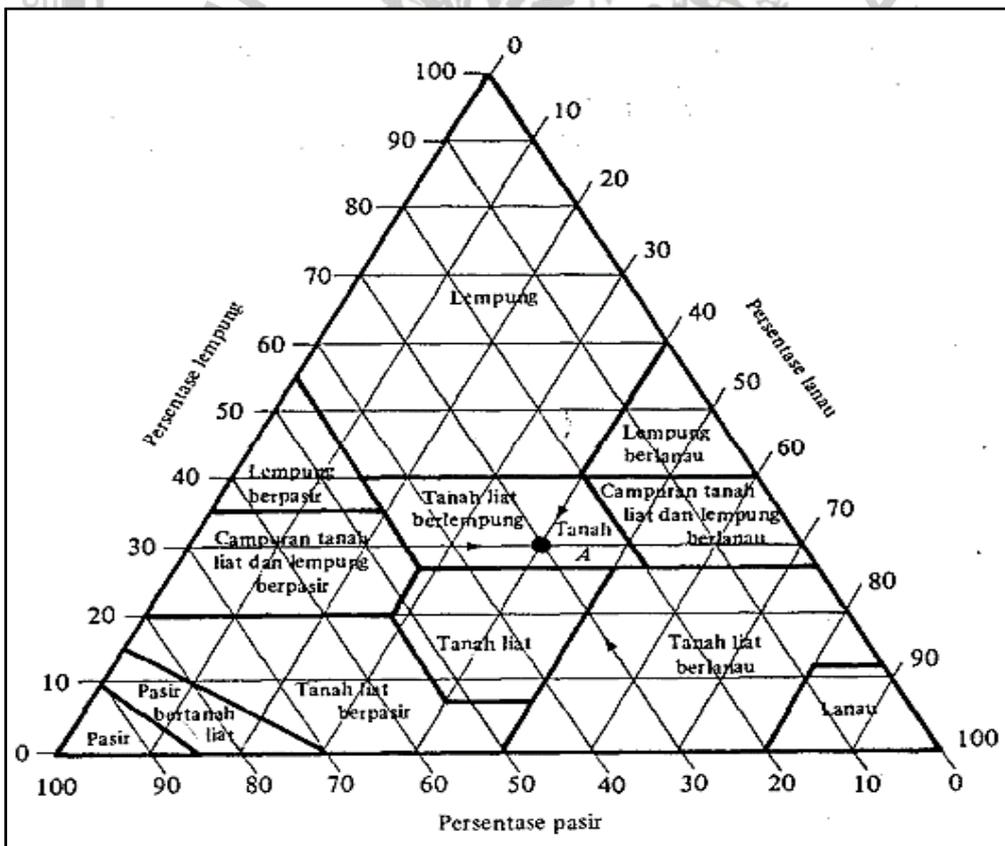
1. Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur
2. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO
3. Sistem Klasifikasi Tanah UNIFIED

2.3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

Tekstur tanah merupakan keadaan permukaan tanah yang memiliki ukuran tiap butir tanah yang ada di dalam tanah tersebut merupakan pembentuk tekstur tanah. Ukuran butir merupakan suatu metode yang jelas untuk mengklasifikasikan tanah, dan kebanyakan sistem-sistem klasifikasi terdahulu banyak menggunakan ukuran butir sebagai dasar pembuatan sistem klasifikasi. Tanah tersebut dibagi dalam beberapa kelompok berdasarkan

ukuran butir: pasir (*sand*), lempung (*clay*), dan lanau (*silt*). Dikarenakan deposit tanah alam pada umumnya terdiri atas berbagai ukuran-ukuran partikel, maka perlu sekali untuk membuat suatu aturan berdasarkan distribusi ukuran butir yang kemudian menentukan prosentase tanah bagi setiap batasan ukuran. Departemen Pertanian AS, telah mengembangkan suatu sistem ukuran butir yang menamakan tanah secara spesifik bergantung dari prosentase pasir, lanau dan lempung. Untuk itu dibuat suatu grafik segitiga yang dipergunakan untuk mengklasifikasikan sistem ini. Pada *Gambar 2.2* memperlihatkan grafik segitiga yang dipergunakan untuk mengklasifikasikan tanah dengan sistem segitiga ini. Prosentasi pasir, lanau dan lempung diplotkan pada grafik tersebut dan daerah dimana titik itu terletak akan mengklasifikasikan tanah tersebut.

Akan tetapi meskipun ukuran butir ternyata menyajikan cara untuk mengklasifikasikan tanah, namun mempunyai suatu kekurangan. Cara ini tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan (baik dalam segi jumlah dan jenis) mineral lempung yang terdapat pada tanah. Untuk dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah perlu memperhatikan jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandungnya.



Gambar 2.2 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur Oleh USDA

Sumber: M Das, Braja, dkk (1993, p. 65).

2.3.2 Sistem Klasifikasi *Unified*

Pada sistem *unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutiran kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutiran halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomer 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat di lihat dalam Tabel 2.1. Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah:

- G = kerikil (*gravel*)
- S = Pasir (*sand*)
- C = lempung (*clay*)
- M = lanau (*silt*)
- O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)
- Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)
- W = gradasi baik (*well-graded*)
- P = gradasi buruk (*poorly-graded*)
- H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)
- L = plastisitas rendah (*low-plasticity*).

Berikut ini diterangkan cara penggunaan Tabel 2.2. misalnya, dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh data: batas plastis (PL) = 16%; batas cair (LL) = 42%, sedangkan dari analisis saringan diperoleh data seperti dalam tabel berikut:

Tabel 2.1
Analisis Saringan

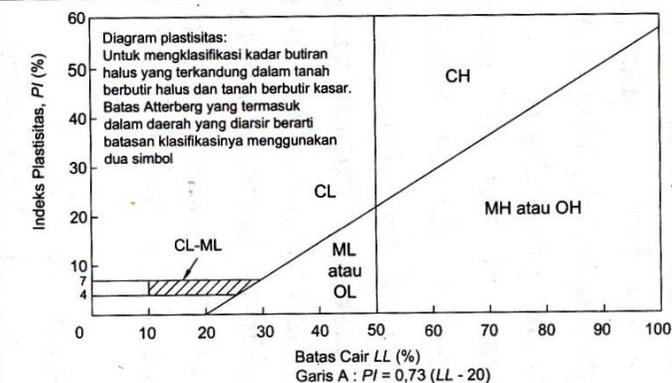
Nomor Saringan	% Butiran Lolos
4 (4,75 mm)	100,0
10 (2,0 mm)	93,2
40 (0,42 mm)	81,0
200 (0,075 mm)	61,5

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2012, p. 60)

Karena persentase lolos saringan nomer 200 adalah 61,5%, yang berarti lebih besar dari 50%, maka dalam Tabel 2.2 harus digunakan kolom bawah yaitu butiran halus. Karena nilai LL = 42% (lebih kecil dari 50%), maka termasuk CL atau ML.

Selanjutnya, ditentukan nilai indeks plastisnya, $PI = LL - PL$ atau $PI = 42\% - 16\% = 26\%$. Nilai-nilai PI dan LL, kemudian digambar pada diagram plastisitas, sehingga akan ditemukan letak titik di atas garis A, yang menempati zona CL. Jadi, tanah tersebut dapat diklasifikasikan sebagai CL (lempung anorganik plastisitas rendah).

Tabel 2.2
Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol 
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (" <i>lean clays</i> ")	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (" <i>fat clays</i> ")	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi	P _t	Gambut (" <i>peat</i> ") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

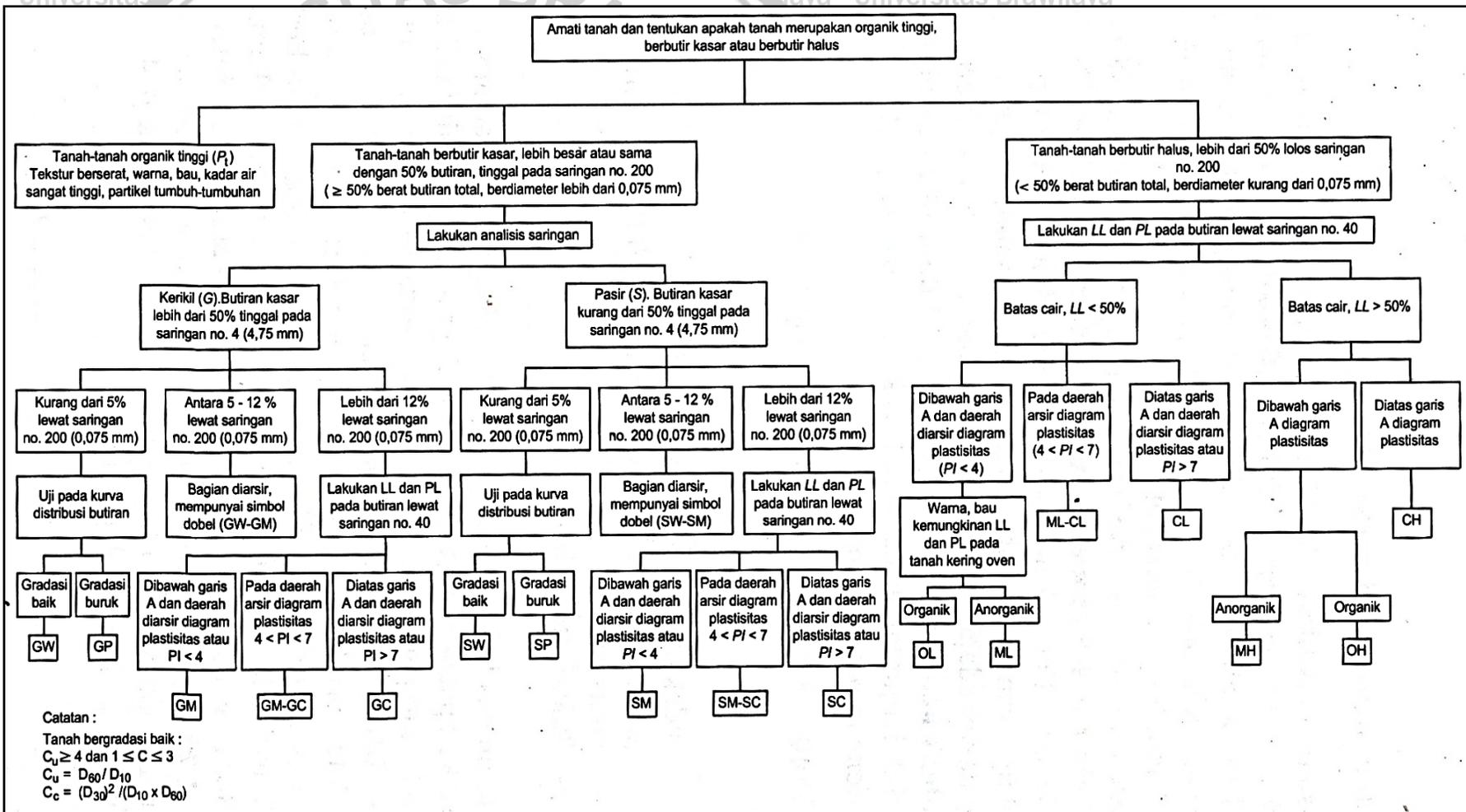
Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2012, p. 61)



Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem *unified* adalah sebagai berikut:

1. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan No. 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar:
 - a. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Tentukan persen butiran lolos saringan No. 4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 - c. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan No. 200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan No. 200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol doble dan mempunyai sifat keplastisan (GW – GM, SW – SM, dan sebagainya).
 - d. Jika persentase butiran yang lolos saringan No. 200 lebih besar 12%, harus dilakukan uji batas-batas *atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan No.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM – GC atau SM – SC).
3. Jika tanah berbutir halus:
 - a. Kerjakan uji batas-batas *atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan No. 40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, maka klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
 - b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas *atterberg* pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
 - c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas *atterberg* pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
 - d. Jika plot batas-batas *atterberg* pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, digunakan simbol doble.

Cara penentuan klasifikasi tanah Sistem *unified* dengan menggunakan diagram alir diperlihatkan dalam *Gambar 2.3*.



Gambar 2.3 Diagram Alir Sistem Klasifikasi Unified
 Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2012, p. 64)

2.3.3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *public road administration classification sistem*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan, versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *committee on classification of materials for subgrade and granular type road of the highway research board* dalam tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M 1 45). Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam Tabel 2.3. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1. Ukuran butir

Kerikil merupakan bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2 mm). Pasir yaitu bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm). Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

2. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (*plasticity index / PI*) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

3. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang

akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat. Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya, indeks kelompok dihitung dengan persamaan:

$$GI = (F-35)\{0,2 + 0,005(LL-40)\} + 0,001 (F-15)(PI-10) \dots \dots \dots (2-5)$$

dimana:

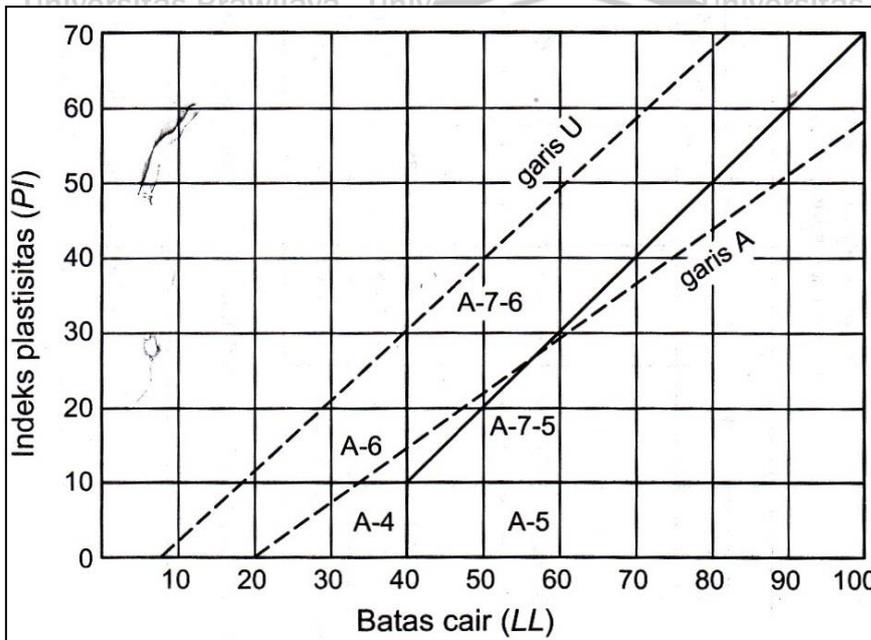
GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkekurangan ketepatan penggunaan. Tanah granuler diklasifikasikan kedalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan No. 200), tapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Beda keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg. Gambar 2.4 dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2.



Gambar 2.4 Batas-batas Atterberg Untuk Subkelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2012, p. 66)

Dalam Gambar 2.4 garis-A dari Casagrande digambarkan bersama-sama dengan garis-U yang dinyatakan oleh persamaan: $PI = 0,9 (LL - 8)$. Garis-U ini adalah garis batas atas dari hubungan LL dan PI untuk tanah-tanah di alam pada umumnya (Holtz dan Kovacs, 1981).

Tabel 2.3
Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler ($< 35\%$ lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung ($> 35\%$ lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastis (<i>PI</i>)	- 6 maks	-	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (<i>G</i>)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Catatan :

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (*PL*)

Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5 ;

Untuk $PL < 30$, klasifikasinya A-7-6

Np = Nonplastis

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2012, p. 65)

2.4 Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan, ataupun pencampuran keduanya, menuruni atau keluar lereng akibat dari terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Proses terjadinya tanah longsor dapat diterangkan sebagai berikut: air yang meresap kedalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng. Secara geologi tanah longsor adalah suatu peristiwa geologi dimana terjadi pergerakan tanah seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. (Nandi, 2007, pp. 6)

2.4.1 Proses Terjadinya Tanah Longsor

Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar dari pada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan daya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan. Berhubungan dengan longsor, penting sekali menggunakan klasifikasi untuk membedakan karakteristik yang berkaitan untuk digunakan pada akhir penelitian. Tiga klasifikasi yang paling digunakan dan saling berkaitan dengan longsor adalah (Sharpe, 1938; Varnes, 1958; Hutchinson, 1988) dengan memisahkan gerakan massa menjadi kategori, yaitu: penurunan (yang merupakan materi yang tenggelam vertikal) dan gerakan-gerakan yang terjadi di lereng. Pergerakan lereng ini kemudian biasanya pertama menjadi Tanah Longsor seperti yang didefinisikan diatas dan yang kedua, dalam pergerakan lambat yang lebih luas dan yang tidak jelas seperti merayap, merosot dan mengembang.

Dari seluruh klasifikasi tanah longsor yang berbedah-bedah tersebut, ada sistem yang dibuat oleh Varnes (1978) sering disukai karena pembuatannya cukup sederhana dan mudah untuk diterapkan di lapangan. Dalam menerapkan klasifikasi ini, penting untuk diingatkan bahwa kriteria material mengacu pada material yang asli tersebut, bukan dengan apa yang akhirnya akan muncul dalam runtuhnya.

2.4.2 Gerakan Massa Tanah

Gerakan massa tanah ini merupakan gerakan melorot ke bawah dari material pembentuk lereng, yang dapat berupa tanah, batu, tanah timbunan atau campuran dari material lain. Bila gerakan massa tanah tersebut berlebihan, maka disebut tanah longsor (*landslide*). Longsoran

ini merupakan salah satu bencana alam yang sering melanda daerah perbukitan di daerah tropis basah. Gerakan massa umumnya disebabkan oleh gaya-gaya gravitasi dan kadang-kadang getaran atau gempa juga menyokong kejadian tersebut. Gerakan massa yang berupa tanah longsor terjadi akibat adanya keruntuhan geser di sepanjang bidang longsor yang merupakan batas Bergeraknya massa tanah atau batuan. Longsoran umumnya dianggap terjadi saat tegangan geser rata-rata di sepanjang bidang longsor sama dengan kuat geser tanah atau batuan yang dapat ditentukan dari uji laboratorium atau uji lapangan. Akan tetapi, saat terjadi keruntuhan bertahap, longsoran tanah terjadi pada tegangan geser yang kurang dari kuat geser puncaknya. Keruntuhan bertahap umumnya diikuti dengan distribusi tegangan tidak seragam di sepanjang bidang longsor, pada tanah atau batuan berlapis, ketika bidang longsoran memotong material yang berbeda sifat tegangan-regangannya. Pada umumnya, bencana alam gerakan massa tersebut cenderung semakin meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia (Hardiyatmo, 2012, pp. 1-2).

Faktor-faktor penyebab gerakan massa tanah adalah:

- ❖ Gaya berat, sebagai sumber energi untuk menggerakkan lapisan tanah atau batuan menuruni lereng.
- ❖ Air, berfungsi sebagai penambah besarnya gerakan juga sebagai penambah beban, sehingga dapat mempermudah gerakan.
- ❖ Gaya-gaya pengikis yang menghasilkan lereng menjadi suram.
- ❖ Gempa bumi atau getaran-getaran lainnya.
- ❖ Batuan yang retak-retak karena kekar, sesar dan foliasi.
- ❖ Curah hujan yang sangat lebat.

Air tanah juga dapat mempengaruhi gerakan massa tanah. Gerakan air tanah dapat memberikan tekanan terhadap butiran-butiran tanah sehingga memperlemah kemandapan lereng. Selain itu, air tanah juga dapat melarutkan dan menghayutkan bahan perekat sehingga memperlemah ikatan antar butir dan berkurangnya daya kohesi. Larut dan hanyutnya bahan perekat menghasilkan rongga-rongga dalam tanah dan ini juga akan mengurangi kemandapan tanah.

Tanah longsor (gerakan massa tanah) di Indonesia, umumnya terjadi di lereng terjal yang berbentuk dari endapan vulkanik yang tidak terpadatkan. Lereng-lereng terjal dipengaruhi oleh stuktur geologi seperti patahan, rekahan, lipatan dan lebih rentah terhadap gejala longsor. Apalagi jika arah pelapisan batuan searah dengan kemiringan lereng dan terdapat patahan aktif. Pelapisan batuan yang merupakan perselingan antara batuan yang

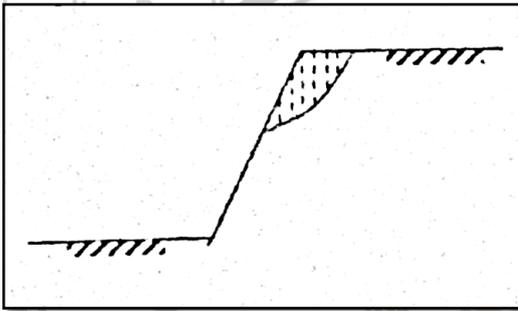
kedap air dan batuan yang dapat menyerap air menciptakan bidang yang berpotensi sebagai bidang gelincir.

2.4.3 Jenis-jenis Tanah Longsor

Bidang longsor pada umumnya akan membentuk garis lengkung yang dapat dianggap mendekati bentuk lingkaran. Bentuk bidang longsor yang banyak dijumpai dilapangan antara lain:

1. Longsor di bagian atas saja (talut longsor sebagian)

Kelongsoran di bagian atas dapat terjadi apabila sudut lereng sangat curam atau tanah bagian bawah bersifat lebih kuat dari pada yang di atasnya.

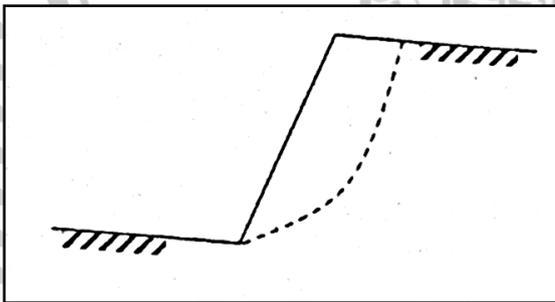


Gambar 2.5 Longsor di Bagian Atas Saja

Sumber: Surendro, Bambang (2015, p. 242).

2. Longsor melalui kaki (*slope failure through toe*)

Kelongsoran melalui kaki, bisa terjadi jika bahan timbunan dan tanah dasar homogen.

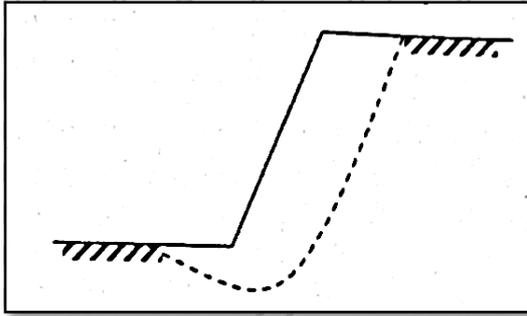


Gambar 2.6 Longsor Melalui Kaki

Sumber: Surendro, Bambang (2015, p. 243).

3. Longsor sampai dasar dondasi (*base failure*)

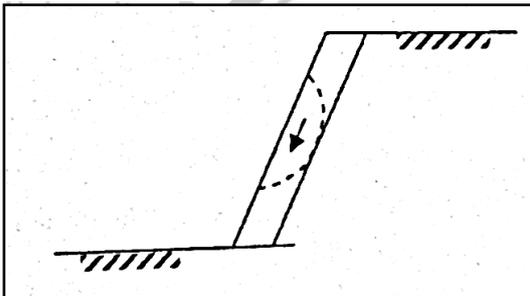
Kelongsoran seperti ini terjadi jika sudut gesek dalam ϕ sangat kecil (tanah lempung) atau jika tanah dasarnya bersifat sama atau lunak.



Gambar 2.7 Longsor Sampai Dasar Pondasi
 Sumber: Surendro, Bambang (2015, p. 243).

4. *Translational slip*

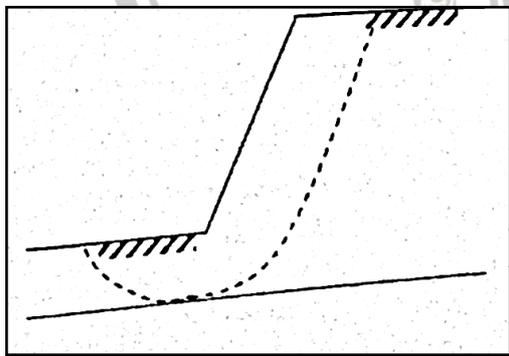
Kelongsoran seperti ini terjadi jika terdapat *slope* terbatas, atau terdapat lapisan yang berbeda kekuatannya dan letaknya dangkal.



Gambar 2.8 *Translational slip*
 Sumber: Surendro, Bambang (2015, p. 243).

5. *Compound slip*

Kelongsoran sebagian berbentuk lingkaran dan sebagian berbentuk bidang lurus (pada bagian lapisan berbeda)



Gambar 2.9 *Compound slip*
 Sumber: Surendro, Bambang (2015, p. 243).

Disini akan ditunjukkan beberapa faktor utama yang sering menjadi penyebab terjadinya pergerakan tanah. Dapat di lihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4
 Faktor-faktor Utama Penyebab Gerakan Tanah

Faktor Penyebab	Mekanisme Utama
1. Hilangnya penahan lateral	a. Aktifitas erosi b. Pelapukan c. Kemiringan lereng bertambah akibat gerakan d. Pemotongan bagian bawah.
2. Kelebihan beban tanah	a. Air hujan yang meresap pada tanah b. Penimbunan bangunan c. Adanya genangan air di lereng bagian atas.
3. Gerakan	a. Gempa bumi b. Getaran karena ulah manusia atau kendaraan.
4. Hilang tahanan bagian bawah	a. Pengikisan oleh air b. Pemotongan lereng bagian bawah c. Erosi d. Penambangan atau pembuatan terowongan.
5. Tekanan lateral	a. Pengisian air dipori-pori antar butir tanah b. Pengembangan tanah.

Sumber: Anugrah, F (2013, p. 8).

2.4.4 Faktor-faktor Penyebab Tanah Longsor

Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar dari pada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan. Ada beberapa faktor yang menyebabkan tanah longsor itu terjadi yaitu:

1. Hujan

Ancaman tanah longsor biasanya dimulai pada bulan November karena meningkatnya intensitas curah hujan. Musim kering yang panjang akan menyebabkan terjadinya penguapan air di permukaan tanah dalam jumlah besar. Hal ini mengakibatkan munculnya pori-pori atau rongga tanah hingga terjadi keretakan dan merekahnya tanah permukaan. Ketika hujan, air akan menyusup kebagian yang retak sehingga tanah dengan cepat mengembang kembali. Pada awal musim hujan, intensitas hujan yang tinggi biasanya



sering terjadi, sehingga kandungan air pada tanah menjadi jenuh dalam waktu singkat.

Hujan lebat pada awal musim dapat menimbulkan longsor karena melalui tanah yang mereka air akan masuk dan terakumulasi di bagian dasar lereng, sehingga menimbulkan gerakan lateral. Bila ada pepohonan di permukaan, tanah longsor dapat dicegah karena air akan diserap oleh tumbuhan tersebut. Akar tumbuhan juga berfungsi mengikat tanah.

2. Lereng Terjal

Lereng atau tebing yang terjal akan memperbesar gaya dorong. Lereng yang terjal terbentuk karena pengikisan air sungai, mata air, air laut dan angin. Kebanyakan lereng yang menyebabkan longsor adalah 180° apabila ujung lerengnya terjal dan bidang longsonya mendatar.

3. Tanah yang Kurang Padat dan Tebal

Jenis tanah yang kurang padat adalah tanah lempung atau tanah liat dengan ketebalan lebih dari 2,5 m dan sudut lereng lebih dari 220° . Tanah jenis ini memiliki potensi untuk terjadinya tanah longsor terutama bila terjadi hujan. Selain itu tanah ini sangat rentah terhadap tanah karena menjadi lembek terkena air dan pecah ketika suhu terlalu panas.

4. Batuan yang Kurang Kuat

Batuan endapan gunung berapi dan batuan sedimen berukuran pasir dan campuran antara kerikil, pasir dan lempung umumnya kurang kuat. Batuan tersebut akan mudah menjadi tanah bila mengalami proses pelapukan dan umumnya rentah terhadap tanah longsor bila terdapat pada lereng yang terjal.

5. Jenis Tata Lahan

Tanah longsor banyak terjadi di daerah tata lahan persawahan, perladangan dan adanya genangan air di lereng yang terjal. Pada lahan persawahan akarnya kurang kuat untuk mengikat butir tanah dan membuat tanah menjadi lembek serta jenuh dengan air sehingga mudah terjadi longsor. Sedangkan untuk daerah perladangan penyebabnya adalah karena akar pohonnya tidak menembus bidang longsor yang dalam dan umumnya terjadi di daerah longsor lama.

6. Getaran

Getaran yang terjadi biasanya diakibatkan oleh gempa bumi, ledakan, getaran mesin dan getaran lalu lintas kendaraan. Akibatnya yang ditimbulkannya adalah tanah, badan jalan, lantai dan dinding rumah menjadi retak.

7. Beban Tambahan

Adanya beban tambahan seperti beban bangunan pada lereng dan kendaraan akan memperbesar gaya pendorong terjadinya longsor, terutama disekitar tikungan jalan pada

daerah lembah. Akibatnya adalah sering terjadinya penurunan tanah dan retakan yang arahnya kearah lembah.

8. Pengikisan atau Erosi

Pengikisan banyak dilakukan oleh air sungai kearah tebing. Selain itu akibat penggundulan hutan di sekitar tikungan sungai, tebing akan menjadi terjal.

9. Material Timbunan pada Tebing

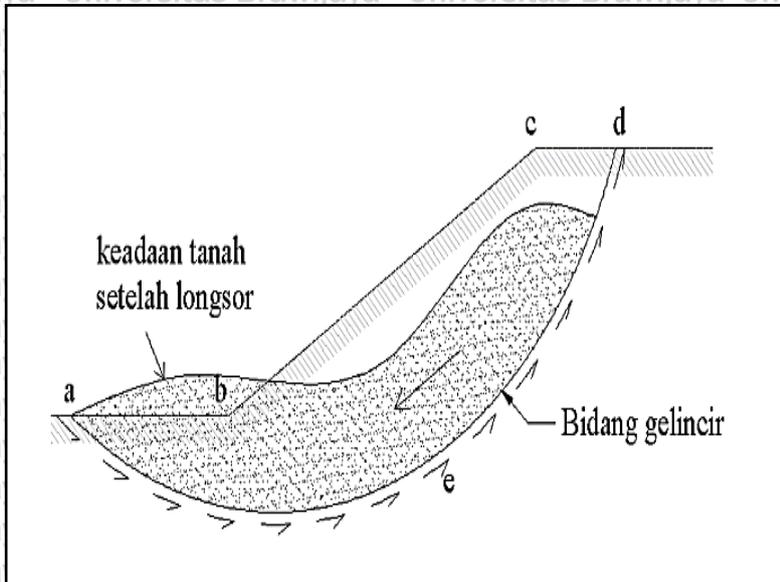
Untuk mengembangkan dan memperluas lahan pada permukiman umumnya dilakukan dengan pemotongan tebing dan penimbunan lembah. Tanah timbunan pada lembah yang belum terpadatkan sempurna seperti tanah asli yang berada di bawahnya. Sehingga apabila hujan akan terjadi penurunan tanah yang kemudian diikuti dengan retakan tanah.

2.5 Stabilitas Lereng

Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal disebut sebagai lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor.

Dari beberapa bentuk lereng dan beberapa pola keruntuhan lereng yang ada, harus diperiksa dan mengadakan penilaian terhadap lereng tersebut dengan demikian stabilitas lereng akan terjaga. Stabilitas lereng dalam arti yang luas merupakan kemantapan dan kekokohan sebuah lereng yang berdiri, dengan gaya yang terjadi, baik gaya vertikal maupun horizontal. Sebuah lereng dikatakan stabil apa bila terjadi keseimbangan antara gaya yang menyebabkan lereng tersebut bergeser dengan gaya yang melawan gaya geser tersebut. Beberapa kasus kestabilan sebuah lereng berhubungan erat dengan kekuatan geser sebuah tanah diidentifikasi sebagai tahanan maksimum dari tanah terhadap tegangan geser dibawah suatu kondisi yang bersangkutan dengan sifat-sifat drainase tanah. Kekuatan geser suatu tanah atau bahan terjadi akibat tak relatif antar butirannya, sebab itu kekuatannya tergantung pada gaya yang bekerja antar butir.

Secara umum faktor keamanan suatu lereng merupakan perbandingan nilai rata-rata kuat geser tenaga atau batuan di sepanjang bidang keruntuhan kritisnya terhadap beban yang diterima lereng di sepanjang bidang keruntuhannya. Mengingat lereng terbentuk oleh material yang sangat beragam dan banyak faktor ketidakpastian, maka dalam mendesain suatu penanggulangan selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan menaikkan faktor keamanan.



Gambar 2.10 Kelongsoran Lereng

Sumber: Hidayah, Susi., Gratia, Yohan Roy (2007, p. 4).

2.5.1 Prinsip Kestabilan Lereng

Berdasarkan kajian pada gaya-gaya mekanik yang bekerja pada lereng, gerakan tanah terjadi apabila terjadi gangguan kestabilan pada lereng. Kestabilan pada suatu lereng ditentukan oleh hubungan antara momen gaya yang melongsorkan atau meluncurkan (*driving forces*) yang akan membuat masa tanah atau batuan bergerak ke bawah, dan momen gaya yang menahan (*resisting forces*) yang menyebabkan massa tanah atau batuan tetap berada ditempatnya.

Gaya-gaya yang melongsorkan atau meluncurkan (*driving forces*) atau gaya penggerak atau puluncur umumnya berupa berat massa material tanah atau batuan, beban yang ada pada lereng, tekanan air dalam pori-pori tanah (tekanan hidrostatik akibat naiknya permukaan air dalam lereng), gangguan pada lereng (getaran), sedangkan gaya-gaya yang menahan (*resisting forces*) adalah kuat geser (*shear strength*) tanah atau batuan yang bekerja sepanjang bidang gelincir pada lereng. Besarnya kuat geser suatu massa tanah atau batuan dikontrol oleh kohesi (c) dan sudut gesekan dalam antara partikel-partikel penyusun tanah

atau batuan (f). Besarnya nilai koheisi tergantung pada kekuatan ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul penyusun partikel-partikel batuan atau tanah, ataupun tergantung pada kekuatan sementasi antar partikel-partikel batuan atau tanah. Sudut gesekan dalam merupakan nilai yang mengekspresikan kekuatan friksi antara partikel-partikel penyusun tanah atau batuan.

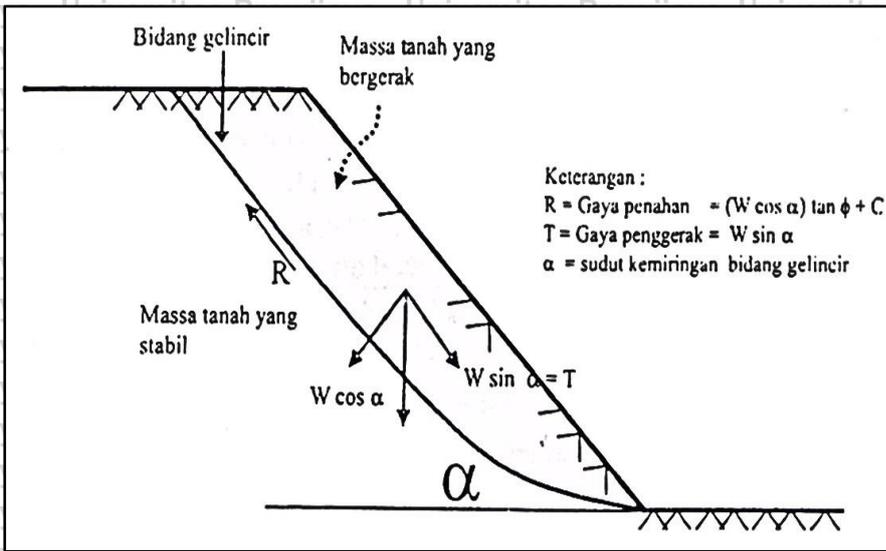
Berdasarkan interaksi antara momen-momen gaya tersebut di atas, kestabilan suatu lereng dapat diperhitungkan dengan cara membandingkan antara gaya yang menahan dan gaya yang melongsorkan atau meluncurkan. Perbandingan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_s = \frac{\text{Gaya penahan gerakan}}{\text{Gaya penggerak atau peluncur}} \dots\dots\dots (2-6)$$

F_s merupakan faktor keamanan lereng (*factor of safety*), yaitu suatu nilai yang mengekspresikan tingkat kestabilan suatu lereng. Lereng tersebut akan tetap stabil jika gaya yang menahan gerakan lebih besar dari pada gaya yang melongsorkan atau meluncurkan ($F_s > 1$). Kondisi kritis pada lereng (kondisi batas kestabilan), terjadi jika gaya yang menahan gerakan massa tanah atau batuan sama kuatnya atau seimbang dengan gaya yang melongsorkan atau meluncurkan massa tanah atau batuan. Secara matematis dinyatakan $F_s = 1$. Lereng tersebut akan mulai bergerak dengan tidak stabil jika gaya yang menahan gerakan massa tanah atau batuan terlampaui oleh gaya yang melongsorkan atau meluncurkan massa tanah tersebut ($F_s < 1$). Jadi jelas bahwa gerakan massa terjadi akibat terganggunya kestabilan lereng, yang secara matematis ditunjukkan oleh penurunan nilai F_s dari nilai $F_s > 1$ menjadi nilai $F_s < 1$.

Konsep dasar kestabilan lereng ini kemudian dapat dikembangkan untuk analisis secara matematis pada berbagai jenis geometri longsor, baik dengan bidang gelincir lurus, lengkung atau tidak beraturan. Nash (1987) telah mengevaluasi berbagai metode analisis kestabilan lereng, serta membandingkan kelebihan dan kelemahan tiap-tiap metode tersebut. Metode kestabilan lereng yang dibahas meliputi metode modifikasi *Bishop*, juga menjelaskan bahwa ketepatan dan kelengkapan data input yang digunakan dalam analisis akan memberikan hasil analisis yang lebih akurat, dari pada kecanggihan metode yang diterapkan. Penerapan metode analisis secara matematis yang kurang memperhatikan konsep dasar gerakan tanah, terutama menyangkut jenis gerakan dan mekanisme gerakan

tanah serta model geometri bidang gelincirnya, akan memberikan hasil analisis yang salah atau tidak realistis.



Gambar 2.11 Gaya-gaya yang Mengontrol Kestabilan Suatu Lereng
 Sumber: Karnawati, Dwikorita (2005, p. 14).

2.5.2 Angka Keamanan

Tugas para insinyur yang menganalisis stabilitas talud adalah menentukan angka keamanan (M. Braja, 1993, p. 66). Mengingat lereng terbentuk oleh banyaknya variabel dan banyaknya faktor ketidak pastian antara lain parameter-parameter tanah seperti kuat geser tanah, kondisi tekanan air pori maka dalam menganalisis selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan meningkatkan kekuatan gesernya. Hal yang perlu dipertimbangkan adalah resiko dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisis stabilitas lereng. Resiko yang dihadapi dibagi menjadi tiga yaitu: tinggi, menengah dan rendah. Secara umum faktor keamanan dapat dijelaskan sebagai berikut:

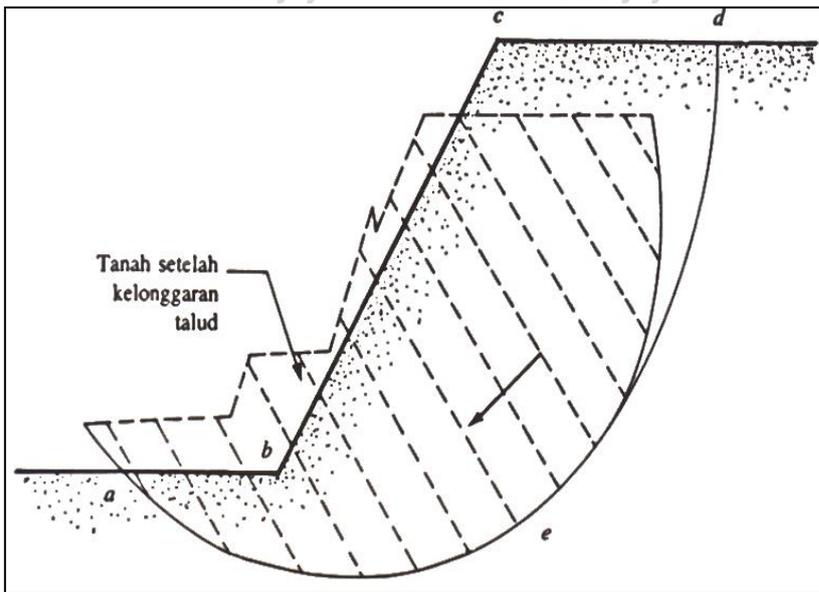
$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2-7)$$

dengan:

F_s = angka keamanan terhadap kekuatan tanah

τ_f = kekuatan geser rata-rata dari tanah

τ_d = kekuatan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor



Gambar 2.12 Kelongsoran Talud
 Sumber: M. Braja (1993, p. 166).

Kekuatan geser tanah terdiri dari dua komponen, yaitu kohesi dan geseran, dan dapat tuliskan sebagai berikut:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (2-8)$$

dengan:

c = kohesi

ϕ = sudut geser tanah

σ = tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor

Dengan cara yang sama, kita juga dapat menuliskan:

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \dots\dots\dots (2-9)$$

dengan c_d adalah kohesi dan ϕ_d sudut geser yang bekerja sepanjang bidang longsor.

Dengan memasukkan Persamaan (2-8) dan (2-9) ke dalam Persamaan (2-10) kita

dapatkan:

$$F_s = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d} \dots\dots\dots (2-10)$$

Sekarang kita dapat memperkenalkan aspek-aspek lain dari angka keamanan tadi, yaitu angka keamanan terhadap kohesi F_c , dan angka keamanan terhadap sudut geser, F_ϕ . Dengan demikian, F_c dan F_ϕ dapat kita definisikan sebagai:

$$F_s = \frac{c}{c_d} \dots\dots\dots (2-11)$$

dan



$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_d} \quad (2-12)$$

Bilamana Persamaan (2-10), (2-11), dan (2-12) dibandingkan, adalah wajar bila F_c menjadi sama dengan F_ϕ harga tersebut memberikan angka keamanan terhadap kekuatan tanah. Atau, bila:

$$\frac{c}{c_d} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_d}$$

Kita dapat menuliskan:

$$F_s = F_c = F_\phi \quad (2-13)$$

$F_s = 1$, maka talud adalah dalam keadaan akan longsor. Umumnya, harga 1,5 untuk angka keamanan terhadap kekuatan geser dapat diterima untuk merencanakan stabilitas talud.

2.6 Pengaruh Gempa

Beban gempa pada lereng sering diperhitungkan untuk perancangan dengan pendekatan gaya semi-statis (*quasi-static*) terhadap percepatan gempa. Dalam hal ini analisis mengabaikan proses gempa (riwayat percepatan gempa). Sehingga, analisis ini tidak memberikan gambaran tentang perilaku struktur atau lereng. Oleh karena itu perlu diperhatikan dalam perhitungan faktor aman stabilitas lereng. Akibat lain dari gempa bumi adalah adanya:

- Liquefaction pada massa tanah (terutama pada tanah-tanah granuler).
- Perubahan tekanan air pori tanah tegangan efektif dalam massa tanah.
- Timbulnya retak-retak vertikal yang dapat mereduksi kuat geser tanah.

Untuk memperhitungkan pengaruh gravitasi akibat gempa, hal yang sering dilakukan dalam analisis stabilitas lereng adalah dengan menggunakan konstanta numerik yang biasanya disebut koefisien gempa (k_g), koefisien ini diberikan dalam persen dari gravitasi.

Sebagai contoh, koefisien gravitasi 10% (0,1g) sering digunakan dalam hitungan. Jadi, gaya-gaya dinamis dianggap sebagai gaya statis, yang kadang-kadang disebut *pseudostatic analysis*. Pemakaian koefisien gempa 0,1g hanyalah didasarkan pada pertimbangan empirik yang tanpa dasar pembedaan.

Penyelidikan di Universitas California, Berkeley (1964) dan yang lain titik lemah dari analisis gempa di atas adalah belum mengakomodasi adanya pengaruh-pengaruh deformasi, macam tanah dan geometri lereng. Sebagai contoh, tanah pasir halus dapat mengalami liquefaction, sedang pasir kasar tidak. Pasir kasar, biasanya mengalami deformasi yang terkonsentrasi pada zona geser yang tipis di dekat permukaan lereng. Selain itu, bila

pembebanan secara berulang-ulang (gempa), nilai kohesi dan sudut gesek dalam efektif, pada kebanyakan tanah-tanah kohesif, nilainya berbeda secara signifikan dari nilai yang diperoleh dari uji statis di laboratorium.

Faktor beban akibat gempa yang digunakan dalam perencanaan didasarkan pada Pedoman Penentuan Beban Gempa Pada Bangunan Pengairan (tahun 1999/2000). Dari gambar peta zona gempa dapat diketahui bahwa pulau-pulau di Indonesia dibagi menjadi 6 daerah dengan parameter gempa yang berbeda-beda. Koefisien gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$a_d = Z * a_c * v \dots\dots\dots (2-36)$$

$$k = a_d / g \dots\dots\dots (2-37)$$

dengan:

k = koefisien gempa

z = koefisien zona gempa

a_c = percepatan gempa dasar (gal)

g = percepatan gravitasi (cm/det²)

v = faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

a_d = percepatan gempa terkoreksi (gal)

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 22/PRT/M/2007, angka keamanan yang diijinkan untuk stabilitas lereng sebagai berikut:

Tabel 2.5
Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng

Risiko*)	Kondisi Beban	Parameter Kuat Geser**)			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan Gempa	1.50	1.75	1.35	1.50
	Tanpa Gempa	1.80	2.00	1.60	1.80
Menengah	Dengan Gempa	1.30	1.60	1.20	1.40
	Tanpa Gempa	1.50	1.80	1.35	1.50
Rendah	Dengan Gempa	1.10	1.25	1.00	1.10
	Tanpa Gempa	1.25	1.40	1.10	1.20

Sumber: KepMen PU. No. 378/KPTS/1987

Keterangan:

*) - Risiko tinggi bila ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada permukiman), dana tau bangunan sangat mahal, dan atau sangat panjang.

- Risiko menengah bila ada konsekuensi terhadap manusia tetapi sedikit (bukan permukiman), dana tau bangunan tidak begitu mahal, dana tau tidak begitu penting.



- Risiko rendah bila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan (sangat murah)

**) - Kekuatan geser maksimum adalah harga puncak dan dipakai apabila massa tanah atau batuan yang berpotensi longsor tidak mempunyai bidang diskontinuitas (perlapisan, retakan atau rekahan, sesar dan sebagainya), dan belum pernah mengalami gerakan.

- Kekuatan geser residual (sisa) digunakan apabila massa tanah atau batuan yang potensial bergerak mempunyai bidang diskontinuitas, dan tau pernah bergerak, walau tidak mempunyai bidang diskontinuitas.

Tabel 2.6
Faktor Koreksi Pengaruh Jenis Tanah Batuan

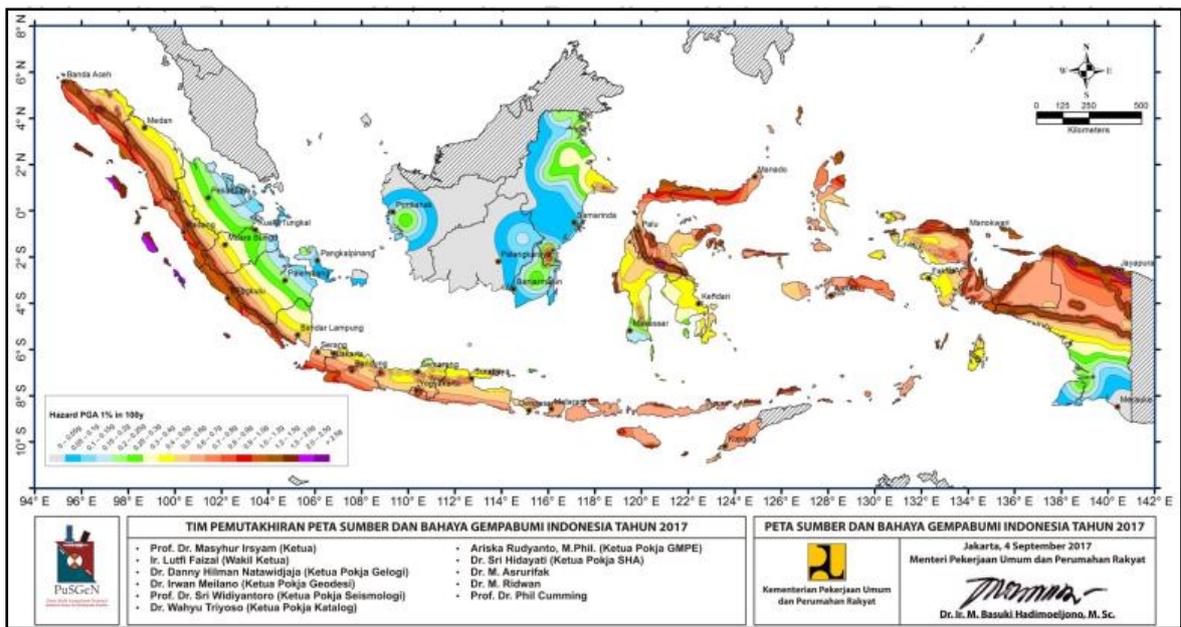
Jenis Batuan Dasar	Periode Predominan (Ts)	Faktor Koreksi (V)
Batuan	$T_s < 0,25$	0,80
Diluvium	$0,25 < T_s < 0,50$	1,00
Aluvium	$0,50 < T_s < 0,75$	1,10
Aluvium Lunak	$T_s > 0,75$	1,20

Sumber: Pedoman Analisis Dinamik Bendungan Urugan (2008, p. 52).

Tabel 2.7
Periode Ulang dan Percepatan Dasar Gempa

Periode Ulang (Tahun)	A_c (gal = cm/det ²)
10	90
20	120
50	160
100	190
200	220
500	250
1000	280
5000	330
10000	350

Sumber: Pedoman Analisis Dinamik Bendungan Urugan (2008, p. 53).



Gambar 2.13 Peta Zona Gempa Indonesia

Sumber: Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2017, p. 15).

2.7. Metode Bishop Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode Bishop disederhanakan (Bishop, 1955) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (Hardiyatmo, 2010:449). Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah, hingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperlihatkan faktor aman, adalah:

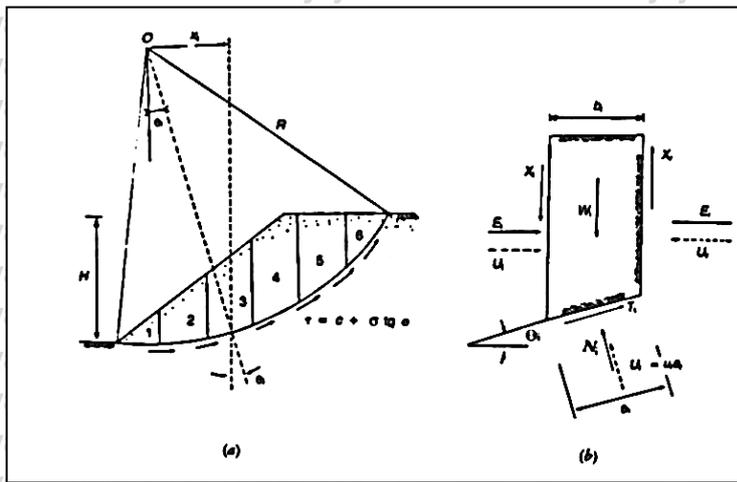
$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{tg \phi'}{F} \dots \dots \dots (2-14)$$

dengan σ adalah tegangan normal total pada bidang longsor dan u adalah tekanan air pori.

Untuk irisan ke- i , nilai $T_i = \tau a_i$, yaitu gaya geser yang dikerahkan tanah pada bidang longsor untuk keseimbangan batas. Karena itu:

$$T = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{tg \phi'}{F} \dots \dots \dots (2-15)$$





Gambar 2.14 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Irisan
 Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2010, p. 444).

Kondisi keseimbangan momen dengan pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total yang dikerahkan tanah pada dasar bidang longsor, dinyatakan oleh persamaan berikut ini:

$$\sum W_i x_i = \sum T_i R \dots\dots\dots(2-16)$$

Dengan x_i adalah jarak W_i ke pusat rotasi O, dari Persamaan (2-14) dan (2-16), dapat diperoleh:

$$T = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} [c'a_i + (N_i - u_i a_i) \text{tg } \phi']}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \dots\dots\dots(2-17)$$

Pada kondisi kehilangan vertikal, jika $X_1 = X_i$ dan $X_r = X_{i+1}$:

$$N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i = W_i + X_i - X_{i+1}$$

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \theta_i}{\cos \theta_i} \dots\dots\dots(2-18)$$

Dengan $N_i' = N_i - u_i a_i$, substitusi Persamaan (2-17) ke Persamaan (2-18), dapat diperoleh Persamaan:

$$N_i' = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \text{tg } \phi' / F} \dots\dots\dots(2-19)$$

Substitusi Persamaan (2-20) ke Persamaan (2-18), diperoleh:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left(c' a_i + \text{tg } \phi' \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \text{tg } \phi' / F} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \dots\dots\dots(2-20)$$



Untuk penyederhanaan dianggap $X_i - X_{i+1} = 0$ dan dengan mengambil:

$$x_i = R \sin \theta_i \dots \dots \dots (2-21)$$

$$b_i = a_i \cos \theta_i \dots \dots \dots (2-22)$$

Substitusi Persamaan (2-21) dan (2-22) ke Persamaan (2-20), diperoleh Persamaan faktor

aman:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi']}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F)} \right) \dots \dots \dots (2-23)$$

dengan:

F = faktor aman

c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

ϕ' = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

b_i = lebar irisan ke- i (m)

W_i = berat irisan tanah ke- i (kN)

θ_i = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 2.15 (derajat)

u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i (kN/m²)

Rasio tekanan pori (*pore preassure ratio*) didefinisikan sebagai:

$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma h} \dots \dots \dots (2-24)$$

dengan:

r_u = rasio tekanan pori

u = tekanan air pori (kN/m²)

b = lebar irisan (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

h = tinggi irisan rata-rata (m)

Dari substitusi Persamaan (2-24) ke Persamaan (2-23) bentuk lain dari Persamaan faktor

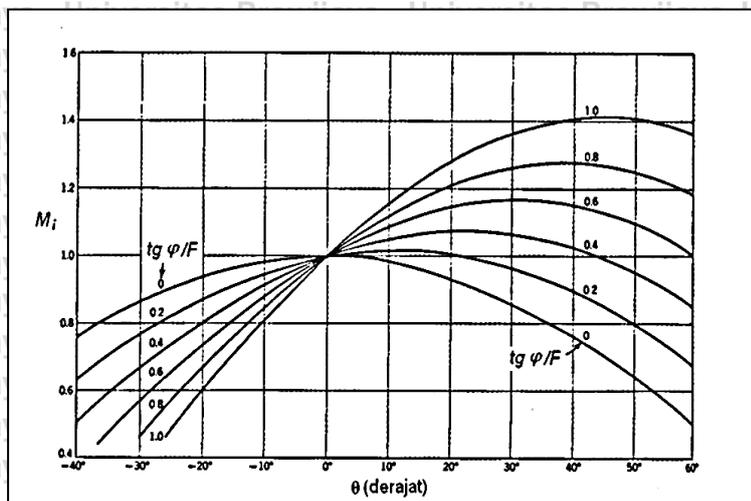
aman untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_u) \operatorname{tg} \phi']}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F)} \right) \dots \dots \dots (2-25)$$

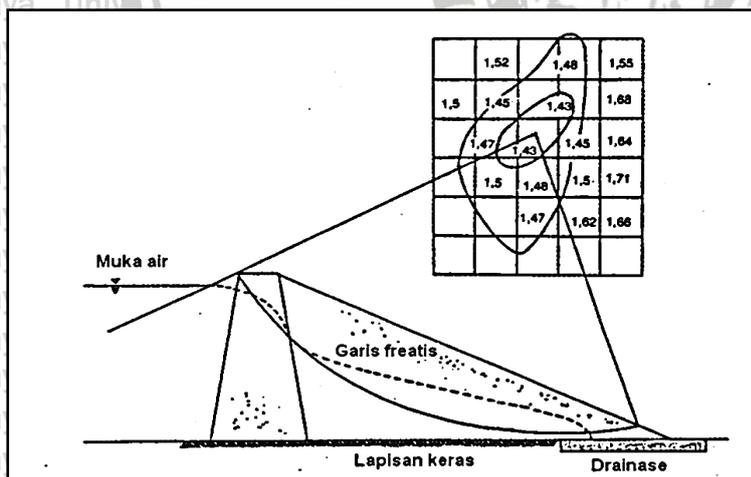


Persamaan faktor aman Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode Fellenius. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman F nampak di kedua sisi persamaannya. Akan tetapi, cara ini telah terbukti menghasilkan nilai faktor aman yang mendekati hasil hitungan dengan cara lain yang lebih teliti. Untuk mempermudah hitungan secara manual, *Gambar 2.15* dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi M_i , dengan,

$$M_i(\theta) = \cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / F) \quad (2-26)$$



Gambar 2.15 Diagram Untuk Menentukan M_i , (Janbu, 1956)
 Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2010, p. 452)



Gambar 2.16 Contoh Kontur Faktor Aman

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2010, p. 452)

Lokasi lingkaran longsor kritis dari metode Bishop (1955), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode Fellenius lebih mudah, metode Bishop (1955) lebih disukai.

Dalam praktek, diperlukan cara coba-coba dalam menemukan bidang longsor dengan nilai faktor aman yang kecil. Jika bidang longsor dianggap lingkaran, maka lebih baik kalau dibuat kotak-kotak dimana tiap titik potong garis-garisnya merupakan tempat kedudukan



pusat lingkaran longsor. Pada titik-titik potong garis yang merupakan pusat lingkaran longsor, dituliskan nilai faktor aman terkecil pada titik tersebut *Gambar 2.16*. Perlu diketahui bahwa pada tiap titik pusat lingkaran harus dilakukan pula hitungan faktor aman untuk menentukan nilai faktor aman terkecil dari bidang longsor dengan pusat lingkaran pada titik tersebut, yaitu dengan cara mengubah jari-jari lingkarannya. Kemudian, setelah faktor aman terkecil pada tiap-tiap titik pada kotaknya diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat kedudukan dari titik-titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama. *Gambar 2.16* menunjukkan contoh kontur-kontur faktor aman yang sama. Dari kontur faktor aman tersebut dapat ditentukan letak kira-kira dari pusat lingkaran yang menghasilkan faktor aman terkecil (Hardiyatmo, Hary Christady, 2010, p. 453).

2.8 Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

2.8.1 Umum

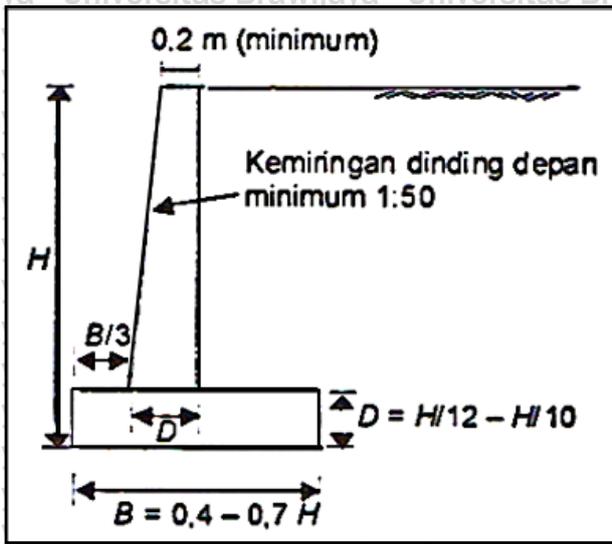
Pada umumnya dimensi dinding penahan ditentukan dengan cara coba-coba. Beberapa percobaan hitungan tersebut akan menghasilkan bentuk yang dianggap paling cocok dan memenuhi syarat kestabilannya. Bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Bangunan ini banyak digunakan pada proyek-proyek: irigasi, jalan raya, pelabuhan dan lain-lainnya. Elemen-elemen pondasi, seperti bangunan ruang bawah tanah (*basement*), pangkal jembatan (*abutment*), selain berfungsi sebagai bawah dari struktur, berfungsi sebagai penahan tanah di sekitarnya. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pelat pondasi. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding penahan tanah, sangat bergantung pada gerakan ke arah lateral tanah relatif terhadap dinding.

2.8.2 Bentuk Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding kantilever merupakan dinding penahan tanah beton bertulang yang paling banyak digunakan karena dari segi keekonomisan dan kemudahan dalam pelaksanaannya. Dinding ini cocok digunakan untuk menahan timbunan tanah dengan ketinggian 2,5-8,5 meter (tergantung kondisi tanah dilapangan). Dinding kantilever ini dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu bagian dinding vertikal, ujung kaki depan (*toe*) serta tumit belakang (*heel*). Dimensi pelat dasar dinding penahan tanah kantilever dibuat sedemikian hingga eksentrisitas resultan beban terletak pada $e < (B/6)$. Jika resultan beban jatuh di luar daerah tersebut, tekanan fondasi menjadi terlalu besar dan hanya sebagian luasan fondasi

yang mendukung beban. Tebal puncak dinding minimum kira-kira 0,20 m. Hal ini, kecuali untuk memudahkan pengecoran beton, juga untuk keperluan keindahan.

Gambar 2.17 Dinding Kantilever

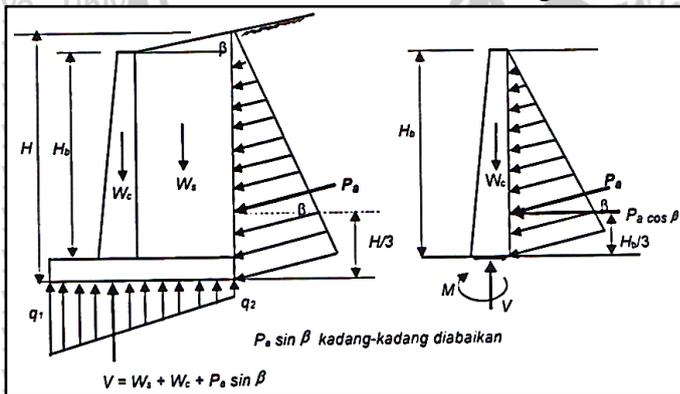


Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 404)

2.8.3 Gaya-gaya pada Dinding Penahan Tanah Kantilever

Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan, umumnya diambil per meter lebar untuk dinding kantilever. Gaya-gaya yang bekerja pada dinding kantilever diperlihatkan pada

Gambar 2.18 Tekanan tanah aktif dihitung dari teori Coulomb.



Gambar 2.18 Gaya-gaya Pada Dinding Kantilever

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 406)

Untuk dinding kantilever, gaya-gaya yang menyebabkan timbulnya gaya lintang dan gaya momen yang terjadi pada badan dinding tidak sama dengan gaya-gaya yang diperhitungkan untuk menghitung stabilitas struktur terhadap penggeseran.

2.8.4 Teori Tekanan Tanah (Teori Coulomb)

Pada hitungan tekanan tanah lateral teori Coulomb (1776), pengaruh gesekan antara dinding dan tanah urug dibelakangnya diperhitungkan. Sudut gesek antara dinding dan tanah (δ) bergantung pada kekerasan dinding dan regangan lateral pada waktu dinding bergerak.

Dalam menghitung tekanan tanah lateral teori Coulomb, terdapat beberapa anggapan-anggapan sebagai berikut:

1. Tanah adalah bahan yang isotropis dan homogeny yang mempunyai sudut gesek dan kohesi.
2. Bidang longsor dan permukaan tanah urug adalah rata.
3. Gaya gesek didistribusikan secara sama disepanjang bidang longsor dan koefisien gesek ($f = tg \varphi$).
4. Tanah yang longsor berbentuk baji, dan merupakan satu kesatuan.
5. Terdapat gesekan antara dinding penahan dan tanah urug. Tanah yang longsor bergerak turun disepanjang dinding belakang mengembangkan gesekan.
6. Keruntuhan dinding penahan tanah dianggap masalah dua dimensi dengan memperhatikan dinding penahan tanah yang panjangnya tak terhingga.

Untuk dinding penahan tanah seperti pada *Gambar 2.19*, maka gaya tekanan tanah aktif total pada dinding dengan tinggi H dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

$$P_a = 0.5 H^2 \gamma K_a \dots\dots\dots (2-27)$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2(\alpha - \delta) \left(1 + \frac{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)} \right)^2} \dots\dots\dots (2-28)$$

dengan:

P_a = gaya tekanan tanah aktif (ton)

H = tinggi dinding penahan tanah (meter)

γ = berat volume tanah (ton/meter³)

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

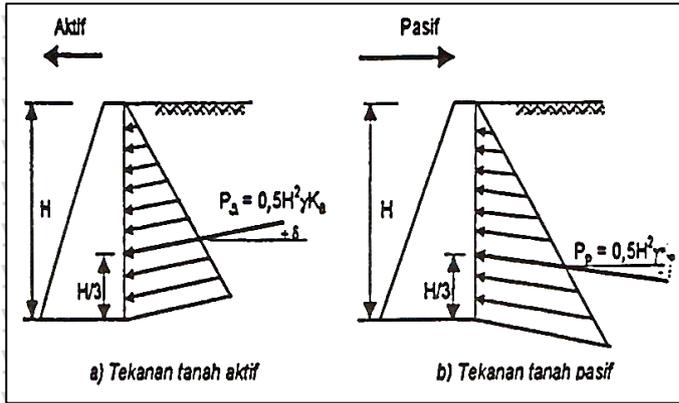
α = sudut kemiringan dinding penahan tanah terhadap garis horizontal (derajat)

δ = sudut gesek antara dinding dan tanah (derajat)

β = sudut kemiringan permukaan tanah urug (derajat)



φ = sudut gesek dalam tanah (derajat)



Gambar 2.19 Tekanan Tanah Lateral Menurut Teori Coulomb

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 380).

Secara sama, untuk dinding penahan tanah setinggi H, maka gaya tekanan tanah pasif total dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

$$P_p = 0.5 H^2 \gamma K_p \dots \dots \dots (2-29)$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \dots \dots \dots (2-30)$$

dengan:

P_p = gaya tekanan tanah pasif (ton)

H = tinggi dinding penahan tanah (meter)

γ = berat volume tanah (ton/meter³)

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

α = sudut kemiringan dinding penahan tanah terhadap garis horizontal (derajat)

δ = sudut gesek antara dinding dan tanah (derajat)

β = sudut kemiringan permukaan tanah urug (derajat)

φ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

Nilai-nilai tekanan tanah aktif dan pasif pada teori Coulomb dengan berbagai variasi sudut geser dalam (φ), sudut gesek antara tanah dan dinding (δ) dan sudut kemiringan permukaan tanah urug (β) dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9.



Tabel 2.8 Koefisien Tekanan Tanah Aktif (K_a) Teori Coulomb

$\alpha = 90^\circ ; \beta = -10^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,354	0,328	0,304	0,281	0,259	0,239	0,220	0,201	0,184
16	0,311	0,290	0,270	0,252	0,234	0,216	0,200	0,184	0,170
17	0,309	0,289	0,269	0,251	0,233	0,216	0,200	0,184	0,169
20	0,306	0,286	0,267	0,249	0,231	0,214	0,198	0,183	0,169
22	0,304	0,285	0,266	0,248	0,230	0,214	0,198	0,183	0,168
$\alpha = 90^\circ ; \beta = -5^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,371	0,343	0,318	0,293	0,270	0,249	0,228	0,209	0,191
16	0,328	0,306	0,284	0,264	0,245	0,226	0,209	0,192	0,176
17	0,327	0,305	0,283	0,263	0,244	0,226	0,208	0,192	0,176
20	0,324	0,302	0,281	0,261	0,242	0,224	0,207	0,191	0,175
22	0,322	0,301	0,280	0,260	0,242	0,224	0,207	0,191	0,175
$\alpha = 90^\circ ; \beta = 0^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,390	0,361	0,333	0,307	0,283	0,260	0,238	0,217	0,198
16	0,349	0,324	0,300	0,278	0,257	0,237	0,218	0,201	0,184
17	0,348	0,323	0,299	0,277	0,256	0,237	0,218	0,200	0,183
20	0,345	0,320	0,297	0,276	0,255	0,235	0,217	0,199	0,183
22	0,343	0,319	0,296	0,275	0,254	0,235	0,217	0,199	0,183
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +5^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,414	0,382	0,352	0,323	0,297	0,272	0,249	0,227	0,206
16	0,373	0,345	0,319	0,295	0,272	0,250	0,229	0,210	0,192
17	0,372	0,344	0,318	0,294	0,271	0,249	0,229	0,210	0,192
20	0,370	0,342	0,316	0,292	0,270	0,248	0,228	0,209	0,191
22	0,369	0,341	0,316	0,292	0,269	0,248	0,228	0,209	0,191
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +10^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,443	0,407	0,374	0,343	0,314	0,286	0,261	0,238	0,216
16	0,404	0,372	0,342	0,315	0,289	0,265	0,242	0,221	0,201
17	0,404	0,371	0,342	0,314	0,288	0,264	0,242	0,221	0,201
20	0,402	0,370	0,340	0,313	0,287	0,263	0,241	0,220	0,201
22	0,401	0,369	0,340	0,312	0,287	0,263	0,241	0,220	0,201
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +15^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,482	0,440	0,402	0,367	0,334	0,304	0,276	0,251	0,227
16	0,447	0,408	0,372	0,340	0,310	0,283	0,258	0,234	0,213
17	0,447	0,407	0,372	0,339	0,310	0,282	0,257	0,234	0,212
20	0,446	0,406	0,371	0,338	0,309	0,282	0,257	0,234	0,212
22	0,446	0,406	0,371	0,338	0,309	0,282	0,257	0,234	0,212

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 381).



Tabel 2.9
Koefisien Tekanan Tanah Pasif (K_p) Teori Coulomb

$\alpha = 90^\circ ; \beta = -10^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	1,914	2,053	2,204	2,369	2,547	2,743	2,957	3,193	3,452
16	2,693	2,956	3,247	3,571	3,934	4,344	4,807	5,335	5,940
17	2,760	3,034	3,339	3,679	4,062	4,493	4,983	5,543	6,187
20	2,980	3,294	3,645	4,041	4,488	4,997	5,581	6,255	7,039
22	3,145	3,490	3,878	4,317	4,817	5,389	6,050	6,819	7,720
$\alpha = 90^\circ ; \beta = -5^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2,223	2,392	2,577	2,781	3,004	3,250	3,523	3,826	4,163
16	3,367	3,709	4,094	4,529	5,024	5,591	6,243	7,000	7,883
17	3,469	3,828	4,234	4,694	5,218	5,820	6,516	7,326	8,277
20	3,806	4,226	4,704	5,250	5,879	6,609	7,462	8,468	9,666
22	4,064	4,532	5,067	5,684	6,400	7,236	8,222	9,397	10,809
$\alpha = 90^\circ ; \beta = 0^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2,561	2,770	3,000	3,255	3,537	3,852	4,204	4,599	5,045
16	4,195	4,652	5,174	5,775	6,469	7,279	8,230	9,356	10,704
17	4,346	4,830	5,385	6,025	6,767	7,636	8,662	9,882	11,351
20	4,857	5,436	6,105	6,886	7,804	8,892	10,194	11,771	13,705
22	5,253	5,910	6,675	7,574	8,641	9,919	11,466	13,364	15,726
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +5^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2,943	3,203	3,492	3,815	4,177	4,585	5,046	5,572	6,173
16	5,250	5,878	6,609	7,464	8,474	9,678	11,128	12,895	15,076
17	5,475	6,146	6,929	7,850	8,942	10,251	11,836	13,781	16,201
20	6,249	7,074	8,049	9,212	10,613	12,321	14,433	17,083	20,468
22	6,864	7,820	8,960	10,334	12,011	14,083	16,685	20,011	24,352
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +10^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	3,385	3,713	4,080	4,496	4,968	5,507	6,125	6,841	7,673
16	6,652	7,545	8,605	9,876	11,417	13,309	15,665	18,647	22,497
17	6,992	7,956	9,105	10,492	12,183	14,274	16,899	20,254	24,633
20	8,186	9,414	10,903	12,733	15,014	17,903	21,636	26,569	33,270
22	9,164	10,625	12,421	14,659	17,497	21,164	26,013	32,602	41,864
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +15^\circ$									
δ ($^\circ$)	$\varphi = (^\circ)$								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	3,913	4,331	4,807	5,352	5,981	6,710	7,563	8,570	9,768
16	8,611	9,936	11,555	13,557	16,073	19,291	23,494	29,123	36,894
17	9,139	10,590	12,373	14,596	17,413	21,054	25,867	32,409	41,604
20	11,049	12,986	15,422	18,541	22,617	28,081	35,629	46,459	62,760
22	12,676	15,068	18,130	22,136	27,507	34,930	45,584	61,627	87,356

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 382).

2.8.5 Prosedur Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Secara umum, langkah-langkah perhitungan perencanaan struktur dinding penahan tanah dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Dipilih bentuk dinding penahan tanah, termasuk memilih dimensi vertikal, tebal dan lebar pelat pondasinya. Untuk keperluan ini maka, *Gambar 2.17* dapat dijadikan penunjuk awal.
2. Dengan parameter-parameter tanah yang telah diketahui, maka dapat dihitung gaya-gaya yang bekerja di atas dasar pondasi dinding penahan.
3. Tentukan letak resultan gaya-gaya yang bekerja. Letak dari resultan tersebut digunakan untuk mengetahui kestabilan dinding penahan terhadap bahaya penggulingan.
4. Dihitung faktor aman terhadap penggulingan dan penggeseran
5. Dihitung tekanan yang terjadi pada dasar pondasi. Tekanan maksimum tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah izin (q_a)
6. Dirancang bagian-bagian pembentuk struktur, seperti: menghitung dimensi dan penulangan pondasi maupun dinding.

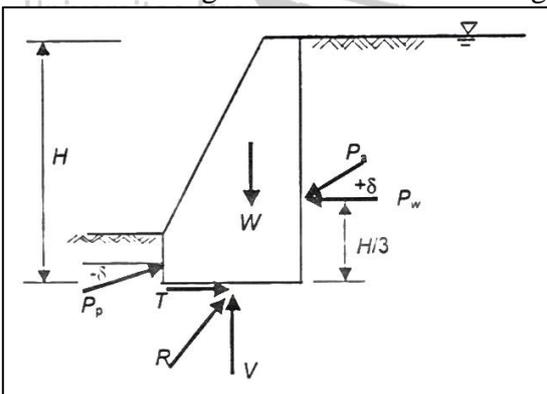
2.9 Stabilitas Bangunan Dinding Penahan Tanah Kantilever

2.9.1 Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever

Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah meliputi lihat *Gambar 2.20*:

1. Berat sendiri dinding penahan (W)
2. Gaya tekanan tanah aktif total tanah urug (P_a)
3. Gaya tekanan tanah pasif total di depan dinding (P_p)
4. Tekanan air pori di dalam tanah (P_w)
5. Reaksi tanah dasar (R)

Jika dinding dalam keadaan seimbang, jumlah vektor gaya-gaya akan sama dengan nol.



Gambar 2.20 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 395).

Analisis stabilitas dinding penahan tanah gravitasi ditinjau terhadap hal-hal sebagai berikut:

1. Faktor aman terhadap penggeseran dan penggulingan harus mencukupi.
2. Tekanan yang terjadi pada tanah dasar fondasi harus tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah izin.
3. Stabilitas lereng secara keseluruhan harus memenuhi syarat.

Selain itu, jika tanah dasar mudah mampat, penurunan tak seragam yang terjadi harus tidak boleh berlebihan.

2.9.2 Stabilitas Terhadap Penggeseran

Gaya-gaya yang terjadi sehingga menggeser dinding penahan tanah gravitasi akan ditahan oleh:

1. Gesekan antara tanah dengan dasar fondasi
2. Tekanan tanah pasif bila di depan dinding penahan terdapat tanah timbunan.

Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \quad \dots \dots \dots (2-38)$$

- Untuk tanah granuler ($c = 0$):

$$\begin{aligned} \sum R_h &= Wf \\ &= Wtg\delta_b; \text{ dengan } \delta_b \leq \phi \quad \dots \dots \dots (2-39) \end{aligned}$$

- Untuk tanah kohesif ($\phi = 0$):

$$\sum R_h = c_a B \quad \dots \dots \dots (2-40)$$

- Untuk tanah $c - \phi$ ($\phi > 0$ dan $c > 0$):

$$\sum R_h = c_a B + Wtg\delta_b \quad \dots \dots \dots (2-41)$$

dengan:

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

W = berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat fondasi

δ_b = sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi, biasanya diambil $1/3 - (2/3)\phi$

c_a = $a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding

c = kohesi tanah dasar

a_d = faktor adhesi

B = lebar fondasi (m)

$\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal



$F_{gs} = \text{tg } \delta_b =$ koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar fondasi

Faktor aman terhadap penggeseran dasar fondasi (F_{gs}) minimum, diambil 1,5. Bowles (1997) menyarankan:

$F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gs} \geq 2,0$ untuk tanah dasar kohesif.

Tabel 2.10
Nilai-nilai f dari Berbagai Macam Jenis Tanah Dasar

Jenis Tanah Dasar Fondasi	$f = \text{tg } \delta$
Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkohesi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 397).

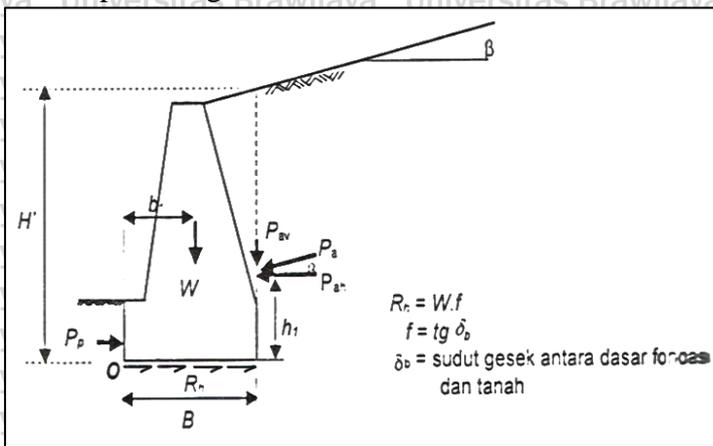
Jika dasar fondasi sangat kasar, seperti beton yang dicor langsung ke tanah, koefisien gesek $f = \text{tg } \delta_b = \text{tg } \phi$, dengan ϕ adalah sudut gesek dalam tanah dasar.

Perhatian perlu diberikan jika dinding penahan tanah terletak pada tanah lanau atau lempung. Segera sebelum fondasi dicor, dasar fondasi lebih baik digali sedalam 10 cm, setelah itu ditimbun dengan tanah pasir kasar atau pasir campur kelikir yang dipadatkan setebal 10 cm. koefisien gesek antara pasir dan tanah di bawahnya (f) dapat diambil 0,35.

Tetapi, jika kuat geser tak terdrainasi (*undrained strength*) dari lapisan lunaknya lebih kecil dari tahanan geser dasar fondasi, penggeseran akan terjadi pada tanah lunak di bawah dasar fondasi tersebut. Untuk itu, nilai adhesi antara dasar fondasi dan tanah bawahnya dianggap sama dengan nilai kohesi tanah (c), dan sudut gesek dalam (ϕ) dianggap sama dengan nol.

Jika tanah berupa lempung kaku atau keras, tanah dasar harus dibuat kasar sebelum pengecoran. Hal ini untuk menyakinkan berkembangnya kohesi secara penuh. Dalam menggunakan nilai kohesi (c), pengurangan kohesi akibat penggalian, atau gangguan waktu pelaksanaan harus diperhitungkan.

Jika dinding penahan tanah harus didukung oleh fondasi tiang semua beban harus dianggap didukung oleh tiang. Karena itu tanah gesek dan adhesi pada dasar fondasi harus tidak diperhitungkan.



Gambar 2.21 Stabilitas Terhadap Penggeseran dan Penggulingan.

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 398).

2.9.3 Stabilitas Terhadap Penggulingan

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi.

Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas plat fondasi Gambar 2.21.

Faktor aman akibat terhadap penggulingan (F_{gl}), didefinisikan sebagai:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 1,5 \quad \dots \dots \dots (2-42)$$

dengan:

$$\sum M_w = Wb_1$$

$$\sum M_w = \sum P_{ah} h_1 + \sum P_{av} B$$

$\sum M_w$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

W = berat tanah di atas pelat fondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)

B = lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

$\sum P_{av}$ = jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

Tahanan tanah pasif, oleh tanah yang berada di depan kaki dinding penahan sering diabaikan dalam hitungan stabilitas. Jika tahanan tanah pasif yang ditimbulkan oleh pengunci pada dasar fondasi diperhitungkan, maka nilainya harus direduksi untuk



mengantisipasi pengaruh-pengaruh erosi, iklim dan retakan akibat tegangan-tegangan tarik tanah dasar yang kohesif.

2.9.4 Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah (Terzaghi)

Kapasitas dukung ultimit (q_u) untuk fondasi memanjang dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

$$q_u = cN_c + D_f\gamma N_q + 0,5 B\gamma N_\gamma \quad \dots \dots \dots (2-43)$$

dengan:

c = kohesi tanah (kN/m^2)

D_f = kohesi tanah (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

B = lebar fondasi dinding penahan tanah (m)

N_c , N_q dan N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung Terzaghi (Tabel 2.15)

Tabel 2.11

Nilai-nilai Faktor Kapasitas Dukung Terzaghi

ϕ	Keruntuhan Geser Umum			ϕ	Keruntuhan Geser Lokal		
	N_c	N_q	N_γ		N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,7	1,0	0,0	0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	10	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	15	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	20	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	25	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	30	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	34	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	35	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	40	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	45	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	48	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	50	81,3	65,6	87,1

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2006, p. 94).

2.10. Pondasi Tiang Bor (*bored pile*)

2.10.1 Umum

Pondasi merupakan bagian paling bawah dari sebuah konstruksi bangunan yang mempunyai peranan yang sangat penting serta bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structur*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila

kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan dan keruntuhan dari tanah akan terjadi. Banyak cara dalam menentukan pemilihan pondasi yang akan digunakan antara lain beban yang direncanakan bekerja, jenis lapisan tanah dan factor non-teknis seperti biaya kontruksi dan waktu kontruksi. Pondasi bangunan biasanya dibedakan menjadi dua bagian yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*), tergantung dari tata letak tanah kerasnya dan perbandingan kedalaman dengan lebar pondasi.

Pondasi dangkal kedalamannya kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$) dan dapat digunakan jika lapisan tanah kerasnya terletak dekat dengan permukaan tanah. Sedangkan pondasi dalam digunakan jika lapisan tanah keras berada jauh dari permukaan tanah.

Pondasi *bored pile* adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu (Hary Cristady Hardiyatmo, 2010). Pemasangan pondasi *bored pile* ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasanya disebut dengan *temporary casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton. Pondasi *bored pile* ini digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Daya dukung *bored pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara *bored pile* dan tanah disekelilingnya. *bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga.

Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi *bored pile*, antara lain:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan *dowel* pada pelat penutup tiang (*pile cap*). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak *bored pile*.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. *bored pile* dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.

6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada resiko kenaikan muka air.
Ada beberapa kerugian dalam pemakaian pondasi *bored pile*, antara lain:
 1. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkelikir.
 2. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
 3. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang, maka air yang mengalir langsung dihisap dan dibuang kembali ke dalam kolam air.
 4. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan pengecoran, dapat diatasi dengan cara menunda pengeboran dan pengecoran sampai keadaan cuaca yang cukup memungkinkan atau memasang tenda sebagai penutup.
 5. Akan terjadi tanah runtuh (*ground loss*) jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang casing untuk mencegah kelongsoran.
 6. Karena diameter tiang cukup besar dan memerlukan banyak beton dan material, untuk pekerjaan kecil mengakibatkan biaya meningkat maka ukuran tiang pondasi *bored pile* disesuaikan dengan beban yang dibutuhkan.

2.10.2 Kapasitas Daya Dukung *Bored Pile* dari Hasil Sondir

Diantara perbedaan tes dilapangan, sondir atau *cone penetration test* (CPT), seringkali sangat dipertimbangkan berperan dari geoteknik. CPT atau sondir ini tes yang sangat cepat, sederhana, ekonomis dan tes tersebut dapat dipercaya dilapangan dengan pengukuran terus-menerus dari permukaan tanah-tanah dasar. CPT atau sondir ini dapat juga mengklasifikasi lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Pada perhitungan kapasitas pondasi *bored pile* dengan sondir tidak diperhitungkan daya dukung selimut *bored pile*. Hal ini dikarenakan perlawanan geser tanah yang terjadi pada pondasi *bored pile* dianggap sangat kecil sehingga dianggap tidak ada. Didalam perencanaan pondasi tiang, data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari *bored pile* sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung *ultimate* dari pondasi tiang.

1. Daya dukung *ultimate* pondasi *bored pile* dinyatakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{ult} = (q_b \times A_p) \dots \dots \dots (2-44)$$

dimana:

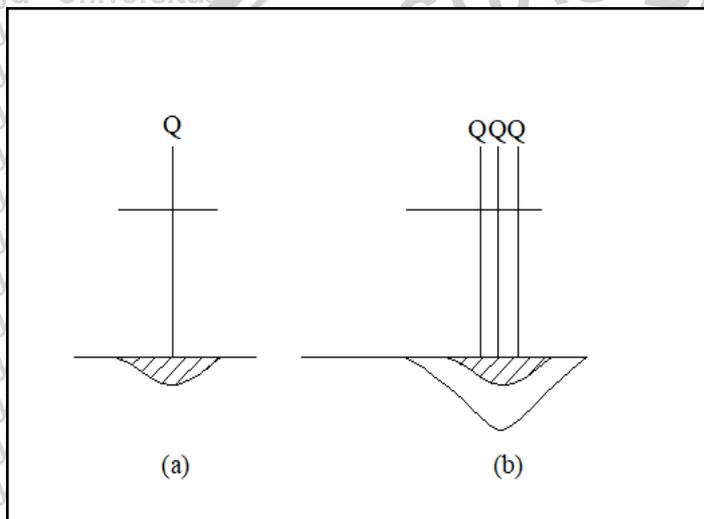
Q_{ult} = kapasitas daya dukung *bored pile* (kN)

q_b = tahanan ujung sondir (kN/m²)

A_p = luas penampang tiang (m²)

2.10.3 Jarak Tiang Bor

Pada umumnya, jarak antar tiang dipasang pada kedudukan yang benar-benar lurus dan tepat pada titik lokasi yang telah ditentukan. Meskipun tiang dipasang pada titik yang benar-benar tepat, kadang-kadang masih terdapat momen lentur kolom yang harus ditahan oleh kepala tiang. Oleh karena itu, disarankan agar paling sedikit menggunakan tiga tiang untuk pondasi kolom utama dan dua tiang untuk pondasi dinding memanjang.



Gambar 2.22 Distribusi Tekanan Pada Tanah di Bawah Tiang

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2008, p. 193).

Jika sebuah tiang (tiang dukung ujung) dibebani dengan beban Q , tanah di bawah dasar tiang menjadi tertekan dengan diagram tekanan seperti yang terlihat pada Gambar 2.23a

Kalau jumlah tiang tidak hanya satu dan disusun pada jarak tertentu, maka zone tanah tertekan menjadi tumpang tindih. Pada kondisi, tekanan total pada titik tertentu akan sama dengan jumlah tekanan yang diakibatkan oleh masing-masing tiang pada Gambar 2.23b,

yang besarnya dapat beberapa kali lebih besar dari tekanan akibat tiang tunggal. Kondisi demikian dapat pula terjadi pada kelompok tiang pada tipe tiang gesek. Kecuali, jika tiang-tiang dipancang pada jarak yang besar. Namun jarak tiang yang terlalu besar menyebabkan biaya pembuatan pelat penutup tiang (*pile cap*) menjadi ekonomis. Tabel 2.17 memberikan

jarak tiang minimum yang dibutuhkan untuk menekan biaya pembuatan pelat penutup tiang (*pile cap*) yang disarankan oleh Teng (1962).

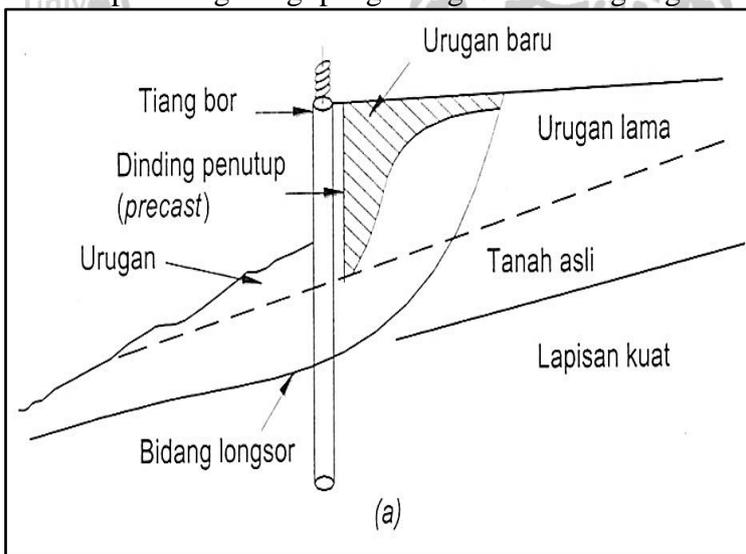
Tabel 2.12

Jarak Tiang Minimum

Fungsi Tiang	Jarak As-as Tiang Minimum
Tiang dukung ujung dalam tanah keras	2 – 2,5D atau 75 cm 2D atau 60 cm
Tiang dukung ujung pada batuan keras	3 – 5D, atau 75 cm
Tiang gesek	

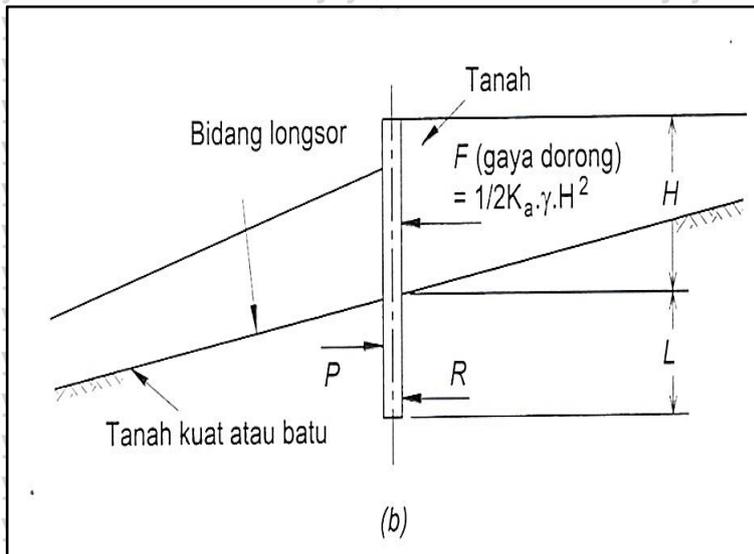
Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2008, p. 193).

Pada jenis-jenis tanah tertentu, seperti tanah pasir padat, tanah plastis, lanau jenuh dan lain-lainnya, jarak tiang yang terlalu dekat menyebabkan bahaya gerakan tanah secara lateral dan pengembangan tanah. Sedang pada pasir tidak padat, jarak yang terlalu dekat lebih disukai karena pemancangan dapat memadatkan tanah di sekitar tiang. Jarak tiang yang dekat dapat mengurangi pengaruh gesek dinding negatif.



Gambar 2.23 Dinding Tiang-tiang Bor Untuk Stabilitas Longsoran yang Dalam

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2012, p. 266).



Gambar 2.24 Konsep Perancangan Dinding dari Tiang Bor

Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady (2012, p. 266).

Dalam suatu area pemukiman padat, pelandaian lereng atau timbunan *berm* untuk menambah gaya penahan longsor supaya tidak efektif lagi digunakan. Hal ini, karena disebabkan ruang pembebasan tanah yang sangat terbatas. Dalam hal demikian, tiang-tiang bor (berdiameter 0.60-1.5 m) dapat dipasang sebagai perkuatan lereng Gambar 2.24 tiang-tiang harus dipasang sampai kedalaman tertentu sampai menembus lapisan keras untuk menahan gerakan massa tanah yang akan longsor Gambar 2.25 karena pengaruh lengkung (*arching effect*) tanah yang berada diantara tiang-tiang tersebut.

2.11 Pile Cap

2.11.1 Umum

Pile cap merupakan salah satu elemen penting dari suatu struktur. Hal ini dikarenakan *pile cap* memiliki peranan penting dalam pendistribusian beban struktur ke tiang pancang untuk kemudian diteruskan ke dalam tanah. *pile cap* digunakan sebagai pondasi untuk mengikat tiang pancang yang sudah terpasang dengan struktur yang berada di atasnya. Bentuk *pile cap* ini bervariasi yaitu bentuk trapezium, jajar genjang, persegi dan persegi panjang. *pile cap* tersusun atas tulangan baja berdiameter 16 mm, 19 mm dan 25 mm yang membentuk suatu bidang dengan ketebalan 50 mm dan lebar yang berbeda-beda tergantung dari jumlah tiang yang tertanam.

Fungsi dari *pile cap* adalah untuk menerima beban dari kolom yang kemudian akan terus disebarkan ke tiang pancang dimana masing-masing *pile* menerima $1/N$ dari beban oleh kolom dan harus \leq daya dukung yang diijinkan (Y ton) (N = jumlah kelompok *Pile*). Jadi

beban maksimum yang bisa diterima oleh *pile cap* dari suatu kolom adalah sebesar N_x (Y ton). *pile cap* merupakan suatu cara untuk mengikat pondasi sebelum didirikan kolom di bagian atasnya. *pile cap* ini bertujuan agar lokasi kolom benar-benar berada dititik pusat pondasi sehingga tidak menyebabkan eksentrisitas yang dapat menyebabkan beban tambahan pada pondasi. Selain itu, seperti halnya kepala kolom, *pile cap* juga berfungsi untuk menahan gaya geser dari pembebanan yang ada.

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah *pile cap*, yang secara luas tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah *pile cap* akan bertambah besar dan berakibat volume beton bertambah besar sehingga biaya konstruksi menjadi membesar. *Pile cap* biasanya terbuat dari beton bertulang, perancangannya dilakukan dengan anggapan *pile cap* sangat kaku. Hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan *pile cap* adalah pengaturan tiang dalam satu kelompok. Pada umumnya susunan tiang dibuat simetris dengan pusat berat kelompok tiang dan pusat berat *pile cap* terletak pada satu garis vertikal.

Tahapan-tahapan pengerjaan *pile cap*, yakni sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan penggalian tanah, dilakukan pemotongan *pile* sesuai elevasi *pile cap* yang diinginkan.
2. Tanah disekililing *pile* digali sesuai dengan bentuk *pile cap* yang telah direncanakan.
3. Pada *pile* dilakukan pembobokan pada bagian betonnya hingga tersisa tulangan besinya yang kemudian dijadikan sebagai stek pondasi sebagai pengikat dengan *pile cap*. Pembobokan hanya sampai elevasi dasar *pile cap* saja.
4. Melakukan pemasangan bekisting dari batako disekeliling daerah *pile*. Penggunaan batako ini dipilih karena batako cukup kuat untuk menahan beban sebagai bekisting serta cukup murah untuk pada akhirnya ditimbun bersama saat pengecoran
5. Sebagai landasan *pile cap*, dibuat lantai kerja terlebih dahulu dengan ketebalan 10 cm.
6. Melakukan pemasangan tulangan-tulangan *pile cap* yang meliputi tulangan utama atas dan bawah, persiapan stek pondasi, pemasangan kaki ayam, beton decking dan pemasangan stek *pile cap* sebagai penghubung menuju kolom.
7. Sebelum dilakukan pengecoran, tanah disekitar bekisting ditimbun kembali untuk menahan beban pengecoran dan meratakan kondisi tanah seperti semula.
8. Sebelum dilakukan pengecoran, tanah disekitar bekisting ditimbun kembali untuk menahan beban pengecoran dan meratakan kondisi tanah seperti semula.

2.12 Perencanaan Anggaran Biaya

2.12.1 Umum

Menurut Ir. A. Soedradjat pada bukunya yang berjudul “Analisa (cara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan”, perencanaan anggaran biaya adalah proses perhitungan volume pekerjaan, harga dari berbagai macam bahan dan pekerjaan yang akan terjadi pada suatu konstruksi. Rencana anggaran biaya diperlukan untuk memperhitungkan suatu bangunan atau proyek dengan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah serta biaya-biaya lain yang saling berhubungan dengan pelaksanaan suatu bangunan atau proyek. Dalam perencanaan anggaran biaya biasanya yang dibutuhkan berupa upah maupun bahan dalam pekerjaan diproyek konstruksi. Terdapat lima hal pokok dalam menghitung biaya konstruksi yaitu:

1. Bahan – bahan

Meliputi perhitungan bahan yang diperlukan dan harganya. Biasanya, harga bahan yang digunakan adalah harga bahan ditempat pekerjaan dilaksanakan dan sudah termasuk biaya angkutan, biaya menaikkan dan menurunkan, pengepakan, penyimpanan sementara di gudang, pemeriksaan kualitas, dan asuransi. Pehitungan biaya bahan – bahan dapat dirumuskan:

$$\text{Biaya Material} = \text{Volume Material} \times \text{Harga Material} \dots\dots\dots(2-45)$$

2. Upah Pekerja

Biaya upah pekerja sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti: durasi pekerjaan (panjangnya jam kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu jenis pekerjaan), kondisi lokasi pekerjaan, ketrampilan dan keahlian pekerja yang bersangkutan. Perhitungan biaya pekerja dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Pekerja} = \text{Durasi} \times \text{Upah Pekerja} \dots\dots\dots(2-46)$$

3. Alat-alat konstruksi

Peralatan yang diperlukan dalam pekerjaan konstruksi termasuk: bangunan – bangunan sementara, mesin – mesin dan alat – alat tangan (*tools*). Semua peralatan dapat ditempatkan di satu tempat atau sebagian di tempat lain tergantung dari keadaan setempat. Perhitungan biaya peralatan konstruksi didasarkan pada masa pakai dari alat tersebut, lamanya pemakaian alat, dan besarnya pekerjaan yang harus diselesaikan. Biaya peralatan juga meliputi: biaya sewa, pengangkutan dan pemasangan alat, pemindahan, pembongkaran, biaya operasi, dan juga upah operator dan pembantunya.

Perhitugan biaya alat berat dapat dirumuskan sebagai berikut:

Biaya Alat Berat = Durasi x Harga Sewa Alat Berat (2-47)

4. *Overhead* atau biaya tidak terduga

Biaya tidak terduga dibagi menjadi dua yaitu: biaya tidak terduga umum dan biaya tidak terduga proyek. Biaya tidak terduga umum adalah biaya yang tidak dapat dibebankan langsung pada proyek misalnya: sewa kantor, peralatan kantor dan alat tulis menulis, air, listrik, telepon, asuransi, pajak, bunga uang, biaya – biaya notaris, biaya perjalanan, dan pembelian berbagai macam barang – barang kecil. Biaya tidak terduga proyek adalah biaya yang dapat dibebankan pada proyek tetapi tidak dapat dibebankan pada biaya bahan-bahan, upah pekerja, atau biaya alat, misalnya: asuransi, telepon yang dipasang di proyek, pembelian tambahan dokumen kontrak pekerjaan, pengukuran (*survey*), surat – surat izin, honorarium, sebagian dari gaji pengawas proyek, dan lain sebagainya.

5. Keuntungan atau profit

Biasanya keuntungan dinyatakan dengan prosentase dari jumlah biaya, yaitu sekitar 8% sampai 15% tergantung dari keinginan kontraktor untuk mendapatkan proyek tersebut. Pengambilan keuntungan juga tergantung dari besarnya resiko pekerjaan, tingkat kesulitan pekerjaan, dan cara pembayaran dari pemberi pekerjaan.

2.13 Software GeoStudio 2012 (SLOPE/W)

2.13.1 Umum

Selain perhitungan manual, stabilitas lereng dapat juga dianalisis menggunakan *software* komputer. Ada beberapa macam *software* yang telah dikembangkan. Tapi dalam studi ini akan menggunakan *software* GeoStudio 2012 (SLOPE/W). GeoStudio 2012 (SLOPE/W) merupakan perangkat lunak dibidang geoteknik untuk menganalisis stabilitas lereng. *Software* ini menggunakan metode keseimbangan batas. SLOPE/W merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan.

Dengan SLOPE/W dapat dilakukan analisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekan air pori, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Selain itu dapat juga digunakan untuk elemen tekan air pori terbatas, tegangan statis atau tegangan dinamik pada analisis kestabilan lereng serta dapat juga dikombinasikan dengan analisis probablistik. Metode ini adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, dikenal juga sebagai metode irisan karena bidang kelongsoran dari lereng tersebut dibagi

menjadi beberapa pias. Dalam metode ini juga terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu *circular* dan *non-circular*. Pada metode kesetimbangan batas digunakan asumsi bidang kelongsoran *circular* serta mempunyai kemampuan untuk menganalisis contoh tanah yang berbeda jenis dan tipe, longsor dan kondisi tekanan air pori dalam tanah yang berubah menggunakan bagian besar contoh tanah. Metode ini bertujuan untuk mencari atau membantu menemukan pendekatan nilai F_s pada metode *bishop* sehingga mempermudah proses coba-coba (*trial error*).

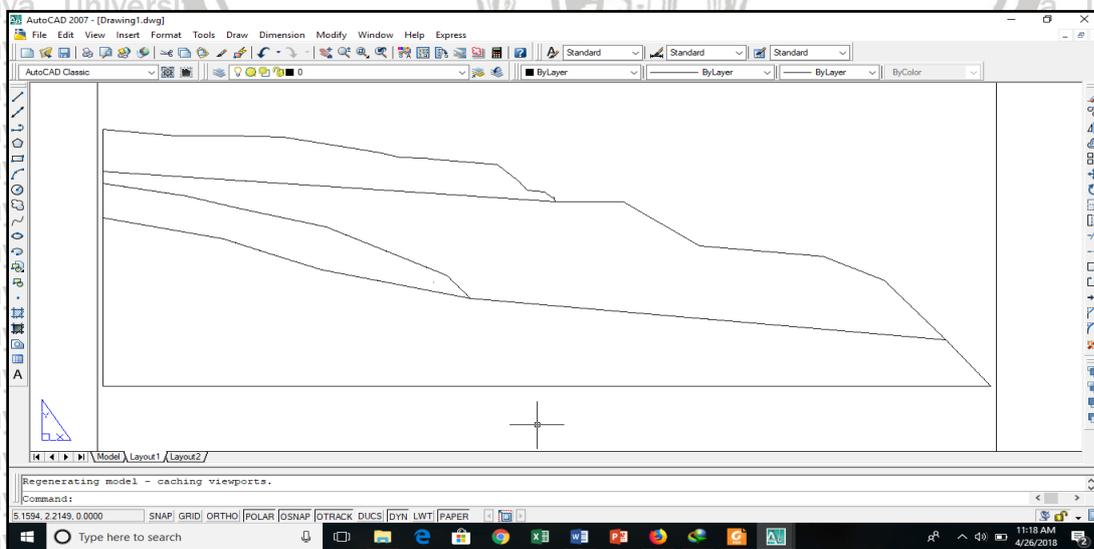
2.13.2 Metode *Bihstop*

Metode *bishop* merupakan metode yang diperkenalkan oleh A. w. Bishop menggunakan cara potongan dimana gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan. Metode *bishop* ini dipakai untuk menganalisis permukaan gelicir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada atau bekerja dipusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut.

2.13.3 Analisis Lereng Menggunakan *software* GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*)

Untuk menganalisis suatu lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*), maka dilakukan dengan tahapan-tahapan dalam pengerjaannya yakni sebagai berikut:

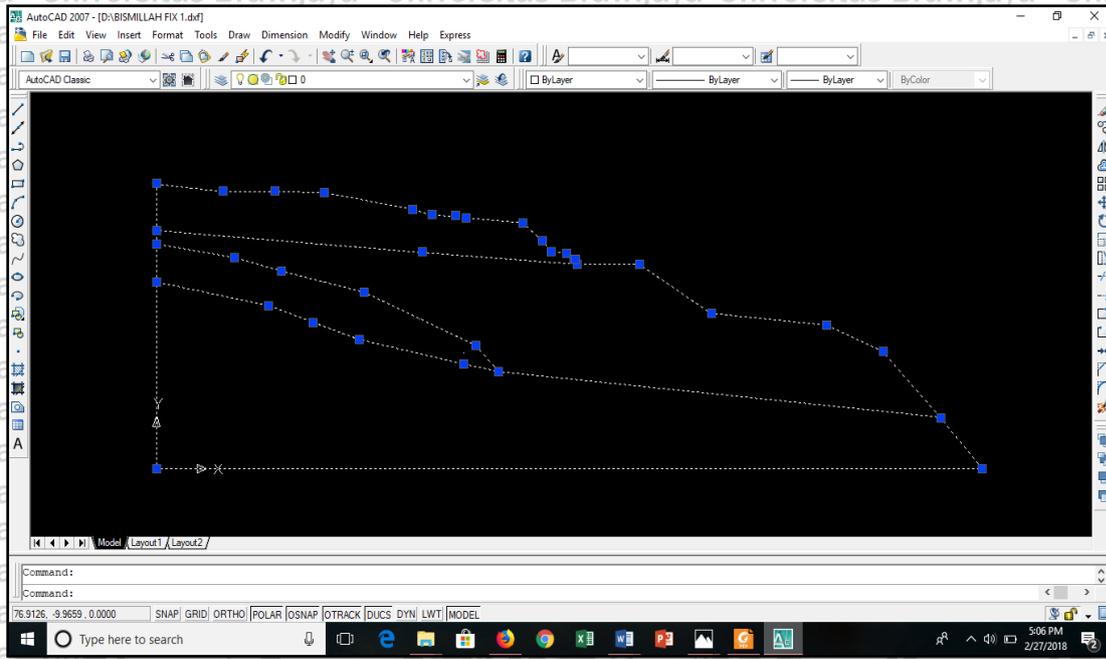
1. Buka *File* gambar potongan lereng pada Aplikasi *AutoCAD*.



Gambar 2.25. Tampilan Awal Objek Analisa

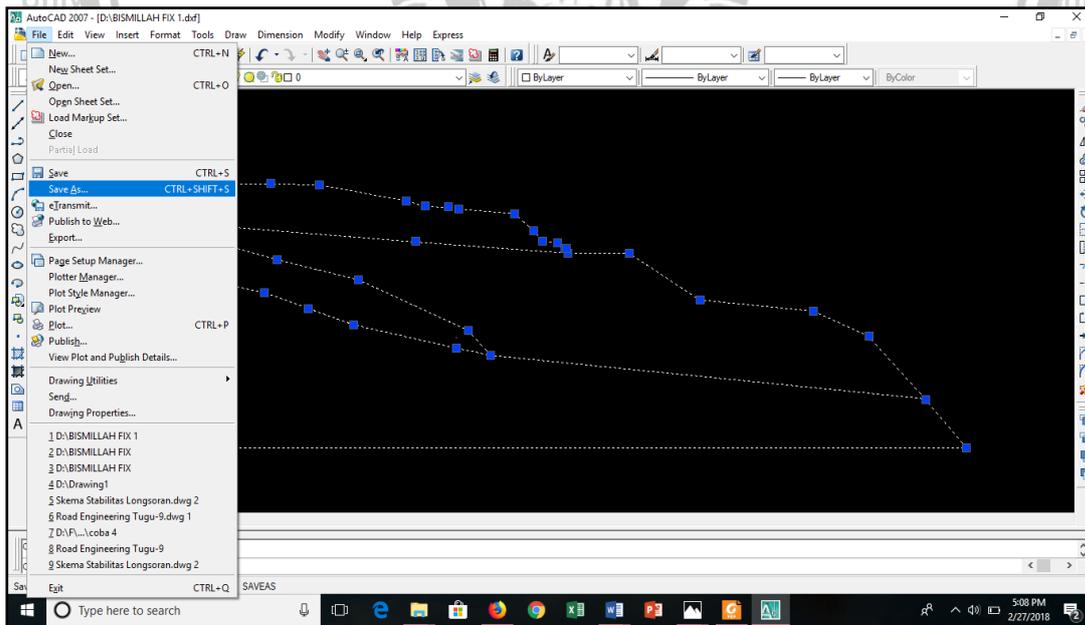
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

2. Pastikan garis-garis pada potongan saling terhubung atau garis-garis dalam bentuk format **Polyline** dan tiap garis **Polyline** saling **Tertutup** serta ketik **UCS** untuk memindahkan sumbu **X Y** tepat dipojok kiri bawah.



Gambar 2.26. Tampilan Awal Objek Analisa Setelah di Format **Polyline**
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

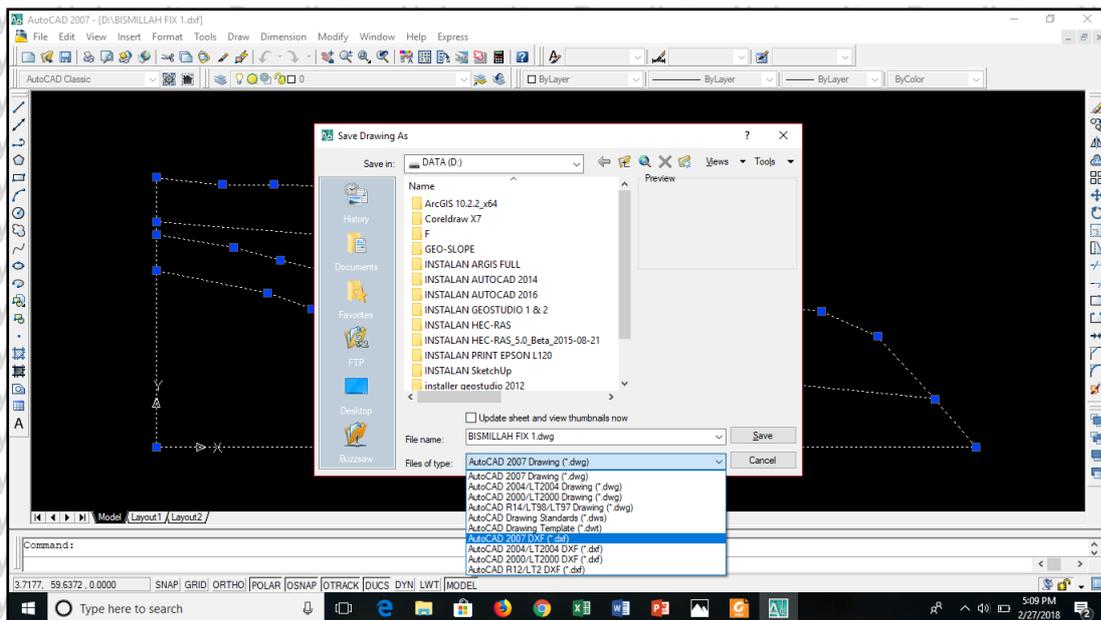
3. Pilih **File** kemudian klik **Save As**.



Gambar 2.27. Tampilan Pengaturan **Save As**

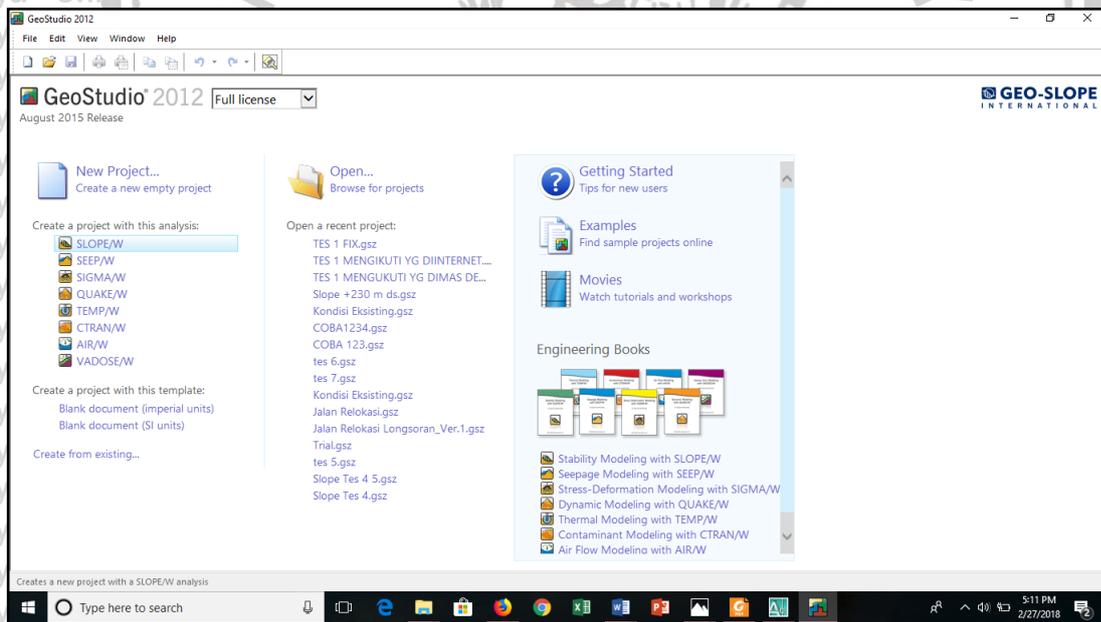
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

4. Kemudian beri nama **File** serta **Safe File** dalam bentuk **Autocad DXF**.



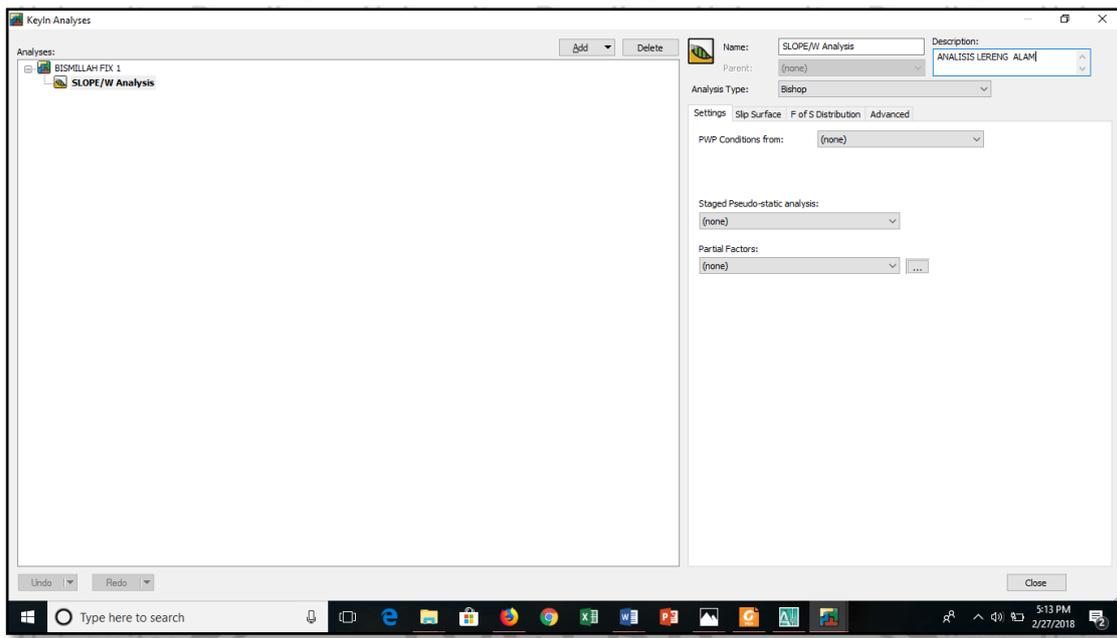
Gambar 2.28. Tampilan Pengaturan Autocad DXF
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

5. Kemudian buka Aplikasi **GeoStudio 2012**.
6. Pilih **New** kemudian klik **SLOPE/W**.



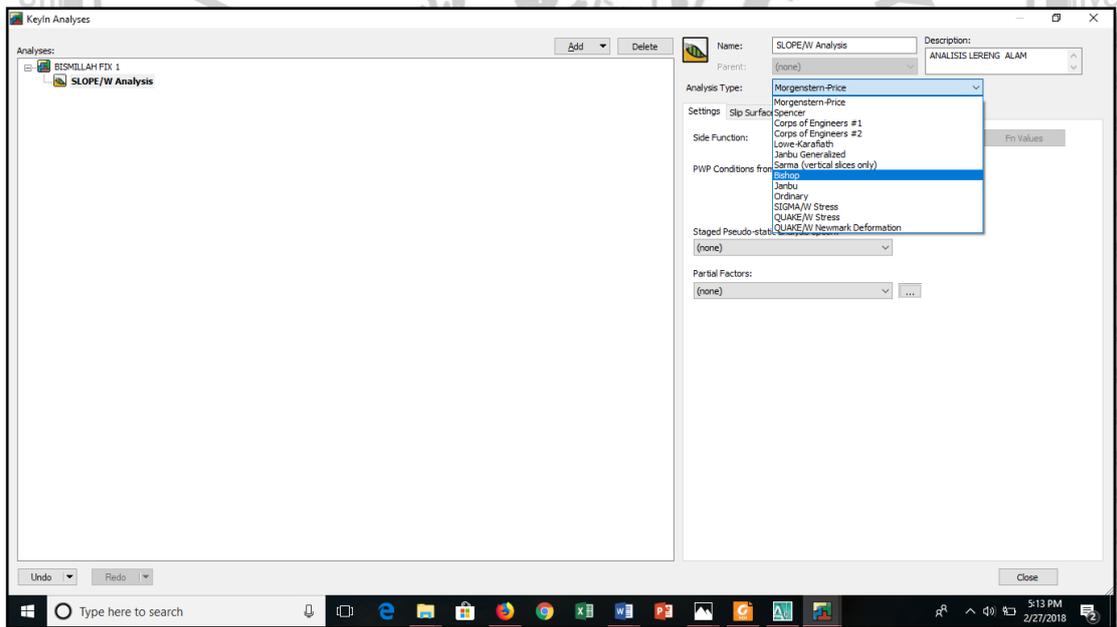
Gambar 2.29. Tampilan Awal GeoStudio 2012 (SLOPE/W)
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

7. Isikan **Name Project** pada **Name** kemudian isikan juga **Description Project** pada kolom **Description**.



Gambar 2.30. Tampilan Pengaturan *Name Project*
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

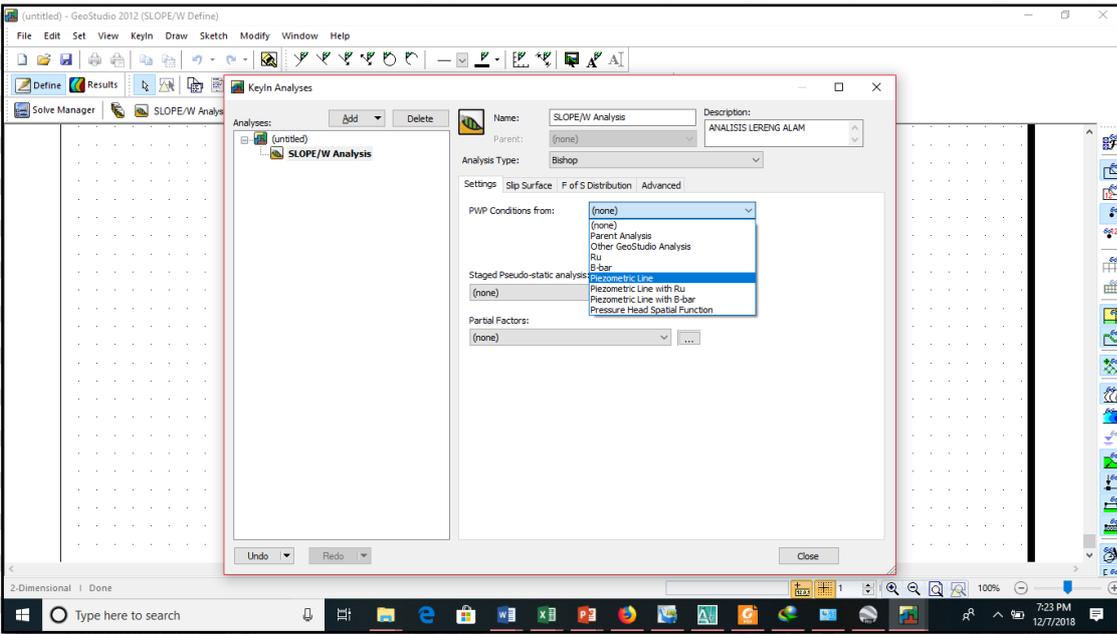
- Pilih *Analysis Type* kemudian pilih analisis yang diinginkan, misalkan menggunakan metode *Bishop*.



Gambar 2.31. Tampilan Pengaturan *Analysis Type*.
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

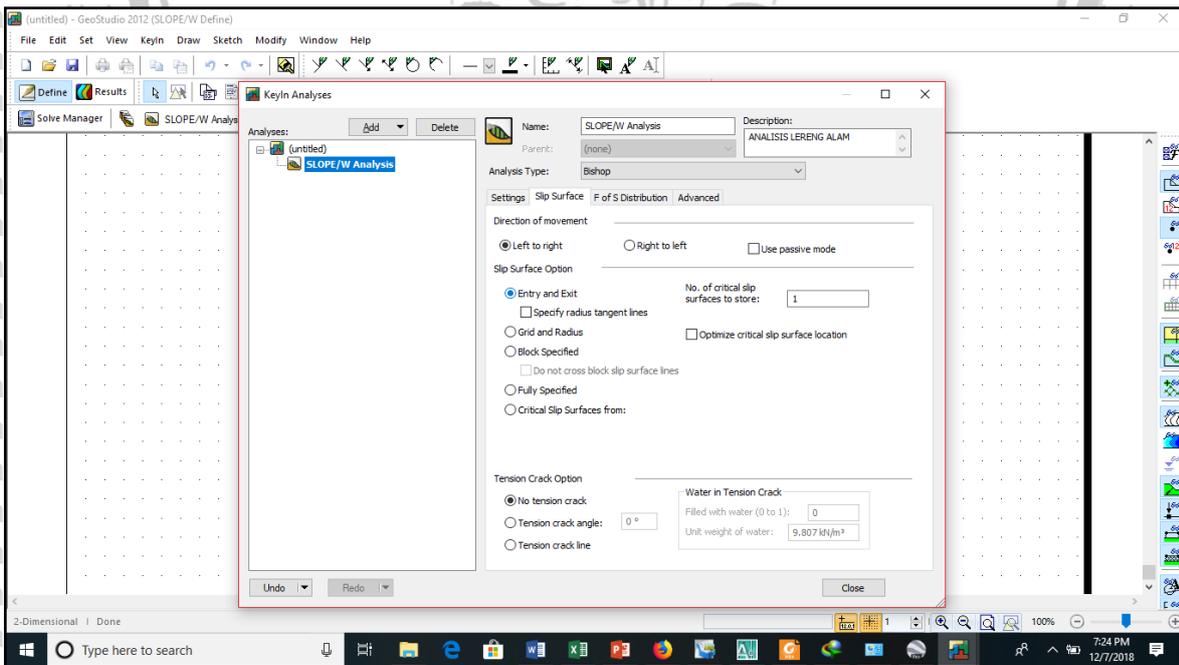


9. Pilih **Settings** kemudian pilih **Piezometric Line** (digunakan jika ada muka air tanah)



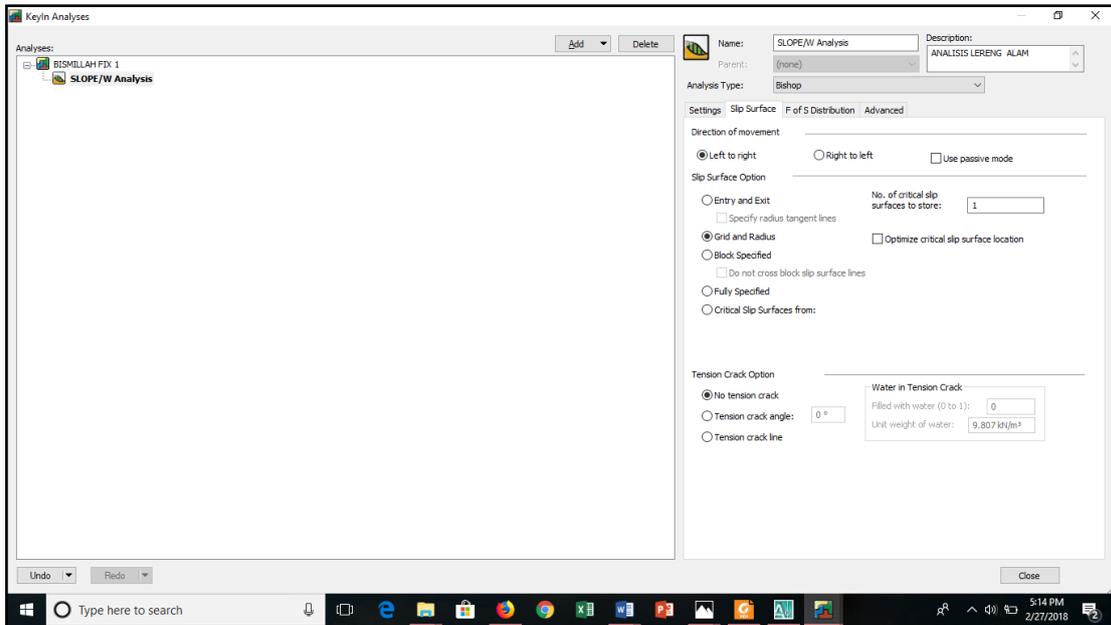
Gambar 2.32. Tampilan Pengaturan *Analysis Type*
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

10. Pilih **Slip Surface** kemudian beri tanda klik pada **Direction of Movement** pilih sesuai dengan arah keruntuhan lereng. Misalkan keruntuhan lereng dari arah kiri ke Kanan maka dipilih **Left to Right**, pada kolom **Slip Surface Options** beri tanda klik pada **Entry and Exit** setelah itu klik **Close**.



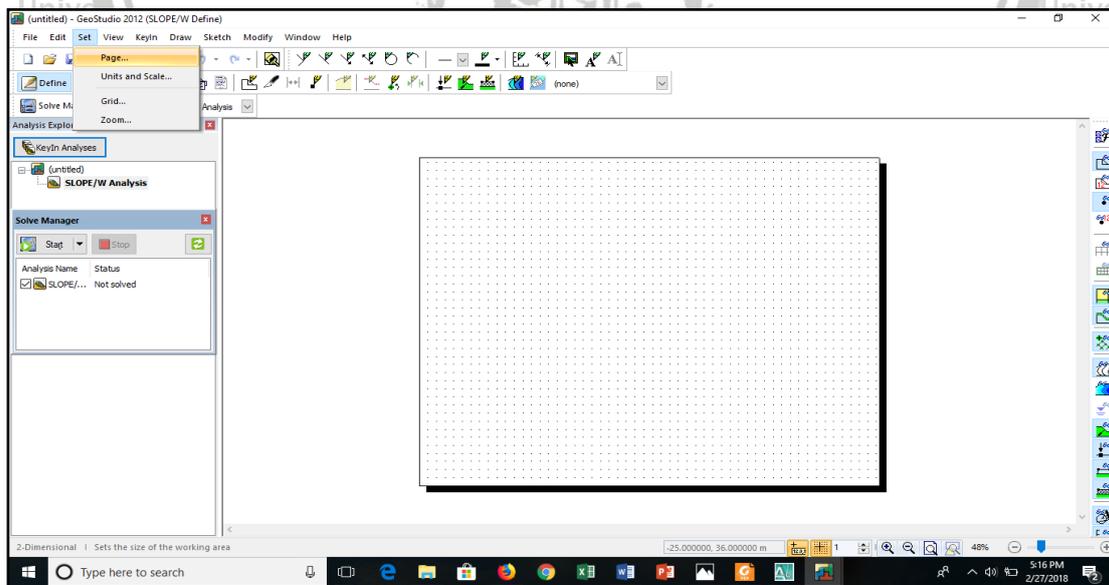
Gambar 2.33. Tampilan Pengaturan *Analysis Type*
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

11. Pilih **Slip Surface** kemudian beri tanda klik pada **Direction of Movement** pilih sesuai dengan arah keruntuhan lereng. Misalkan keruntuhan lereng dari arah kiri ke kanan maka dipilih **Left to Right**, pada kolom **Slip Surface Options** beri tanda klik pada **Grid and Radius and Radius** setelah itu klik **Close**.



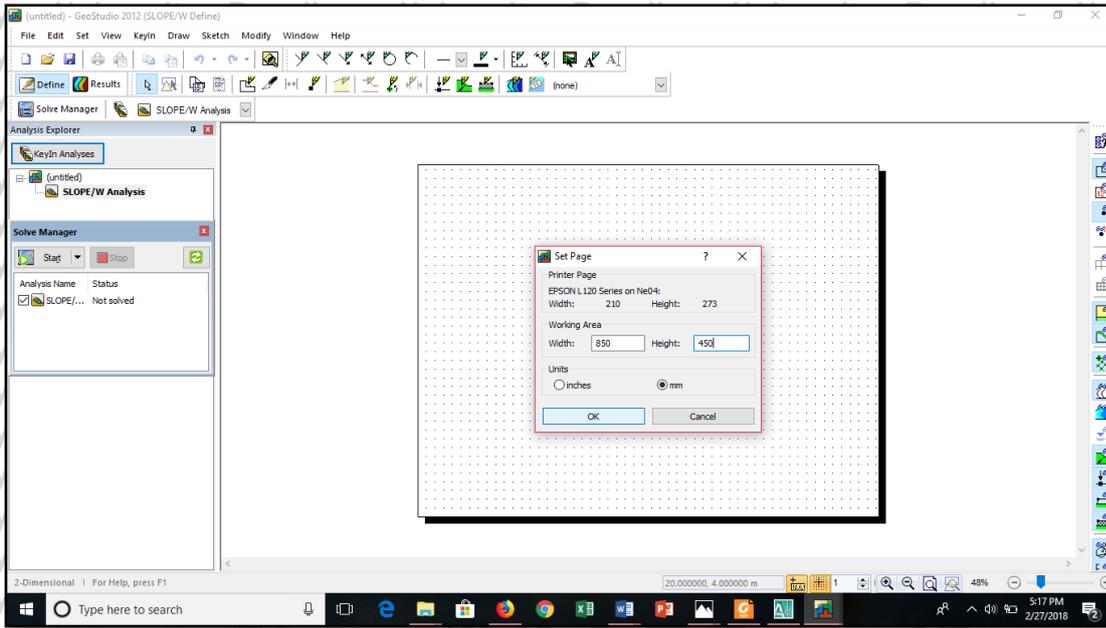
Gambar 2.34. Tampilan Pengaturan *Slip Surface*
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

12. Langkah selanjutnya adalah menentukan ukuran kertas sesuai dengan gambar pada *project* yang diinginkan, dengan cara memilih **Set** kemudian pilih **Page**.



Gambar 2.35. Tampilan Pengaturan Lembar Kerja
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

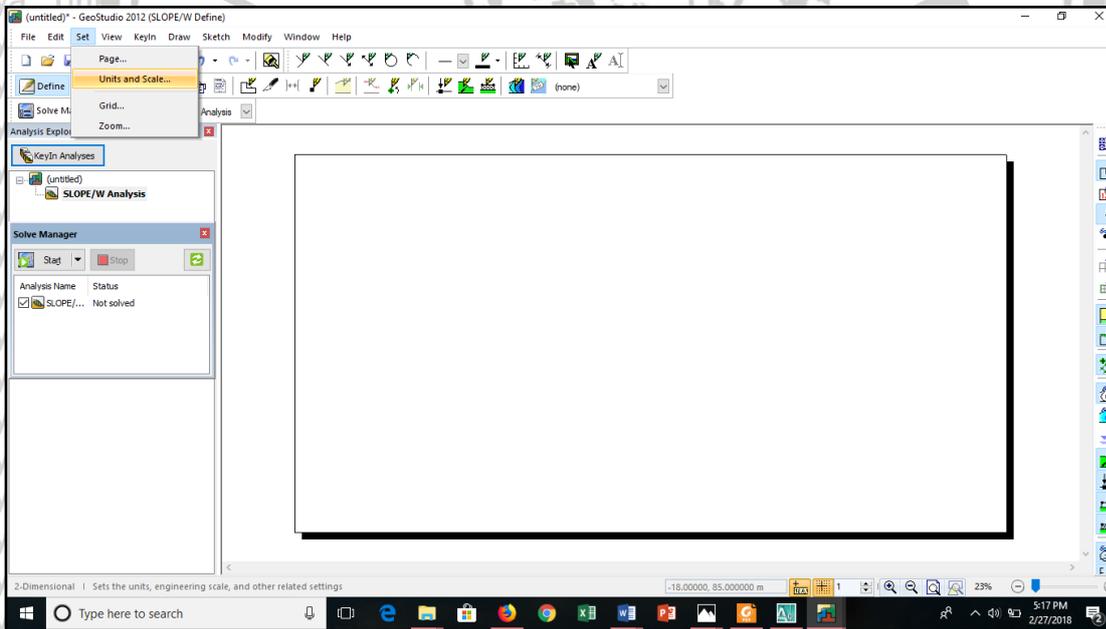
13. Pada kotak dialog **Set Page** masukan ukuran kertas dari lembar *project* tersebut dengan memilih satuan **mm** kemudian klik **Ok**.



Gambar 2.36. Tampilan Pengaturan *Set Page*

Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

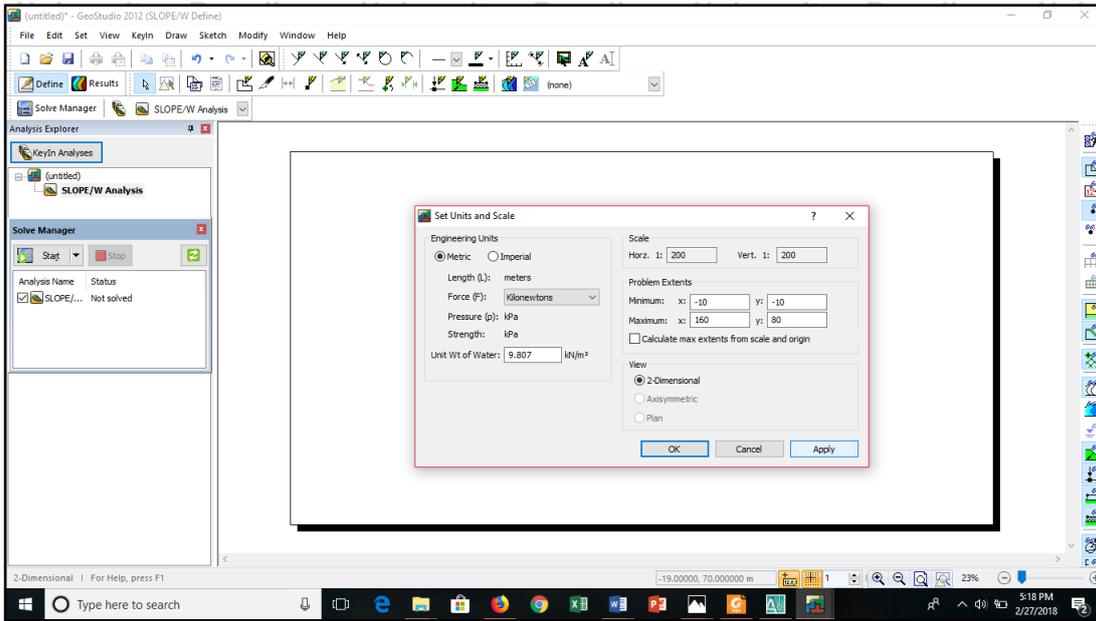
14. Untuk mengatur skala dari gambar *project* tersebut maka pilih **Set** kemudian klik **Units and Scale**.



Gambar 2.37. Tampilan Pengaturan *Units and Scale*

Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

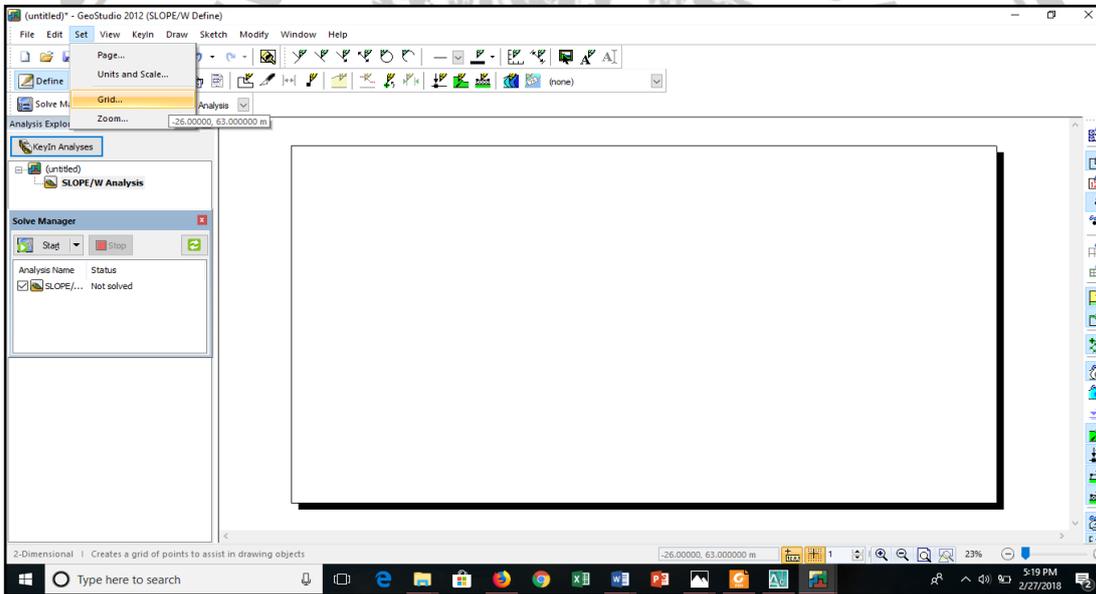
15. Pada kotak dialog **Set Units and Scale** kemudian beri tanda klik pada **Metric** kemudian isikan skala gambar pada kolom **Scale** sesuai dengan yang diinginkan. Lalu isikan jarak dan lebar pada lembar kerja yang sesuai dengan kordinat pada kolom **Problem Extents** kemudian klik **Apply** setelah itu klik **Ok**.



Gambar 2.38. Tampilan Pengaturan Skala

Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

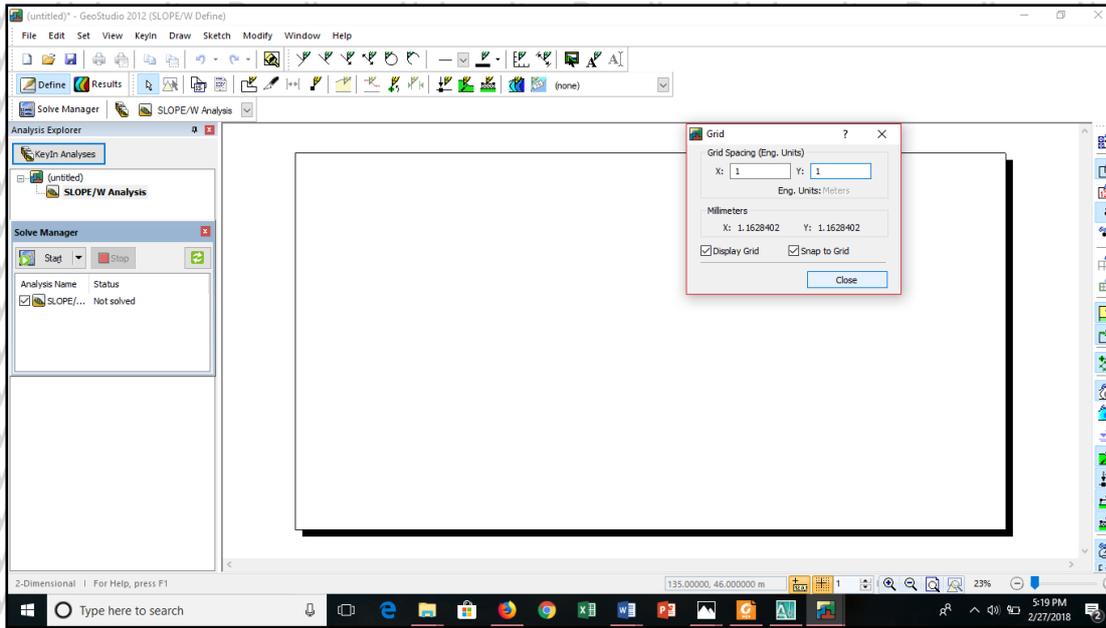
16. Untuk memunculkan **Grid** pada lembar kerja maka pilih **Set** kemudian klik **Grid**.



Gambar 2.39. Tampilan Pengaturan Grid

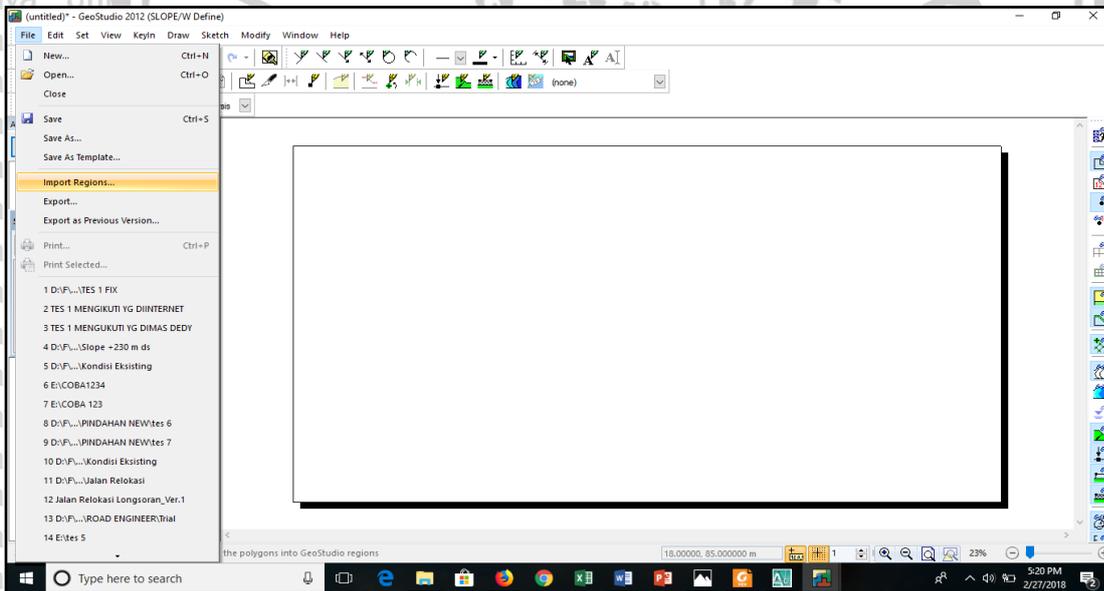
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

17. Pada kotak dialog **Grid** kemudian isikan angka sesuai yang diinginkan pada kolom **Grid Spacing** kemudian centang **Display Grid** dan **Snap to Grid** lalu klik **Close**.



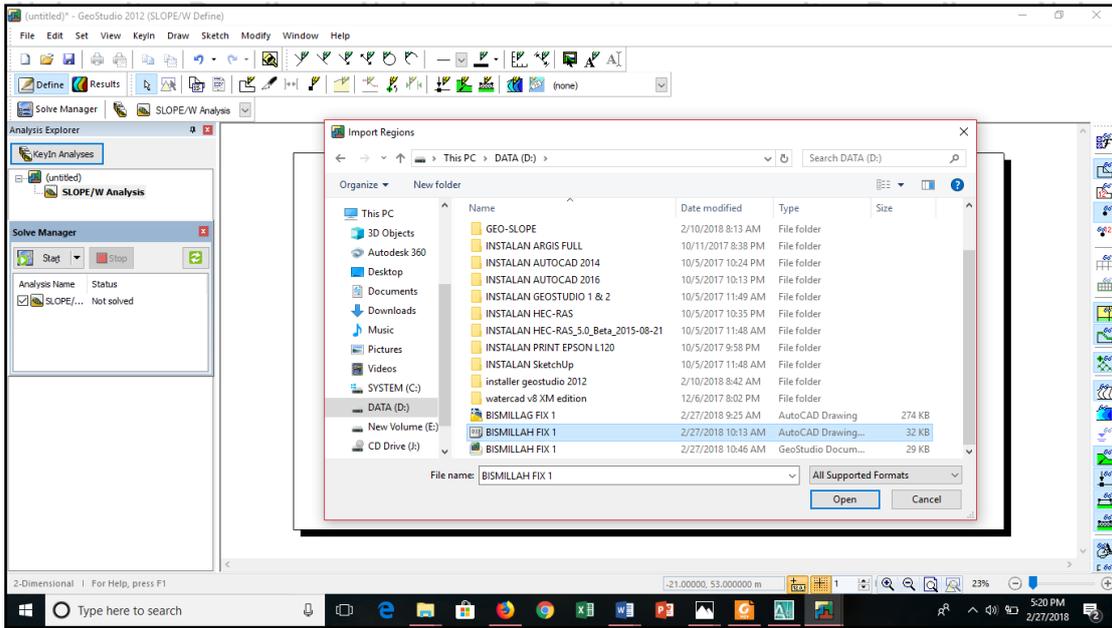
Gambar 2.40. Tampilan Pengaturan Grid Spacing
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

18. Langkah selanjutnya adalah mengimport gambar dari **File DXF** ke aplikasi **Geostudio 2012** dengan cara pilih **File** kemudian klik **Import Regions**.



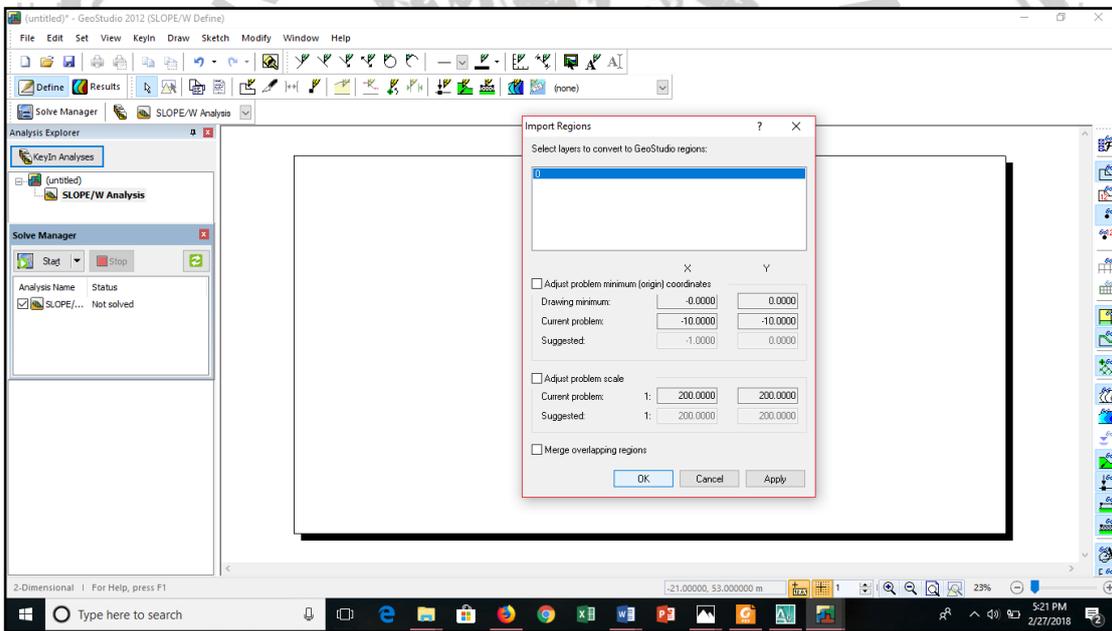
Gambar 2.41. Tampilan Pengaturan File DXF 1
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

19. Pilih **File DXF** yang sudah disimpan kemudian klik **Open**.



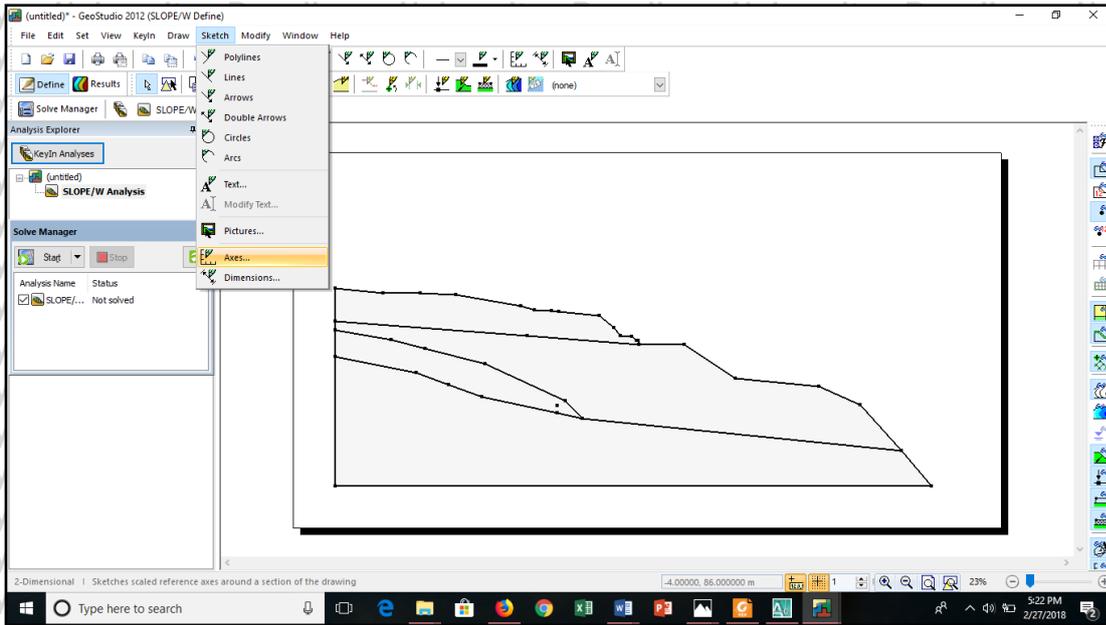
Gambar 2.42. Tampilan Pengaturan File DXF 2
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

20. Pada kotak dialog **Import Region From DXF Entities** kemudian klik **Ok**.



Gambar 2.43. Tampilan Pengaturan **Import Region From DXF Entities**
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

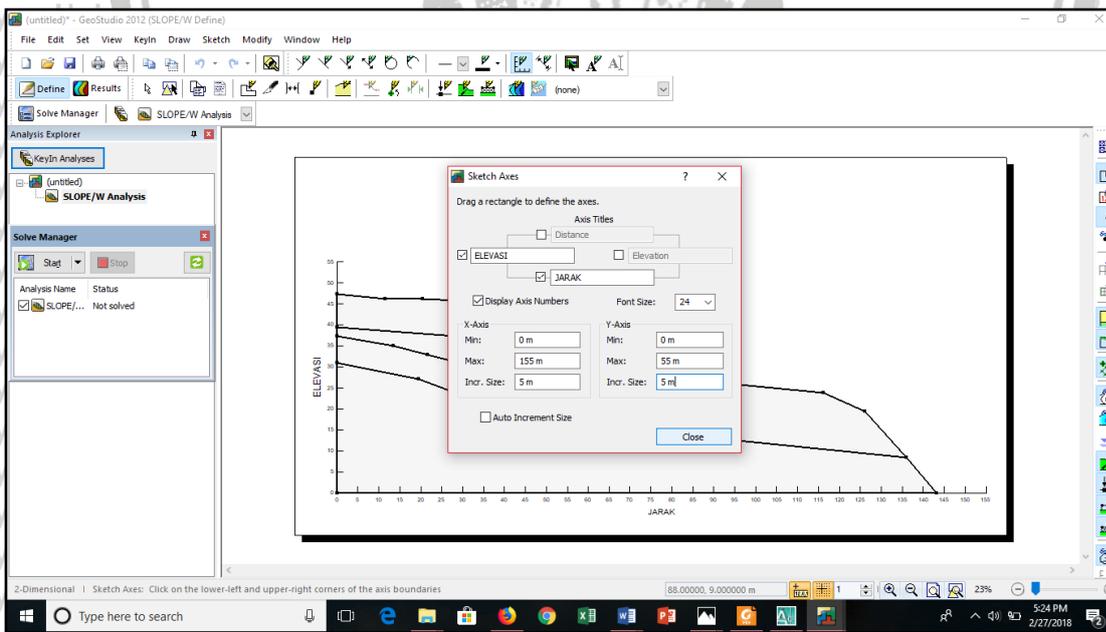
21. Langkah selanjutnya adalah untuk memperlihatkan jarak dan elevasi pada lereng tersebut, dengan cara pilih **Sketch Axes**.



Gambar 2.44. Tampilan Pengaturan Sketch Axes 1

Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

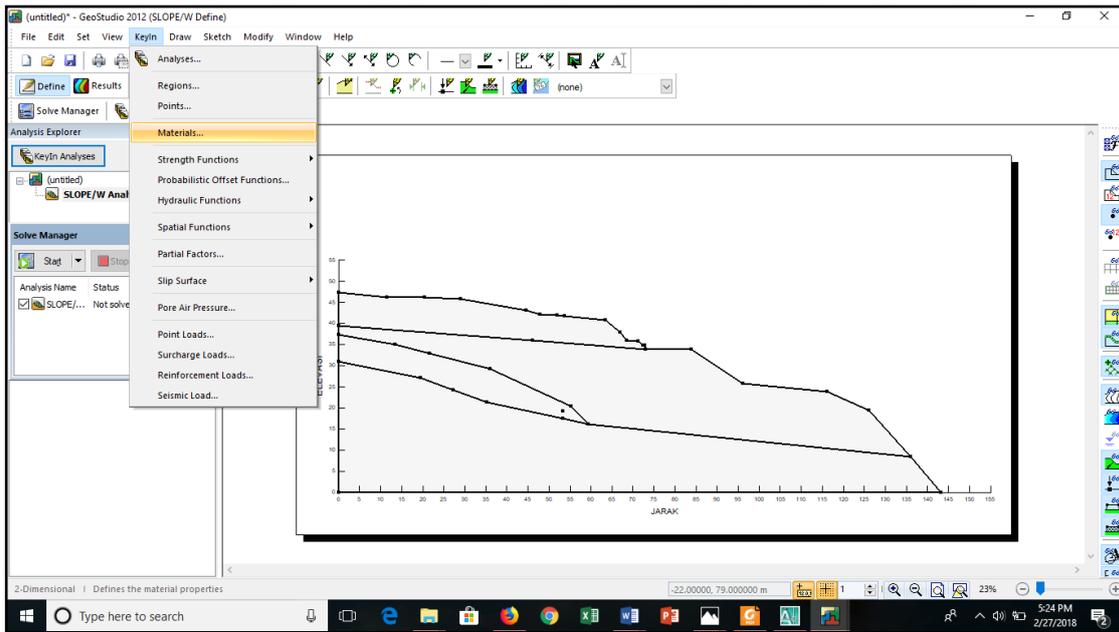
22. Akan muncul kotak dialog *Sketch Axes* kemudian pada kolom *display* dicentang *Display Axis Number*. Selanjutnya pada kolom *Axis Titles* isikan *Bottom X* sebagai Jarak dan *Left Y* sebagai Elevasi. Setelah itu pada kolom *X-Axis* dan *Y-Axis* sesuai dengan elevasi tertinggi dari gambar lereng tersebut kemudian klik *Ok*.



Gambar 2.45. Tampilan Pengaturan Sketch Axes 2

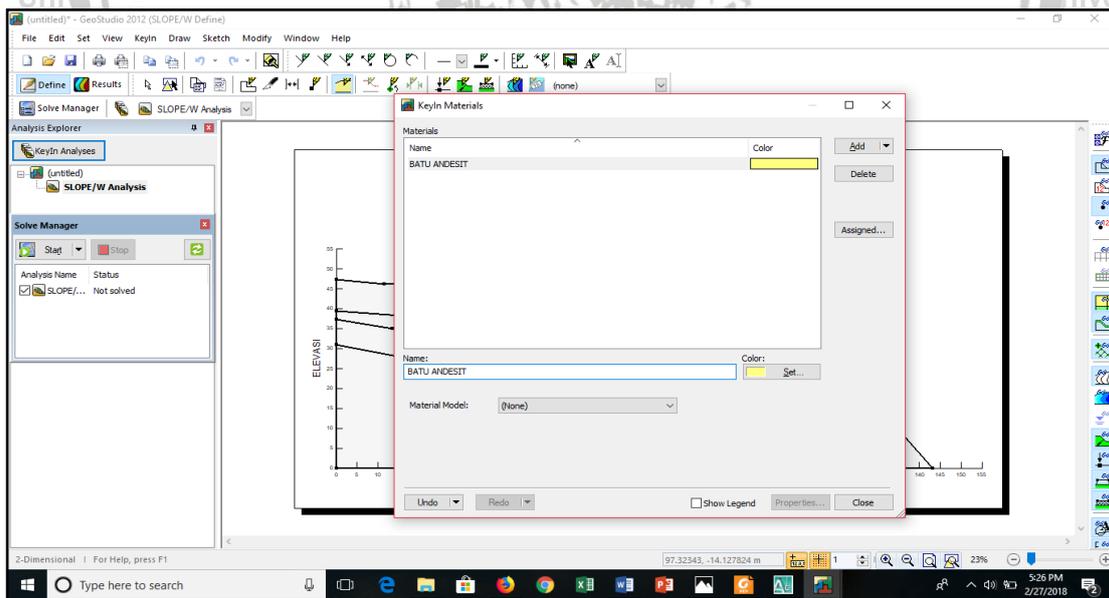
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

23. Langkah selanjutnya adalah memasukkan data parameter tanah dari lereng tersebut, dengan cara memilih *KeyIn* kemudian pilih *Materials*.



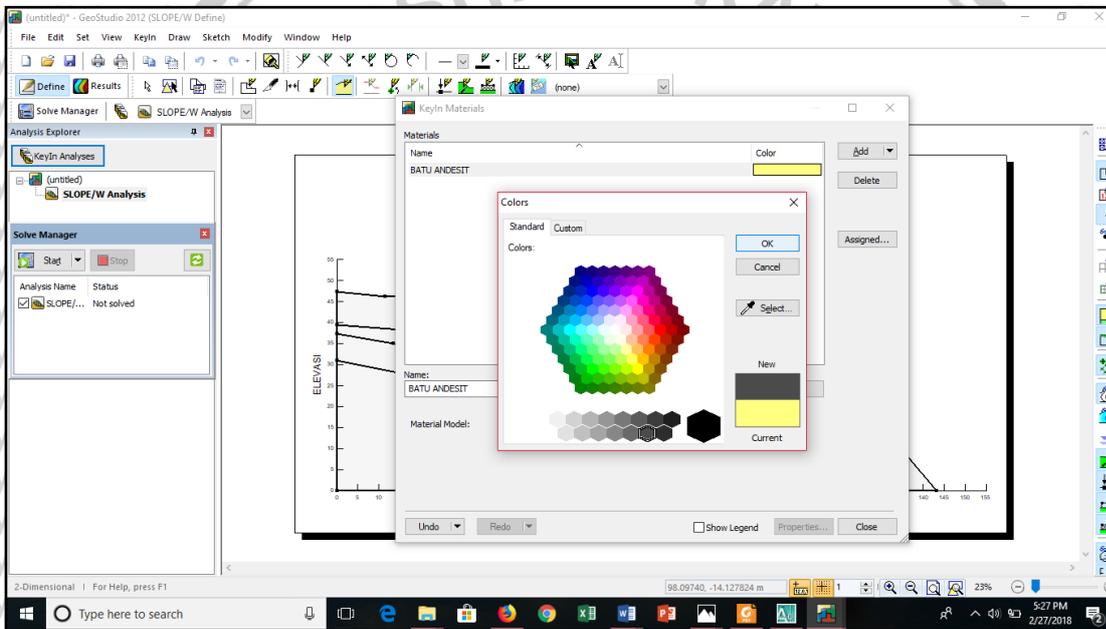
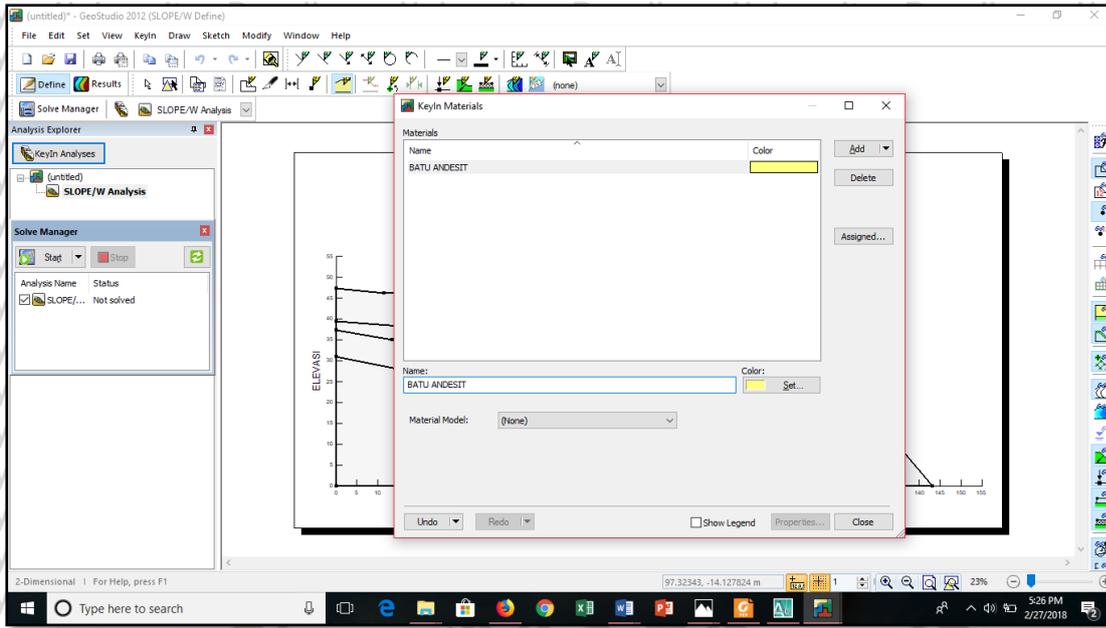
Gambar 2.46. Tampilan Pengaturan *Keyln*
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

24. Akan muncul kotak dialog *Keyln Materials* lalu pilih *Add* untuk menentukan material serta menambah material tanah pada lereng tersebut. Kemudian isikan nama material tanah pada kolom *Name*.



Gambar 2.47. Tampilan Pengaturan *Keyln Materials* 1
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

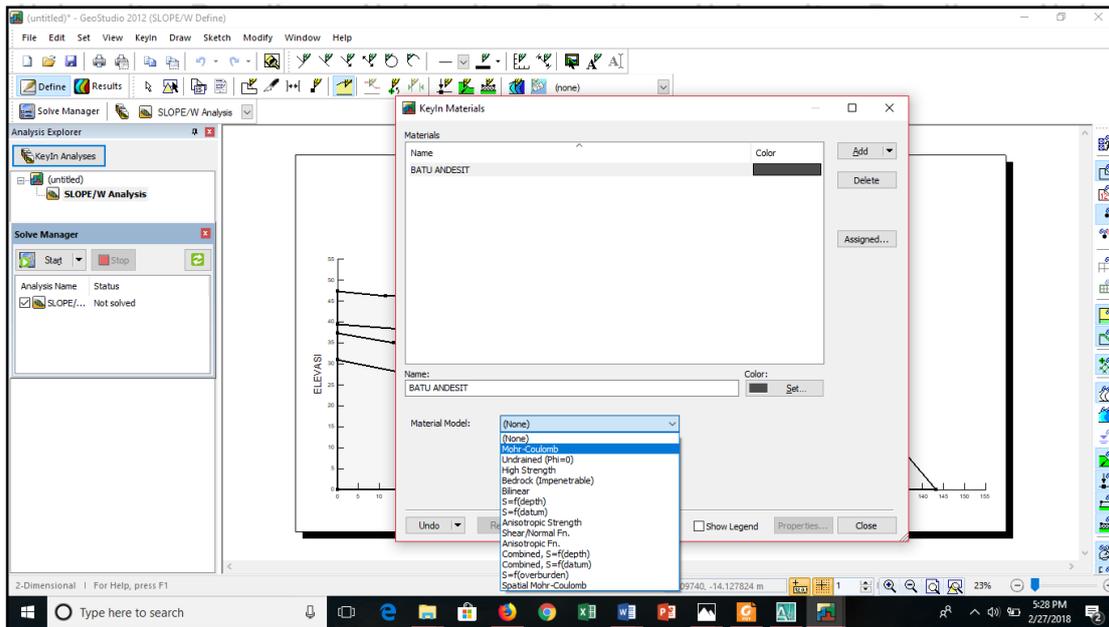
25. Selanjutnya menentukan warna dari material tanah dengan mengklik *Set* tentukan warna sesuai dengan yang diinginkan kemudian klik *Ok*.



Gambar 2.48 Tampilan Pengaturan KeyIn Materials 2

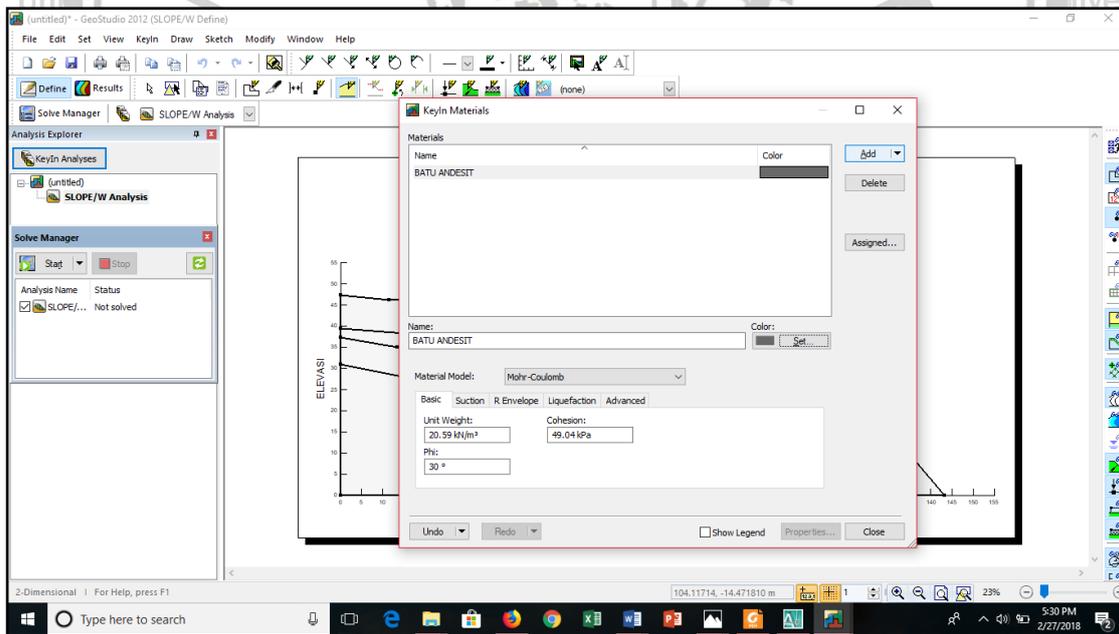
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

26. Langkah selanjutnya adalah memasukkan parameter-parameter tanah seperti: Berat volume tanah (γ_{sat}), Kohesi tanah (c) dan Sudut geser tanah (θ). Caranya dengan mengklik kolom **Material Model** kemudian pilih **Mohr-Coulomb**.



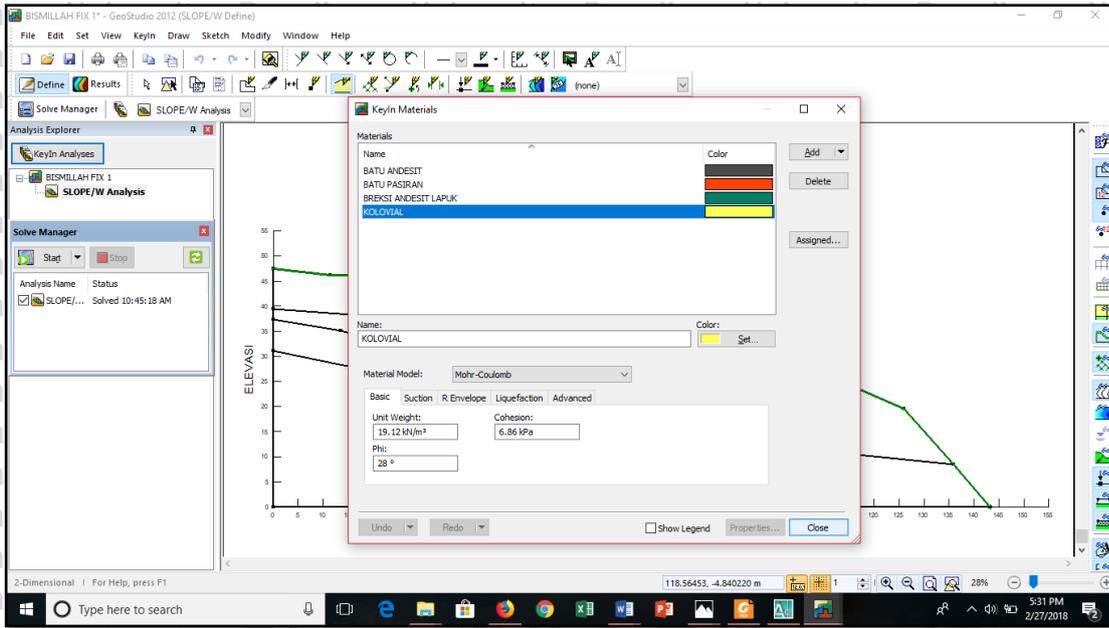
Gambar 2.49. Tampilan Pengaturan Memasukkan Data 1
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

27. Pilih **Basic** kemudian masukkan nilai parameter-parameter tanah pada kolom masing-masing.



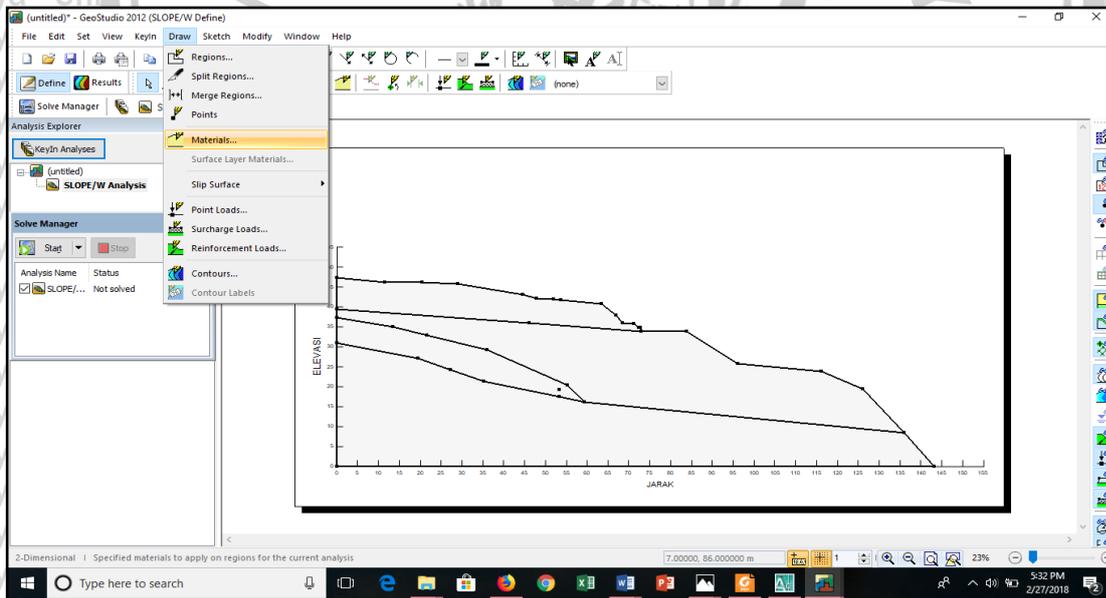
Gambar 2.50. Tampilan Pengaturan Memasukkan Data 2
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

28. Selanjutnya pilih **Add** untuk menentukan jenis material tanah yang berikutnya. Lakukan langkah 21 sampai langkah 25, sehingga semua jenis material tanah yang sudah terisi pada lereng tersebut kemudian klik **Close**.



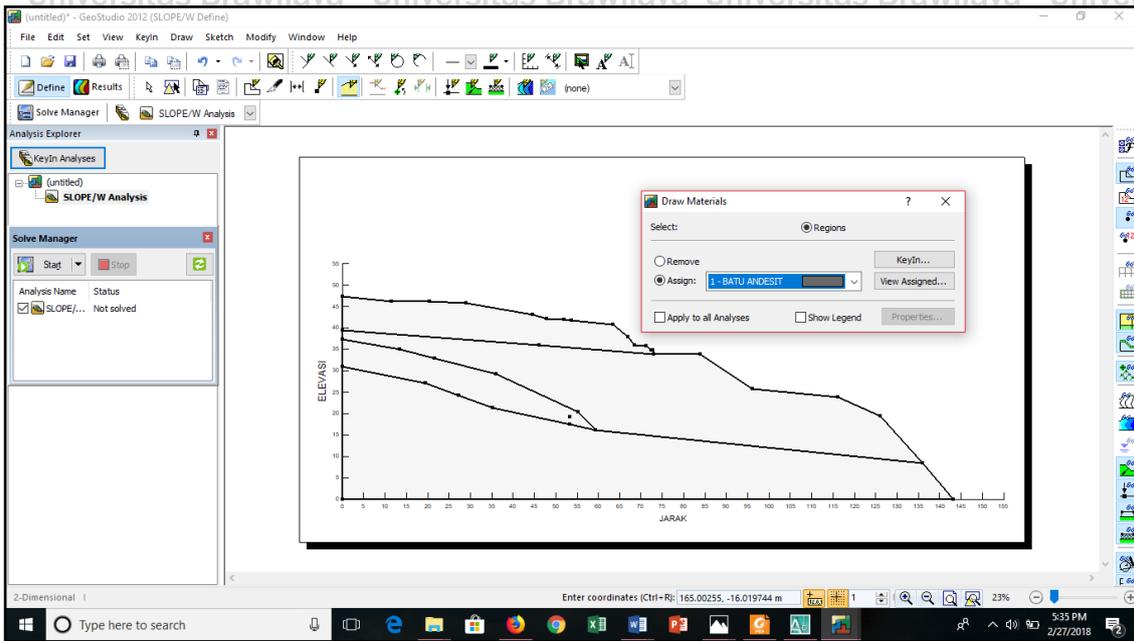
Gambar 2.51. Tampilan Pengaturan Memasukkan Data 3
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

29. Langkah selanjutnya adalah menghubungkan data parameter jenis material tanah pada gambar lereng tersebut. Caranya dengan memilih *Draw* kemudian pilih *Materials*.



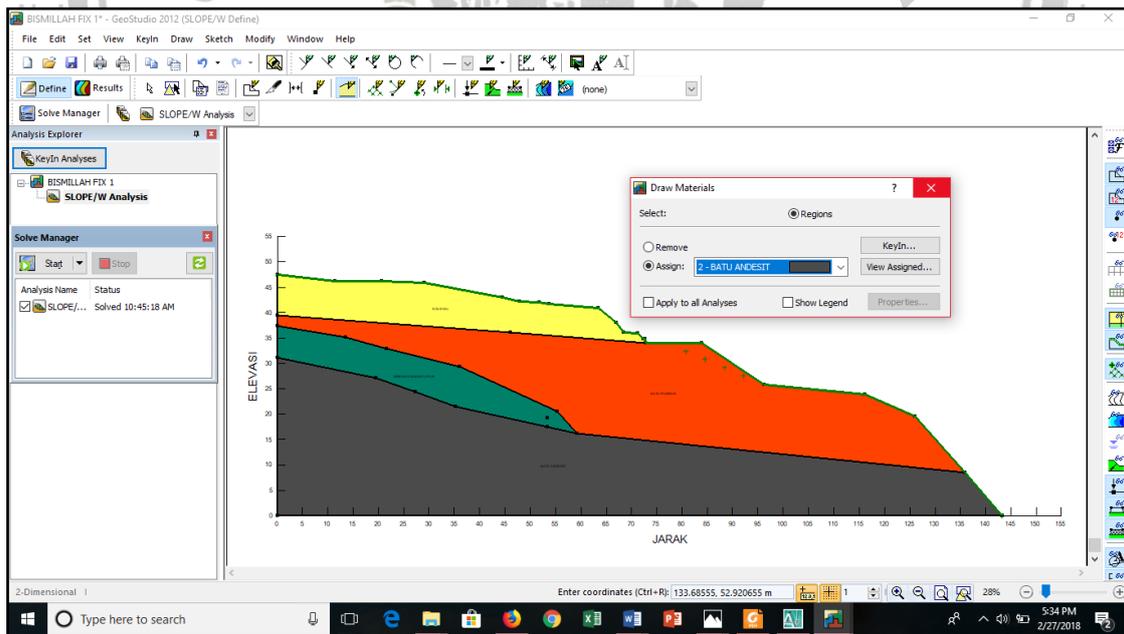
Gambar 2.52. Tampilan Pengaturan *Draw*
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

30. Akan muncul kotak dialog *Draw Materials*, kemudian klik kolom *Assign* untuk memilih jenis material tanah dan kemudian *select* pada gambar lereng tersebut.



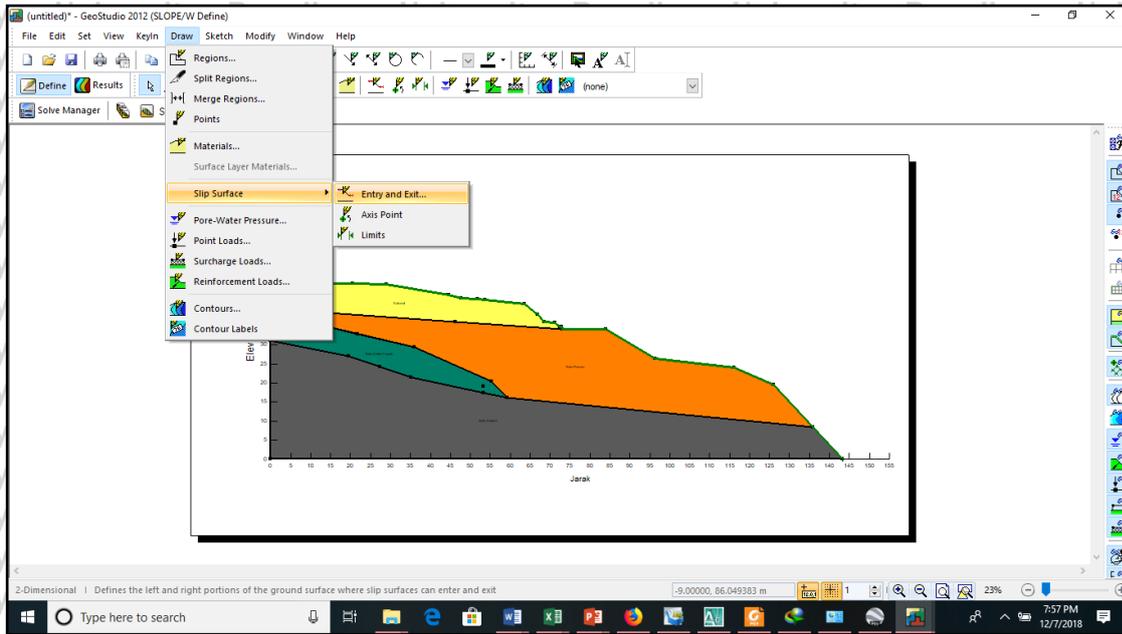
Gambar 2.53. Tampilan Pengaturan *Draw Materials* 1
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

31. Lakukan langkah 30 sampai semua jenis material tanah dihubungkan pada lereng tersebut kemudian klik *Close*.



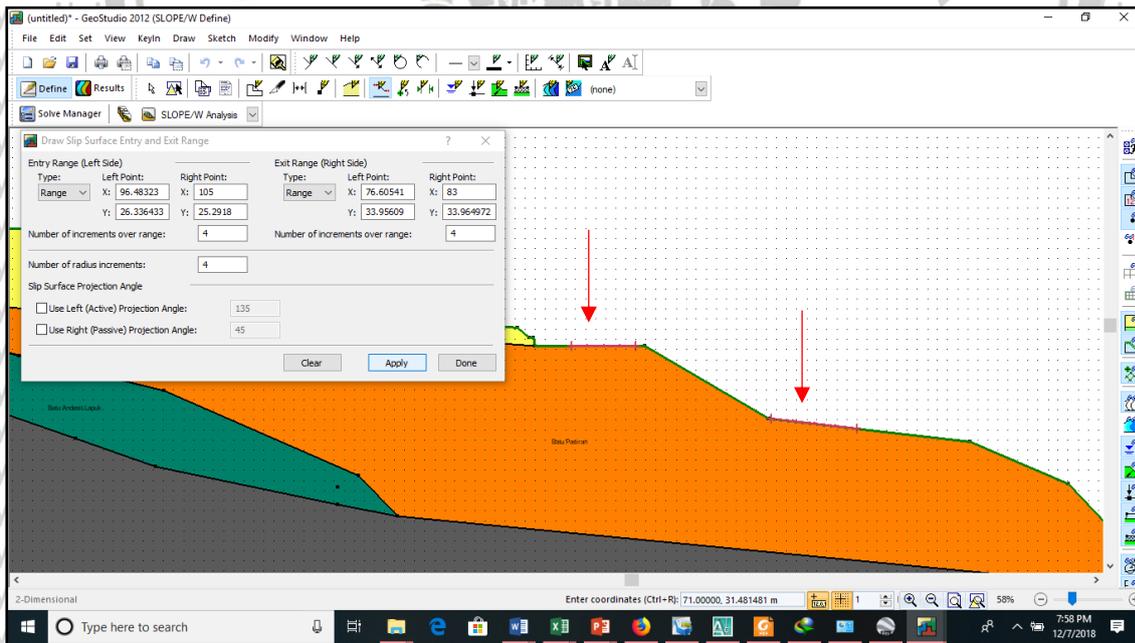
Gambar 2.54. Tampilan Pengaturan *Draw Materials* 2
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

32. Langkah selanjutnya adalah pilih *Draw* kemudian pilih *Slip Surface* setelah itu pilih lagi *Entry and Exit* untuk menggambarkan radius dari kelongsoran lereng tersebut. (digunakan jika ada muka air tanah).



Gambar 2.55. Tampilan Pengaturan *Slip Surface*
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

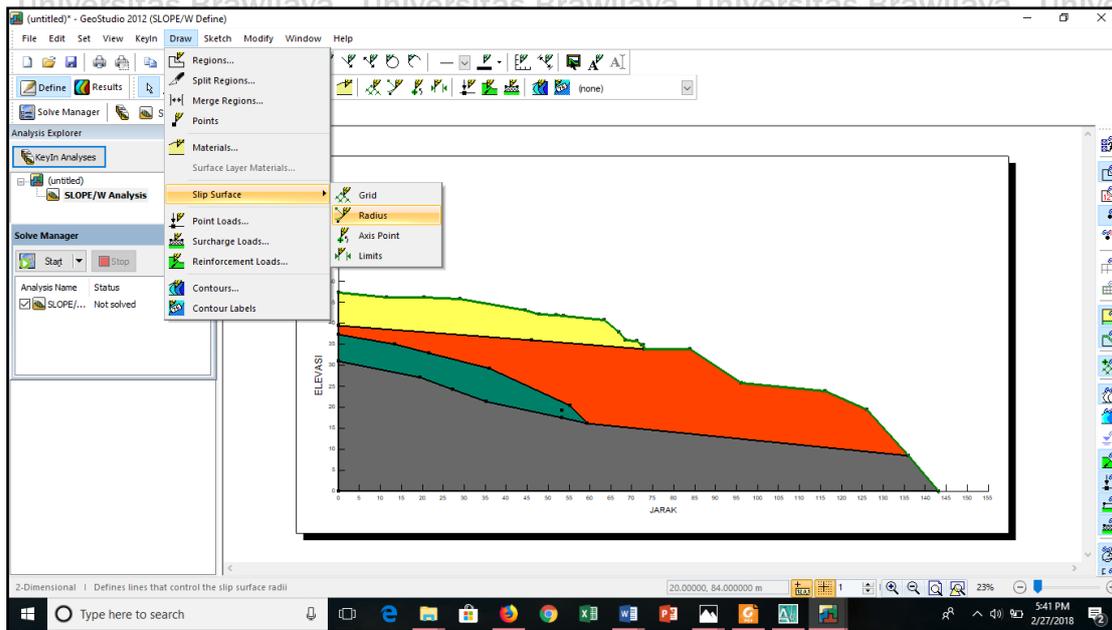
33. Akan muncul kotak dialog *Draw Slip Surface Entry and Exit Range*, kemudian gambarkan *entry and exit* kelongsoran pada gambar *cross* lereng tersebut. Lalu klik *Apply* dan terakhir klik *Done*. (digunakan jika ada muka air tanah).



Gambar 2.56. Tampilan Pengaturan *Draw Slip Surface Entry and Exit Range*
 Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

34. Selanjutnya ikuti langkah 38-40, maka akan keluar angka nilai faktor keamanan dari lereng. (digunakan jika ada muka air tanah).

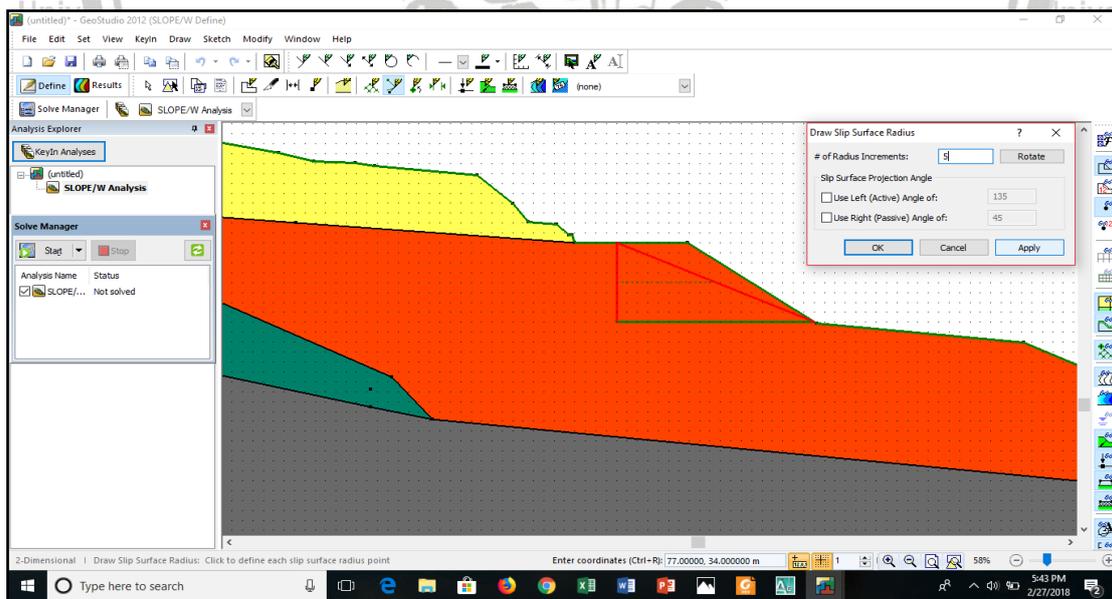
35. Langkah selanjutnya adalah pilih **Draw** kemudian pilih **Slip Surface** setelah itu pilih lagi **Radius** untuk menggambarkan radius dari kelongsoran lereng tersebut.



Gambar 2.57. Tampilan Pengaturan *Slip Surface*

Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

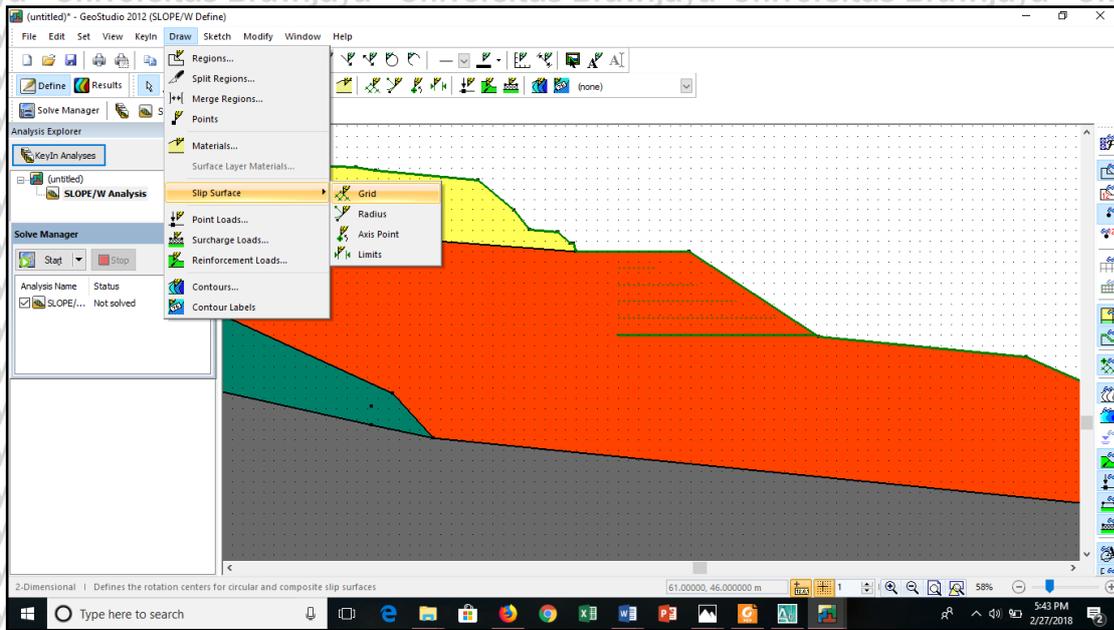
36. Gambarkan *radius* kelongsoran pada gambar *cross* lereng tersebut. Kemudian muncul kotak dialog **Draw Slip Surface Radius** maka pada kolom **# of Radius Increments** isikan interval irisan pada *radius* lereng tersebut. Lalu klik **Apply** dan terakhir klik **Ok**.



Gambar 2.58. Tampilan Pengaturan *Draw Slip Surface Radius*

Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

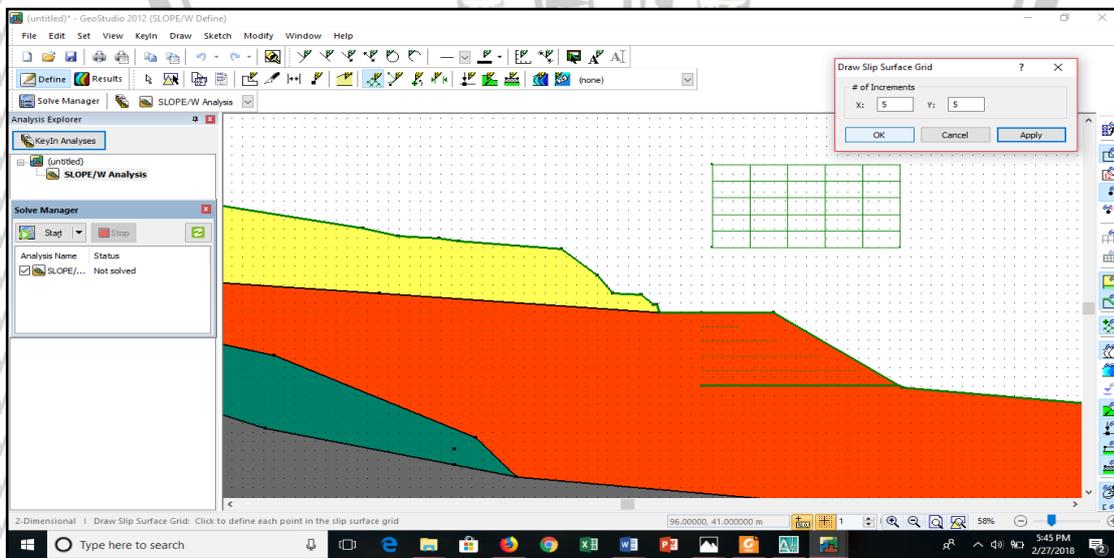
37. Langkah selanjutnya adalah menggambarkan *grid* untuk menentukan titik pusat dari *radius* kelongsoran tersebut dengan memilih *Draw* kemudian pilih *Slip Surface* lalu pilih lagi *Grid*.



Gambar 2.59. Tampilan Pengaturan *Slip Surface*

Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

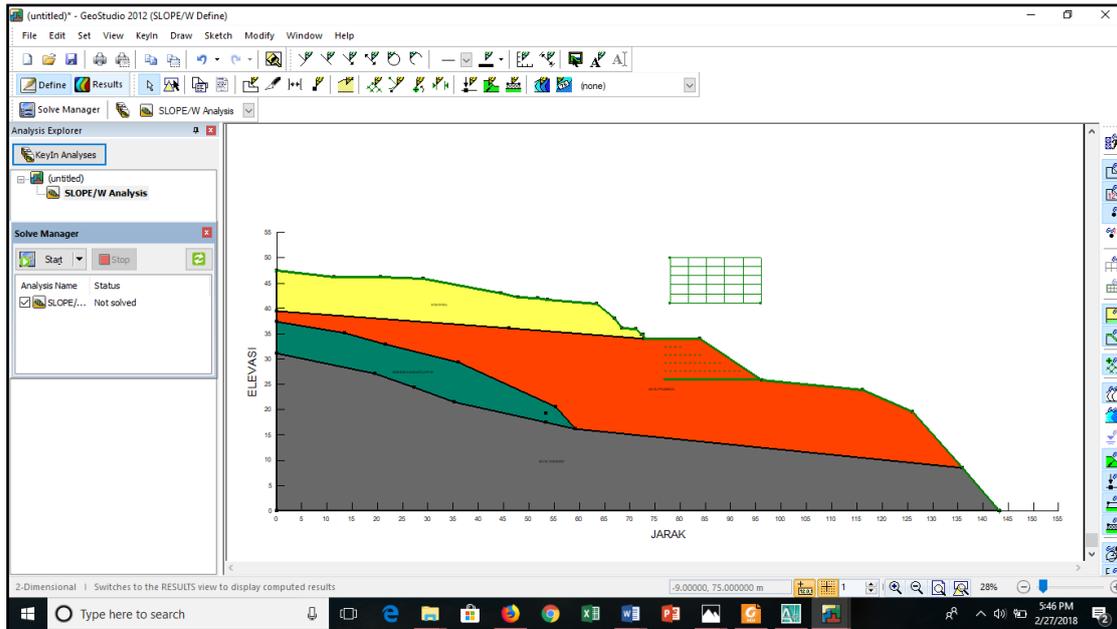
38. Gambarkan pada bagian atas lereng dengan bentuk persegi panjang sehingga *radius* dari lereng tersebut dapat terlihat. Akan muncul kotak dialog *Draw Slip Surface Grid* maka pada kolom *# of Increments* isikan interval dari *Grid X* dan interval dari *Grid Y*. Kemudian klik *Apply* dan klik *Ok*.



Gambar 2.60. Tampilan Pengaturan *Draw Slip Surface Grid*

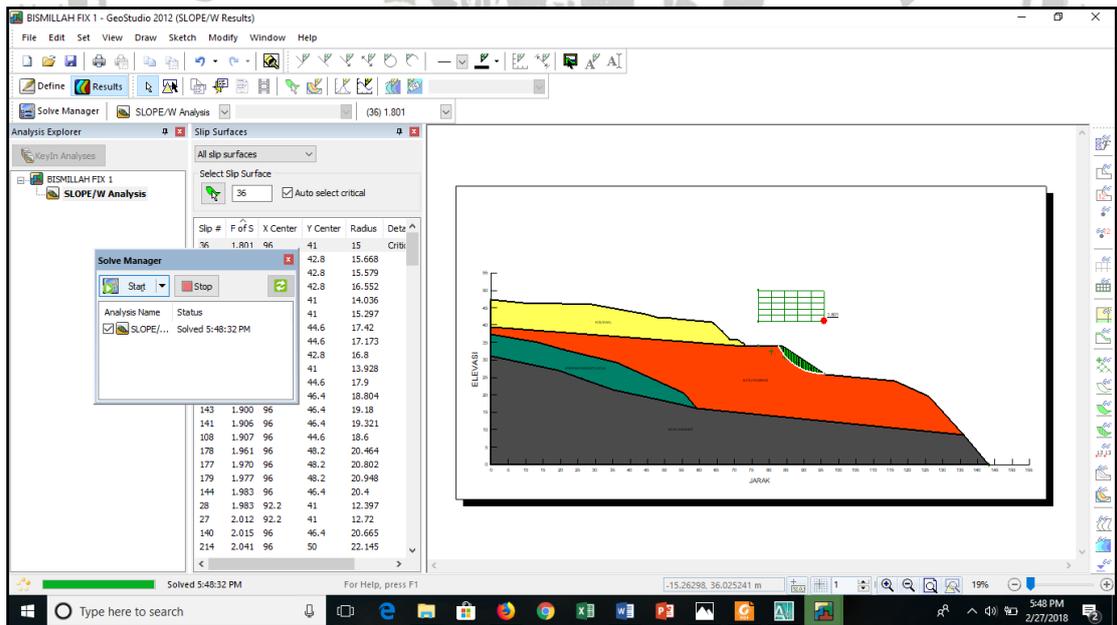
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

39. Langkah yang selanjutnya adalah menganalisis nilai faktor keamanan dari lereng tersebut. Dengan cara klik **Results**.



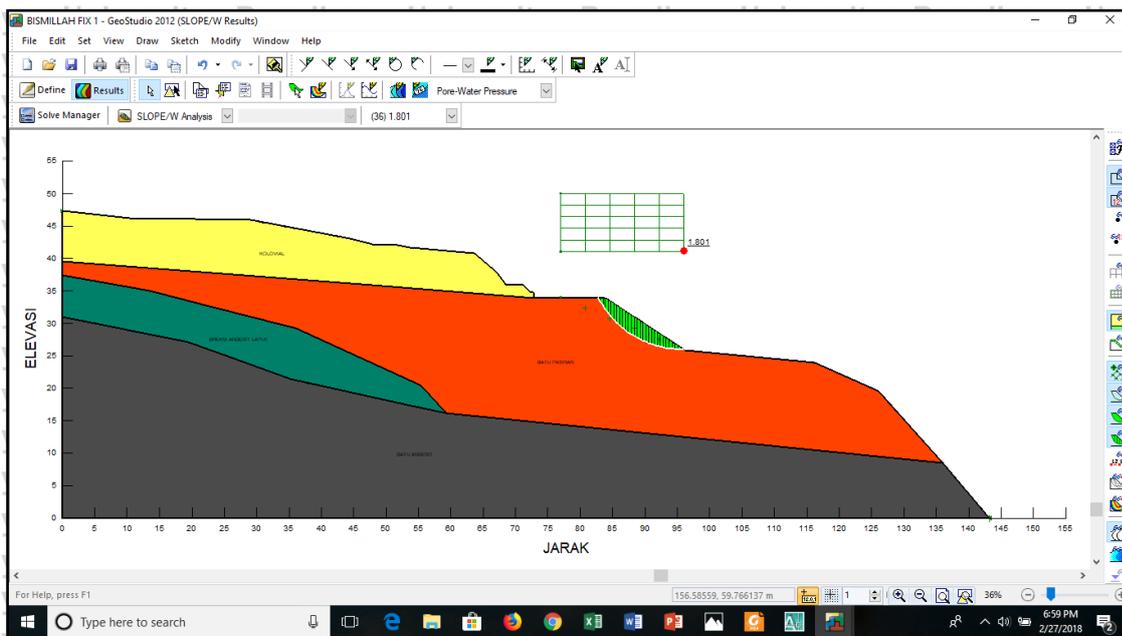
Gambar 2.61. Tampilan Pengaturan *Results*
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

40. Kemudian klik **Solve Manager** dan terakhir klik **Start**.



Gambar 2.62. Tampilan Pengaturan *Solve Manager*
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (*SLOPE/W*).

41. Maka akan muncul nilai minimum dari faktor keamanan lereng dengan metode **Bishop** kemudian klik **Close** dan bisa dilihat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.63. Tampilan Hasil Analisa
Sumber: Hasil Analisa GeoStudio 2012 (SLOPE/W).



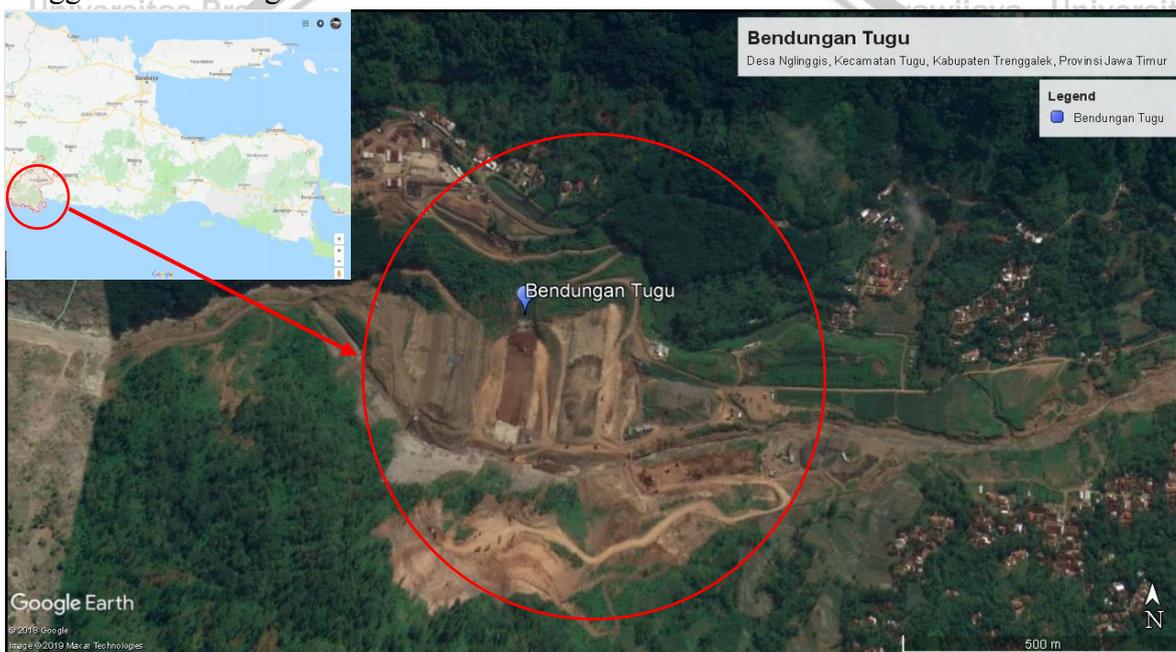
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Studi

Lokasi studi ini adalah di Desa Nglinggis Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur. Secara geografis terletak pada koordinat $08^{\circ} 02' 27''$ LS dan $111^{\circ} 35' 07''$ BT. Kabupaten Trenggalek terletak di bagian selatan dari wilayah Provinsi Jawa Timur.

Kabupaten ini terletak pada koordinat $111^{\circ} 24'$ hingga $112^{\circ} 11'$ bujur timur dan $7^{\circ} 63'$ hingga $8^{\circ} 34'$ lintang selatan.



Gambar 3.1. Lokasi Studi.

Sumber: Google Map (diakses 23 September 2019).

Untuk mencapai lokasi pekerjaan ada dua akses yang bisa dilalui yaitu jalur selatan dan jalur barat. Dari jalur selatan harus melewati Kota Trenggalek terlebih dahulu berjarak sekitar 10 km dan dari jalur barat harus melewati Kota Ponorogo berjarak sekitar 40 km.



Gambar 3.2. Kondisi Jalan Pada Cross STA 0+125 yang Sudah Terjadi Keretakan
Sumber: Dokumentasi, 2017.

3.1.1 Lokasi Relokasi

Lokasi relokasi pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) ini memiliki data teknis sebagai berikut:

➤ Kondisi awal:

1. Lebar awal : 7.00 m
2. Lengkungan awal : 32.00 m
3. Landai awal : -4.59%
4. Panjang awal : 288.53 m

➤ Kondisi rencana relokasi:

1. Lebar setelah relokasi : 7.00 m
2. Lengkung setelah relokasi : 200.00 m
3. Landai setelah relokasi : -5.77%
4. Panjang setelah relokasi : 243.01 m

3.2 Kondisi Lokasi Studi

3.2.1 Umum

Kabupaten Trenggalek sebagian besar terdiri dari tanah pengunungan dengan luas meliputi 2/3 bagian luas wilayah. Sedangkan sisanya 1/3 bagian merupakan tanah daratan rendah. Ketinggian tanahnya diantara 0-690 m diatas permukaan laut. Dengan luas wilayah 1.261,40 km² yang dihuni oleh ± 700.000 jiwa. Kabupaten Trenggalek memiliki 14 Kecamatan dan 157 Desa. Hanya sekitar 4 Kecamatan yang mayoritas desanya dataran, yaitu Kecamatan Pogalan, Kecamatan Tugu dan Kecamatan Durenan. Sedangkan 10 Kecamatan lainnya mayoritas pegunungan.

3.2.2 Batas Administrasi

Kabupaten trenggalek merupakan salah satu Kabupaten dari Provinsi Jawa Timur.

Secara administrasi batas-batas wilayah Kabupaten Trenggalek sebagai berikut:

- ❖ Sebelah Utara : Kabupaten Ponorogo dan Tulungagung
- ❖ Sebelah Timur : Kabupaten Tulungagung
- ❖ Sebelah Selatan : Samudra Hindia
- ❖ Sebelah Barat : Kabupaten Ponorogo dan Pacitan



Gambar 3.5. Peta Administrasi Kabupaten Trenggalek.
Sumber: www.trenggalekkab.go.id (diakses 12 Januari 2018).

3.2.3 Struktur Geologi

Struktur geologi Kabupaten Trenggalek memiliki beberapa jenis tanah. Jenis tanah yang ada di Kabupaten Trenggalek antara lain:

- Bagian Utara : Andosol dan Latosol
- Bagian Timur : Mediteran, Grumosol dan Regosol
- Bagian Selatan : Alluvial
- Bagian Barat : Mediteran

Susunan eksplorasi tanah terdiri dari lapisan tanah andosol dan latosol, mediteran, grumosol, regosol, alluvial dan mediteran. Lapisan tanah alluvial terbentang di sepanjang aliran sungai di bagian wilayah timur dan merupakan lapisan tanah yang subur, luasnya berkisar antara 10% hingga 15% dari keseluruhan wilayah. Pada bagian lain, seperti bagian selatan, barat laut dan utara tanahnya terdiri dari lapisan mediteran yang bercampur dengan lapisan grumosol dan latosol. Lapisan tanah ini sifatnya kurang daya serapnya terhadap air sehingga menyebabkan lapisan tanah ini kurang subur.

3.2.4 Topografi

Kabupaten Trenggalek secara ketinggian tempat terdiri dari 2/3 wilayah pegunungan dan 1/3 lainnya merupakan dataran rendah dengan ketinggian 0 sampai 690 m di atas permukaan laut. 2/3 wilayah Kabupaten Trenggalek yang merupakan kawasan pegunungan dataran rendah memiliki ketinggian anatar 0 sampai 100 m di atas permukaan laut dan ketinggian tersebut 53.8% berketinggian 100-500 m. Kabupaten trenggalek sebagian besar bertopografi terjal lebih dari 40% seluas ± 28.378 ha yang merupakan daerah rawan bencana longsor. Sebagian besar lahan ini merupakan lahan kritis yang rentan mengalami pergerakan tanah. Kawasan ini tersebar di beberapa kecamatan diantaranya: kecamatan Bendungan, Pule, Dongko, Watulimo, Munjungan dan Panggul. Luas dataran rendah dengan tingkat kemiringan antara 0-15% adalah ± 42.291 ha.

Kawasan yang bertopografi datar sebagian besar terletak di Kabupaten Trenggalek bagian utara yang meliputi: kecamatan Trenggalek, Karang, Pogalan, Durenan, dan Tugu.

Kondisi kelerengan lahan di Kabupaten Trenggalek dapat diuraikan bahwa terdapat kondisi yang variatif dan datar hingga sangat curam, yaitu dengan kemiringan tanah 0-7% untuk wilayah dataran rendah dan 7-40% untuk wilayah pegunungan. Hal ini yang menyebabkan penguasaan penduduk atas tanah terkonsentrasi pada wilayah yang memiliki tingkat kelerengan lahan yang dikategorikan datar pada tanah-tanah yang lebih memiliki kemiringan

lahan lebih dari 15% pemanfaatan tanah dilakukan dengan terasering. Kemiringan suatu lahan berkaitan dengan kepekaan terhadap erosi lahan.

Kondisi kemiringan tanah pada Kabupaten Trenggalek dibedakan menjadi 4 (empat) kelas kemiringan dimana seluruhnya memiliki karakteristik yang berbeda-beda sehingga dalam pemanfaatannya juga perlu dibedakan berdasarkan fungsinya, misalnya kawasan pertanian dan perkebunan.

3.3 Data-data yang Dibutuhkan

Dalam studi perencanaan ini diperlukan beberapa data penunjang untuk melakukan perhitungan dan menganalisa. Data-data yang diperlukan dalam perhitungan dan menganalisa pada studi ini, sebagai berikut:

3.3.1 Data-data Perencanaan

Data yang diperlukan dalam perencanaan studi ini berupa data sekunder, dimana data sekunder ini diperoleh peneliti dari sumber yang sudah ada. Data-data sekunder yang diambil tersebut yaitu:

- Data bor log.
- Data mekanika tanah.
- Data kondisi topografi.
- Data koefisien gempa.

3.3.2 Analisis Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng yang dianalisis menggunakan *software* GeoStudio 2012 dengan metode *Bishop*. Untuk dapat menganalisa stabilitas lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012, maka diperlukan beberapa data input seperti:

- Berat volume tanah kering (γ_d).
- Berat volume tanah jenuh air (γ_{sat}).
- Kohesi tanah (c).
- Sudut geser tanah (θ).

Data input tersebut didapat dari data mekanika tanah.

3.3.3 Perencanaan Alternatif Pengamanan Lereng

Alternatif pengamanan yang akan direncanakan dalam studi ini adalah struktur dinding penahan tanah dan struktur *bored pile*. Struktur tersebut baru bisa direncanakan apabila



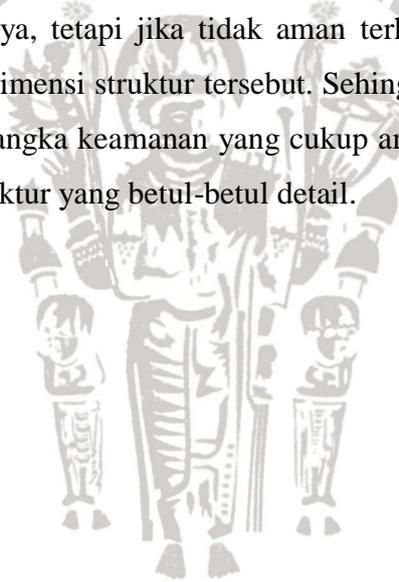
sudah memperoleh hasil perhitungan dalam analisis stabilitas lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012.

3.3.4 Analisis Stabilitas dari Struktur Pengamanan Lereng

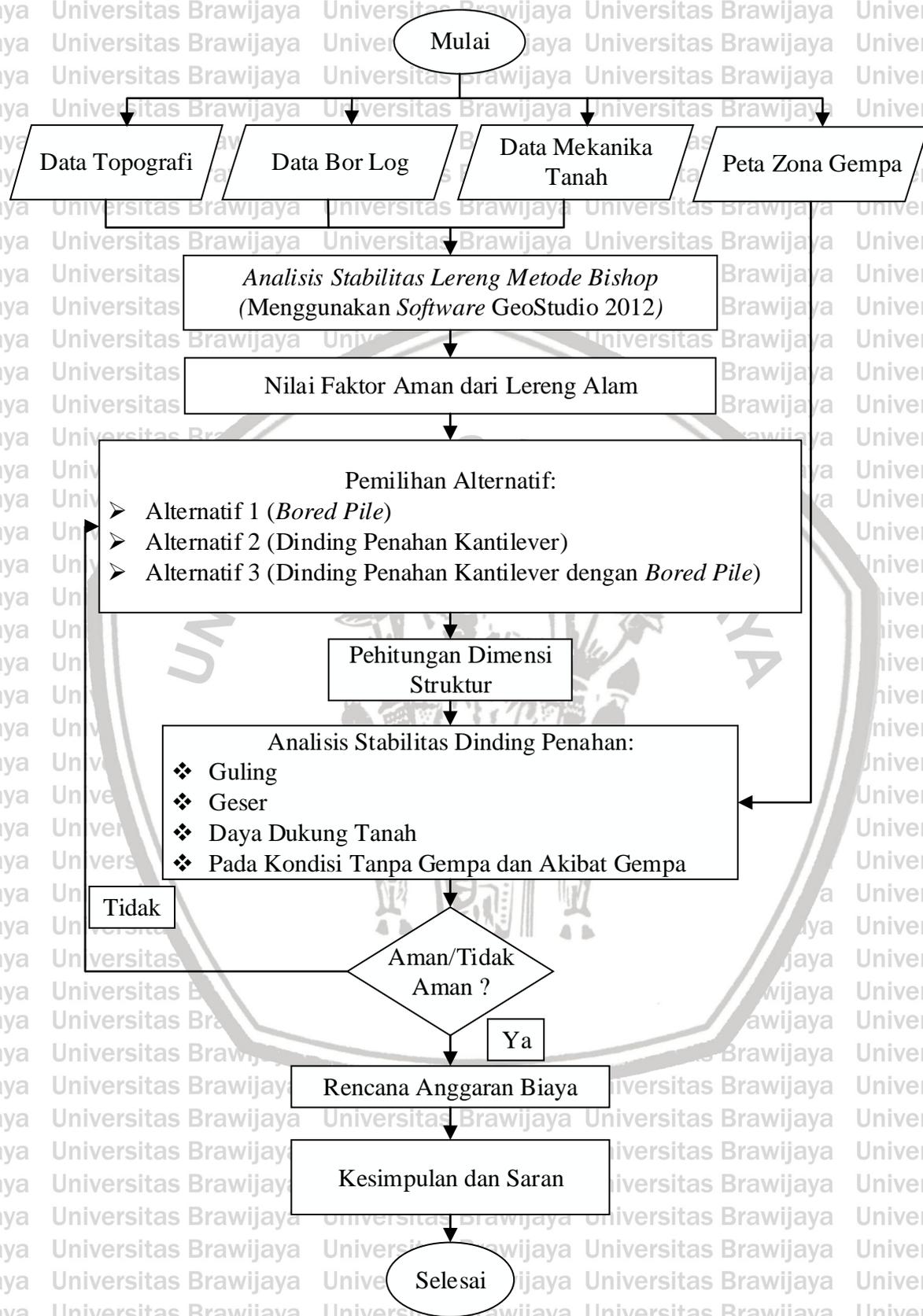
Hasil perencanaan struktur dinding penahan tanah dan struktur *bored pile* tersebut berupa dimensi atau ukuran. Berdasarkan dimensi tersebut, maka dapat dianalisis stabilitas dari struktur yakni stabilitas terhadap guling, geser dan daya dukung tanah. Yang harus diperhatikan juga bahwa stabilitas struktur tersebut juga harus diperhitungkan dalam kondisi tanpa maupun kondisi akibat gempa, maka dari itu dalam studi ini diperlukan data koefisien gempa yang diperoleh dari peta zona gempa di Indonesia.

3.3.5 Hasil Perencanaan Pengamanan Lereng

Hasil perencanaan dari struktur dinding penahan tanah dan struktur *bored pile* tersebut diharapkan aman stabilitasnya, tetapi jika tidak aman terhadap stabilitasnya maka perlu dicek kembali perhitungan dimensi struktur tersebut. Sehingga dalam perencanaan struktur tersebut bisa menghasilkan angka keamanan yang cukup aman terhadap kestabilan lereng, maka perlu perencanaan struktur yang betul-betul detail.



3.4 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi



Gambar 3.6. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Sumber: Dokumen Pribadi, 2019.

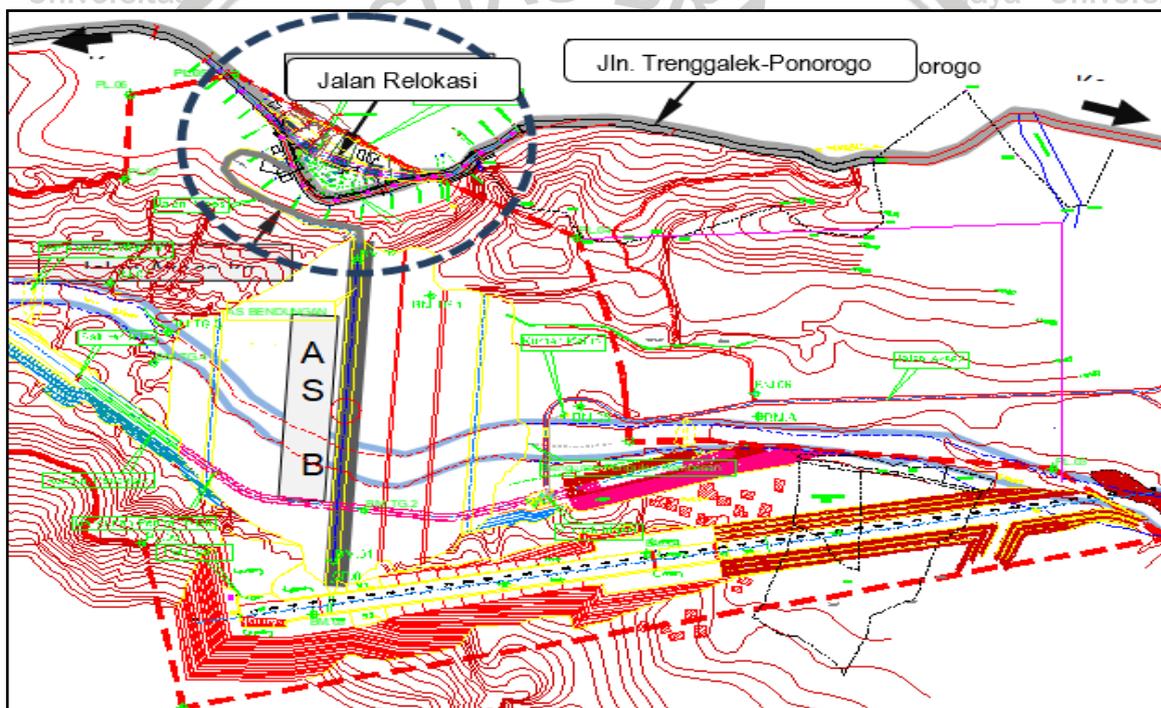


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Lokasi jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo merupakan jalan utama yang menghubungkan kota Trenggalek dan kota Ponorogo. Kondisi jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo ini berada didaerah lembah dan perbukitan. Pada Km 16+712-17+000 jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo berada didekat proyek pembangunan Bendungan Tugu, dimana keberadaan jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo sangat dekat dengan ujung tumpuan kiri As Bendungan Tugu.



Gambar 4.1. Lokasi Relokasi Jalan

Sumber: Supervisi Pembangunan Bendungan Tugu di Kab. Trenggalek, (2017, p. 4).

Dari hasil investigasi geologi pada lapisan disekitar Bendungan Tugu, terdapat lapisan tanah aluvial yang harus digali dan diganti dengan material yang memenuhi syarat untuk pondasi dan urugan material Bendungan. Penggalian pada lapisan tanah aluvial ini juga menyebabkan sebagian badan jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo harus direlokasi ke lokasi yang lebih aman. Dengan kondisi jalan yang berada didaerah lembah dan perbukitan, maka kontruksi jalan harus dibangun dengan memotong bukit serta membuat pengamanan

tebing baik untuk mengamankan lereng bukit yang terpotong tersebut maupun pengamanan tebing pada lereng lembah disisi lainnya.

4.2 Data

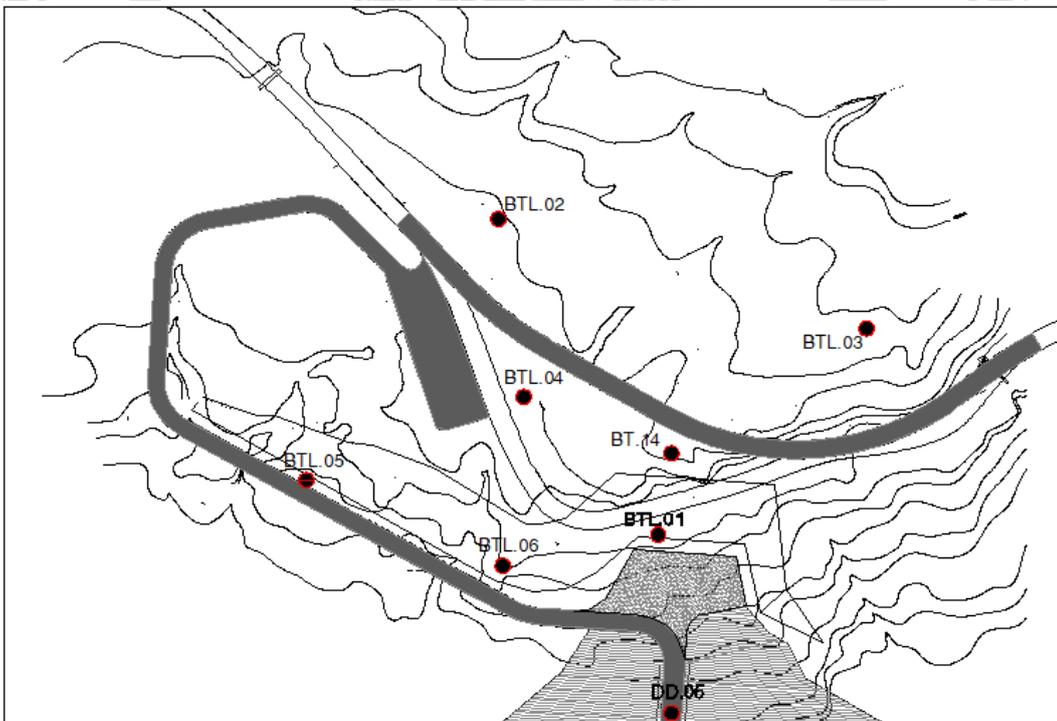
Data yang digunakan dalam perhitungan pada skripsi ini adalah data yang berasal dari konsultan supervisi pembangunan Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek, data tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Data topografi

Data topografi yang sudah diperoleh akan digunakan untuk melihat profil dari permukaan tanah. Dari data topografi ini dapat mengetahui kondisi elevasi dari permukaan tanah, *slope*/kemiringan dari suatu lereng dan dapat menentukan posisi dari bangunan yang akan direncanakan.

2. Data bor log

Data bor log merupakan data yang digunakan sebagai penentuan jenis tanah dan kekerasan dari tanah tersebut. Data ini dipakai sebagai inputan untuk menganalisis stabilitas lereng.



Gambar 4.2. Lokasi Titik Test Bor

Sumber: Supervisi Pembangunan Bendungan Tugu di Kab. Trenggalek (2017, p. 8).

Sedangkan dari hasil boring di beberapa titik dengan kedalaman rata-rata 35 m, diperoleh data litologi tanah dengan susunan sebagai berikut:

- a. Kedalaman 0-3 m, didominasi oleh jenis tanah endapan kolovial berwarna coklat dan tanah pasiran lapisan, lapisan tanah ini diklasifikasikan kelas D.
- b. Kedalaman 3-9 m, terdiri dari jenis tanah breccia vulkanic lapuk berwarna coklat dan tuffa lapilli mudah hancur fragmen berukuran 1-2 cm, lapisan tanah ini diklasifikasikan kelas DCL.
- c. Kedalaman 9-18 m, terdiri dari jenis tanah breccia vulkanic sedang berwarna coklat dan tuffa lapilli, brittle, berukuran butiran < 1 cm. Disertai fragmen ukuran kasar, lapisan tanah ini diklasifikasikan kelas CL.
- d. Kedalaman 18-24 m, terdiri dari jenis tanah breccia vulkanic segar, berwarna hijau abu-abu, kompak, keras, fragmen ukuran 2-15 cm, bentuk butir menyudut dan membulat tanggung terpilah buruk, lapisan tanah ini diklasifikasikan kelas CH.
- e. Kedalaman 24-35 m, terdiri dari jenis tanah breccia vulkanic segar, berwarna abu-abu kehitaman, kompak, keras, fragmen ukuran 2-15 cm, terbentuk dari endapan andesit basah, dengan massa dasar tuff pasiran keras terdapat urat kwarsa, lapisan tanah ini diklasifikasikan kelas CM.

3. Data mekanika tanah

Data mekanika tanah yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung kestabilan lereng yaitu seperti: kohesi (c), sudut gesek dalam tanah (ϕ), berat volume tanah (γ).

Nilai-nilai parameter tanah akan dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1
Nilai-nilai Parameter Tanah BTL 02

No	Parameter Tanah	Simbol	Satuan	BTL 02		
				0-2 m	2-26,5 m	26,5-35 m
1	Berat volume tanah jenuh air	γ_{sat}	kN/m ³	20,1	30,15	32,2
2	Sudut geser tanah	θ	°	31,1	42,2	45,22
3	Kohesi tanah	c	kN/m ²	8,17	6,17	2,19

Sumber: Supervisi Pembangunan Bendungan Tugu di Kab. Trenggalek (2017, p. 10)

Tabel 4.2
Nilai-nilai Parameter Tanah BTL 03

No	Parameter Tanah	Simbol	Satuan	BTL 03		
				0-3 m	3-25 m	25-35 m
1	Berat volume tanah jenuh air	γ_{sat}	kN/m ³	19,2	20,4	20,59
2	Sudut geser tanah	θ	°	28,0	39,75	38,23
3	Kohesi tanah	c	kN/m ²	6,86	4,12	8,14

Sumber: Supervisi Pembangunan Bendungan Tugu di Kab. Trenggalek (2017, p. 10)



Tabel 4.3
 Nilai-nilai Parameter Tanah BTL 04

No	Parameter Tanah	Simbol	Satuan	BTL 04		
				0-1 m	1-26 m	26-35 m
1	Berat volume tanah jenuh air	γ_{sat}	kN/m^3	15,19	28,1	27,47
2	Sudut geser tanah	θ	$^{\circ}$	24,3	34,21	41,05
3	Kohesi tanah	c	kN/m^2	4,13	8,2	4,13

Sumber: Supervisi Pembangunan Bendungan Tugu di Kab. Trenggalek (2017, p. 10)

4. Data geologi

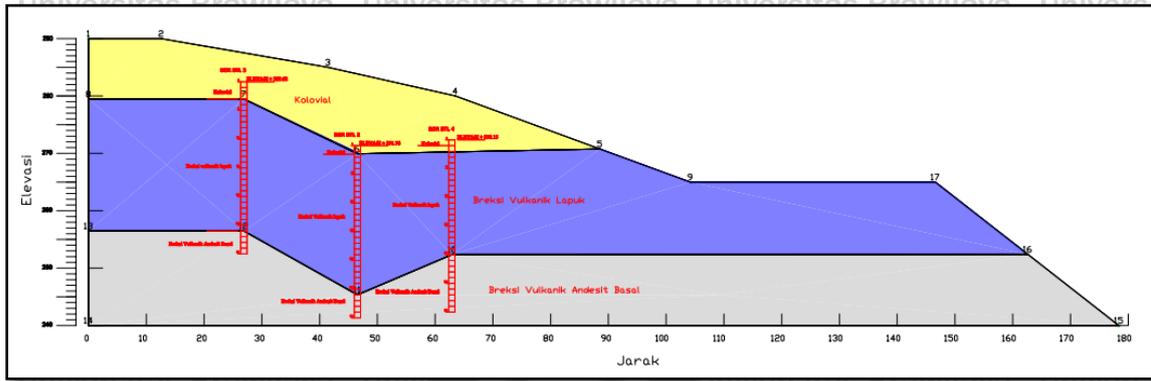
Data geologi merupakan data yang dibutuhkan untuk dapat melihat jenis tanah pada lokasi Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) serta dapat melihat keretakan dan pergerakan tanah pada lokasi tersebut. Dari hasil investigasi geologi disekitar lokasi terdapat lapisan tanah aluvial. Jenis tanah yang dapat ditemui pada lokasi Jalan Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) dari hasil pengamatan visual pada singkapan tanah litologi permukaan serta pengamatan, maka diperoleh data litologi tanah dengan susunan seperti: tanah endapan aluvial berwarna coklat, tanah breccia vulkanic lapuk lanjut berwarna coklat, tanah breccia vulkanic lapuk sedang berwarna coklat, tanah breccia vulkanic segar berwarna hijau abu-abu dan tanah breccia vulkanic lapuk segar berwarna abu-abu kehitaman.

4.3 Lokasi Pergerakan Tanah

Berdasarkan hasil identifikasi di lapangan maka lokasi pergerakan tanah yang terjadi di Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) tepatnya di *cross* STA 0+125. Lokasi tersebut yang dianggap paling berbahaya dan sangat mengancam dalam pembangunan Bendungan Tugu maupun Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo, hal ini menjadi suatu permasalahan yang harus segera ada penindakan atau penanganan yang dilakukan pada lokasi tersebut. Lokasi tersebut sebelumnya memang belum ada penindakan atau penanganan perkuatan lereng, dimana untuk penanganan perkuatan lereng dimulai pada *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 dengan jarak 108 m. Ada beberapa alasan lereng pada lokasi tersebut yang dipilih sebagai tinjauan, yakni:

1. Sudah terjadi pergerakan tanah di lokasi tersebut.
2. Jarak pergerakan tanah yang sangat dekat dengan pembangunan Bendungan Tugu.
3. Lokasi ini merupakan salah satu akses utama penghubung dua Kabupaten, yakni Kabupaten Trenggalek dan Kabupaten Ponorogo.

Data-data teknis dari lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini:

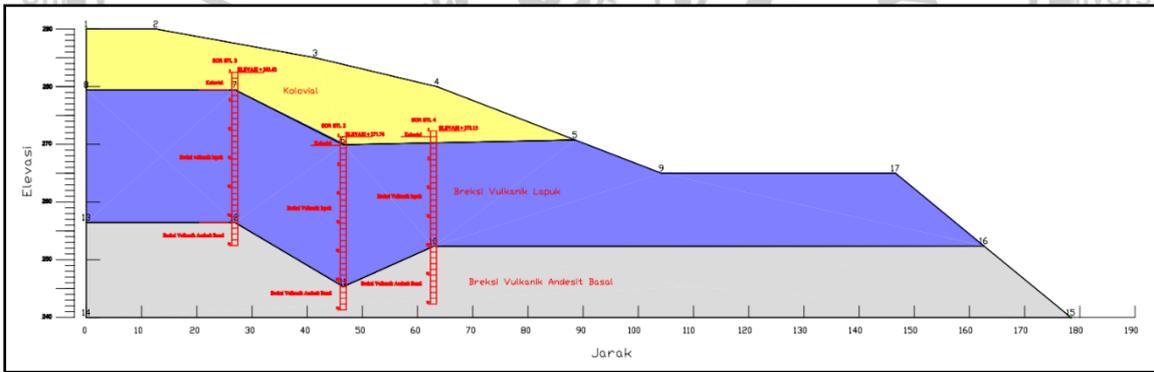


Gambar 4.3. Lereng pada *Cross* STA 0+075

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Jika ditinjau dari Gambar 4.3, maka dapat diperoleh data teknis lereng pada *cross* STA 0+075 yakni sebagai berikut:

- Kemiringan lereng : 28°
- Tinggi lereng : 25 m
- Data tanah : Lihat pada Tabel 4.1

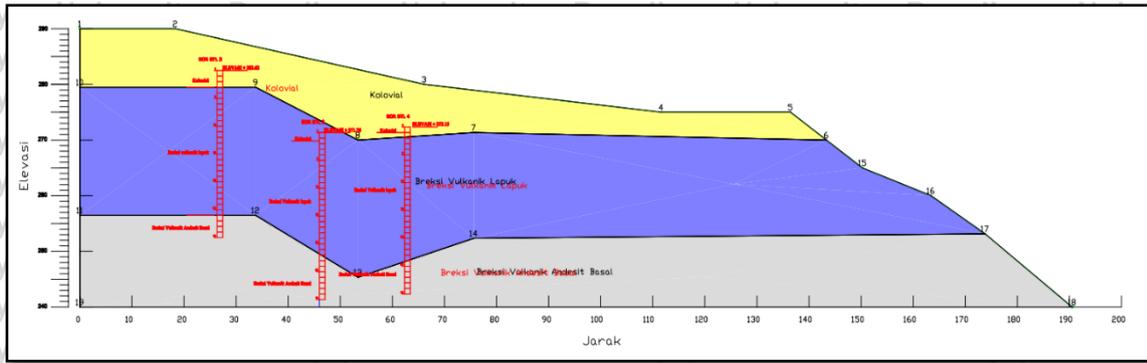


Gambar 4.4. Lereng pada *Cross* STA 0+125

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Kalau ditinjau dari Gambar 4.4, maka dapat diperoleh data teknis lereng pada *cross* STA 0+125 yakni sebagai berikut:

- Kemiringan lereng : 24°
- Tinggi lereng : 20 m
- Data tanah : Lihat pada Tabel 4.2



Gambar 4.5. Lereng pada Cross STA 0+175

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Kalau ditinjau dari Gambar 4.5, maka dapat diperoleh data teknis lereng pada cross

STA 0+175 yakni sebagai berikut:

Kemiringan lereng : 10^0

Tinggi lereng : 15 m

Data tanah : Lihat pada Tabel 4.3

4.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software GeoStudio 2012

Analisis nilai faktor keamanan lereng pada lokasi Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000), diperoleh dengan menggunakan software GeoStudio 2012. Dengan bantuan aplikasi tersebut, maka dapat menghasilkan nilai faktor keamanan lereng yang lebih akurat dibandingkan dengan kita menghitung secara manual. Nilai faktor keamanan lereng akan diketahui aman atau tidak berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

➤ Nilai Faktor Keamanan Lereng Tanpa Gempa

- $FS < 1.50$ (Lereng tidak aman)
- $FS = 1.50$ (Lereng keadaan labil)
- $FS > 1.50$ (Lereng aman)

➤ Nilai Faktor Keamanan Lereng Dengan Gempa

- $FS < 1.25$ (Lereng tidak aman)
- $FS = 1.25$ (Lereng keadaan labil)
- $FS > 1.25$ (Lereng aman)

Analisis nilai faktor keamanan lereng dihitung dalam dua tahap yaitu: analisis faktor keamanan lereng sebelum adanya alternatif pengamanan lereng dan analisis faktor keamanan lereng setelah adanya alternatif pengamanan lereng. Sedangkan data untuk inputan yang diperlukan yakni:

- ❖ Berat volume tanah (γ_{sat})

- ❖ Kohesi tanah (c)
- ❖ Sudut geser tanah (θ)

Berdasarkan data-data inputan tersebut (lihat Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3), maka nilai faktor keamanan bisa diketahui dengan cara menganalisis menggunakan *software* GeoStudio 2012.

4.4.1 Analisis Faktor Keamanan Lereng Sebelum Adanya Alternatif Pengamanan Lereng

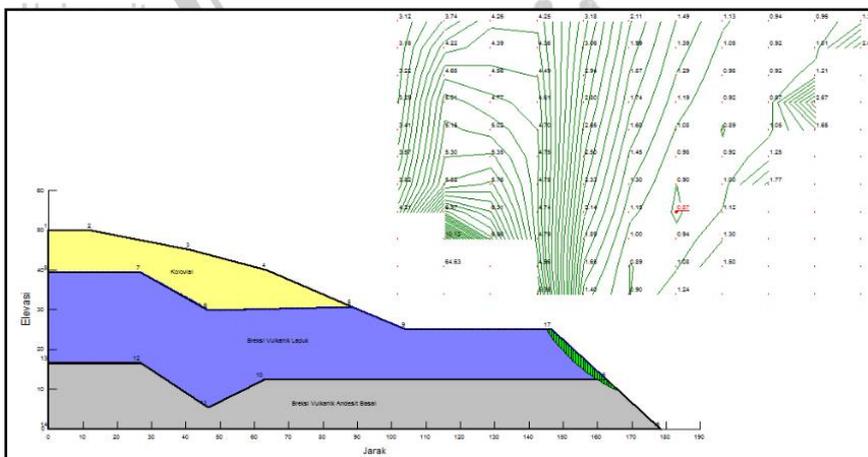
Analisis nilai faktor keamanan lereng sebelum adanya alternatif pengamanan lereng dapat dihitung menggunakan metode *Bishop*. Analisis tersebut dilakukan pada dua kondisi yakni sebagai berikut:

- ✓ Analisis faktor keamanan lereng kondisi Tanpa Gempa
- ✓ Analisis faktor keamanan lereng kondisi Akibat Gempa

Dari hasil analisis ini, maka nilai faktor keamanan lereng pada kedua kondisi ini dapat dipilih nilai faktor keamanan yang kritis. Nilai faktor keamanan tersebut yang akan menunjukkan bahwa kondisi lereng aman terhadap pergerakan tanah atau longsor.

4.4.1.1 Analisis Faktor Keamanan Lereng Sebelum Adanya Alternatif Pengamanan Lereng Kondisi Tanpa Gempa Pada *Cross STA 0+075*

Hasil analisis faktor keamanan lereng pada kondisi Tanpa Gempa dengan menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar 0.87. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka dapat disimpulkan bahwa keadaan lereng tersebut **Tidak Aman**. Hasil analisis dapat dilihat pada *Gambar 4.6* dan Lampiran III.



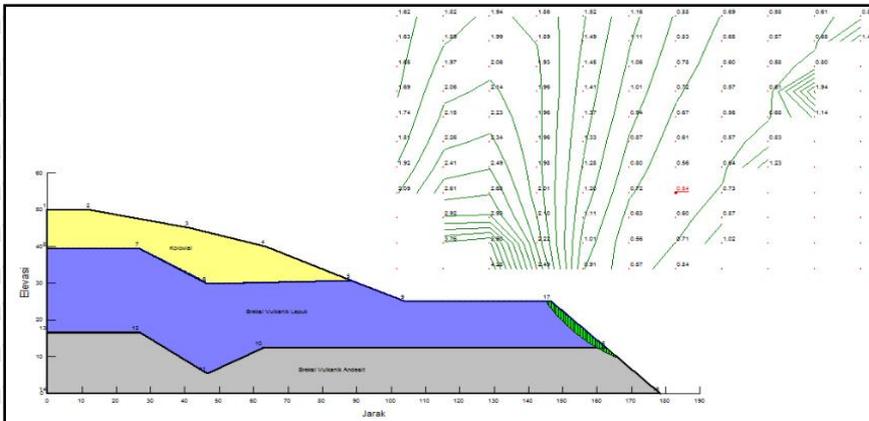
Gambar 4.6. Analisis Faktor Keamanan Lereng pada Kondisi Tanpa Gempa Kelongsoran pada *Cross STA 0+075*

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

4.4.1.2 Analisis Faktor Keamanan Lereng Sebelum Adanya Alternatif Pengamanan

Lereng Kondisi Akibat Gempa Pada Cross STA 0+075

Hasil analisis faktor keamanan lereng pada kondisi Akibat Gempa dengan menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar 0.54. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka dapat disimpulkan bahwa keadaan lereng tersebut **Tidak Aman**. Hasil analisis dapat dilihat pada *Gambar 4.7* dan Lampiran III.

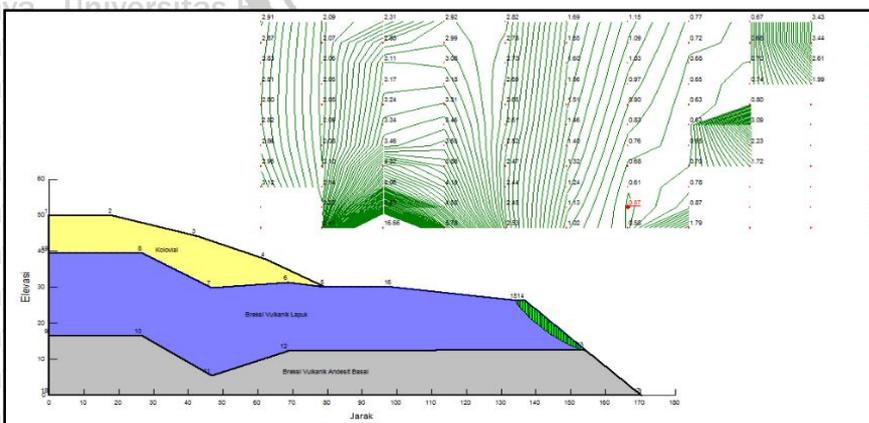


Gambar 4.7. Analisis Faktor Keamanan Lereng pada Kondisi Dengan Gempa Kelongsoran pada Cross STA 0+075
 Sumber: Hasil Analisa, 2019.

4.4.1.3 Analisis Faktor Keamanan Lereng Sebelum Adanya Alternatif Pengamanan

Lereng Kondisi Tanpa Gempa Pada Cross STA 0+125

Hasil analisis faktor keamanan lereng pada kondisi Tanpa Gempa dengan menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar 0.57. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka dapat disimpulkan bahwa keadaan lereng tersebut **Tidak Aman**. Hasil analisis dapat dilihat pada *Gambar 4.8* dan Lampiran III.

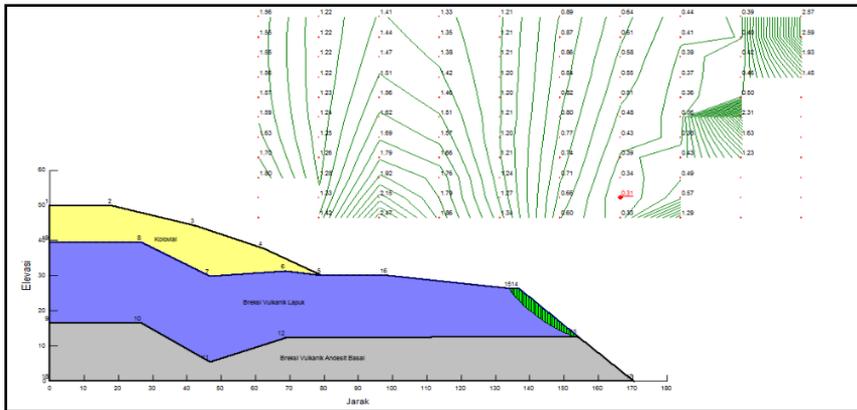


Gambar 4.8. Analisis Faktor Keamanan Lereng pada Kondisi Tanpa Gempa Kelongsoran pada Cross STA 0+125
 Sumber: Hasil Analisa, 2019.

4.4.1.4 Analisis Faktor Keamanan Lereng Sebelum Adanya Alternatif Pengamanan

Lereng Kondisi Akibat Gempa Pada Cross STA 0+125

Hasil analisis faktor keamanan lereng pada kondisi Akibat Gempa dengan menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar 0.31. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka dapat disimpulkan bahwa keadaan lereng tersebut **Tidak Aman**. Hasil analisis dapat dilihat pada *Gambar 4.9* dan Lampiran III.



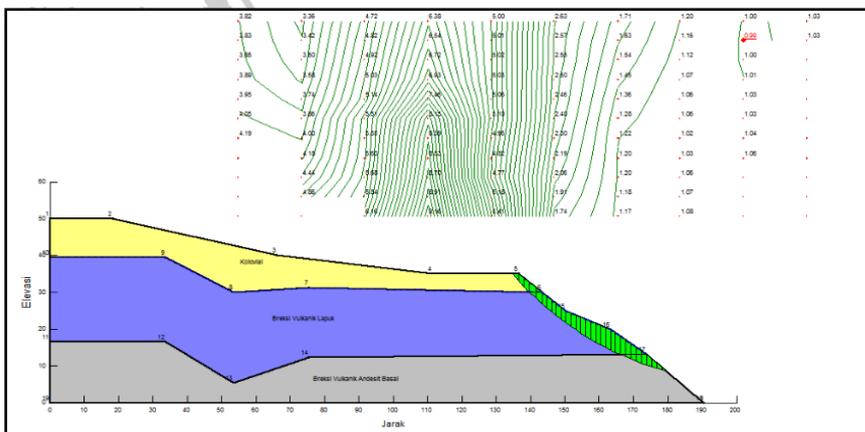
Gambar 4.9. Analisis Faktor Keamanan Lereng pada Kondisi Akibat Gempa Kelongsoran pada Cross STA 0+125

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

4.4.1.5 Analisis Faktor Keamanan Lereng Sebelum Adanya Alternatif Pengamanan

Lereng Kondisi Tanpa Gempa Pada Cross STA 0+175

Hasil analisis faktor keamanan lereng pada kondisi Tanpa Gempa dengan menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar 0.99. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka dapat disimpulkan bahwa keadaan lereng tersebut **Tidak Aman**. Hasil analisis dapat dilihat pada *Gambar 4.10* dan Lampiran III.



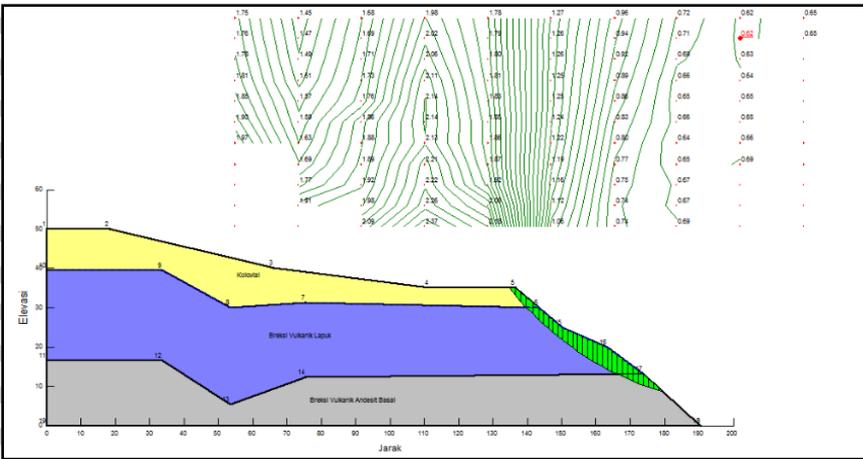
Gambar 4.10. Analisis Faktor Keamanan Lereng pada Kondisi Tanpa Gempa Kelongsoran pada Cross STA 0+175

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

4.4.1.6 Analisis Faktor Keamanan Lereng Sebelum Adanya Alternatif Pengamanan

Lereng Kondisi Akibat Gempa pada Cross STA 0+175

Hasil analisis faktor keamanan lereng pada kondisi Akibat Gempa dengan menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar 0.62. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka dapat disimpulkan bahwa keadaan lereng tersebut **Tidak Aman**. Hasil analisis dapat dilihat pada *Gambar 4.11* dan Lampiran III.



Gambar 4.11. Analisis Faktor Keamanan Lereng pada Kondisi Akibat Gempa Kelongsoran pada Cross STA 0+175

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Dari hasil analisis pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 sebelum adanya alternatif pengamanan terhadap lereng pada kondisi Tanpa Gempa dan Dengan Gempa dapat disimpulkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, yakni sebagai berikut:

Tabel 4.4

Hasil Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan Sebelum Adanya Alternatif pada Pengamanan Lereng Kondisi Tanpa Gempa

Lereng Cross STA	Nilai Faktor Keamanan (FS)	Keterangan Kondisi Lereng
Cross STA 0+075	0.87	Tidak Aman
Cross STA 0+125	0.57	Tidak Aman
Cross STA 0+175	0.99	Tidak Aman

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Tabel 4.5

Hasil Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan Sebelum Adanya Alternatif pada Pengamanan Lereng Kondisi Akibat Gempa

Lereng Cross STA	Nilai Faktor Keamanan (FS)	Keterangan Kondisi Lereng
Cross STA 0+075	0.54	Tidak Aman
Cross STA 0+125	0.31	Tidak Aman
Cross STA 0+175	0.62	Tidak Aman

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

4.4.2 Analisis Faktor Keamanan Lereng Sesudah Adanya Alternatif Pengamanan Lereng

Analisis faktor keamanan lereng akan dilanjutkan pada kondisi tanpa gempa dan dengan gempa. Analisis tersebut dapat dibandingkan dengan beberapa perbedaan nilai faktor keamanan pada kondisi tanpa gempa dan dengan gempa. Struktur yang akan dipakai untuk menganalisis faktor keamanan lereng tersebut adalah dinding penahan tanah dinding kantilever dan *bored pile*.

4.4.2.1 Analisis Faktor Keamanan Lereng *Cross* STA 0+075 Sesudah Adanya Alternatif Pengamanan Lereng Kondisi Tanpa Gempa

Analisis faktor keamanan lereng sesudah adanya alternatif bangunan pengamanan lereng pada kondisi Tanpa Gempa, terdapat 3 (tiga) alternatif yang digunakan yakni sebagai berikut:

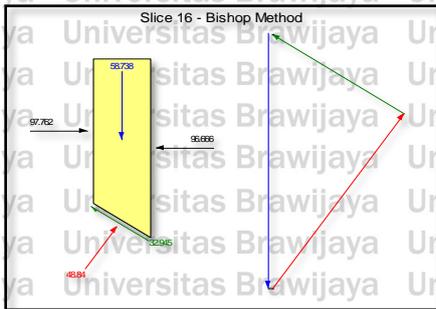
1. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 1 *bored pile*.

Bored pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Diameter *bored pile* : 0.8 m
- Kedalaman *bored pile* : 35 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.60 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m
- Panjang *pile cap* (memanjang) : 108 m
- Panjang *pile cap* (melintang) : 3.8 m
- Tinggi *pile cap* : 1 m

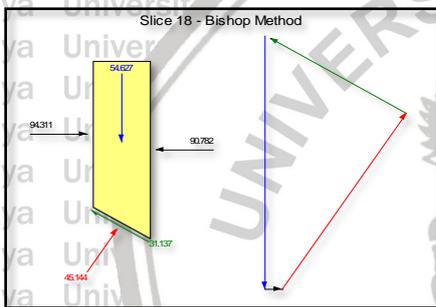
Selain dari data-data teknis di atas maka yang perlu diperhatikan juga adalah nilai inputan *shear force* karena sangat berpengaruh pada nilai faktor keamanan lereng. Apabila semakin kecil inputan nilai *shear force* maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan lereng. Nilai inputan *shear force* ditentukan berdasarkan letak dari *bored pile* berada pada *slice* atau irisan dari radius kelongsoran lereng tersebut.

Untuk nilai inputan *shear force* untuk alternatif 1 *bored pile* akan ditentukan berdasarkan *slice* atau irisan dari hasil analisis faktor keamanan kondisi Tanpa adanya Gempa bisa di lihat pada Gambar 4.6.



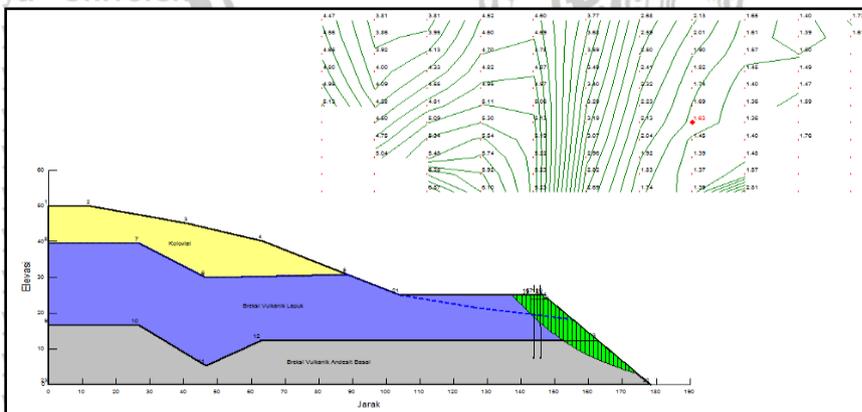
Gambar 4.12. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan Gambar 4.12, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 97.762 kN.



Gambar 4.13. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan gambar 4.13, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 40.408 kN.



Gambar 4.14. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2018.

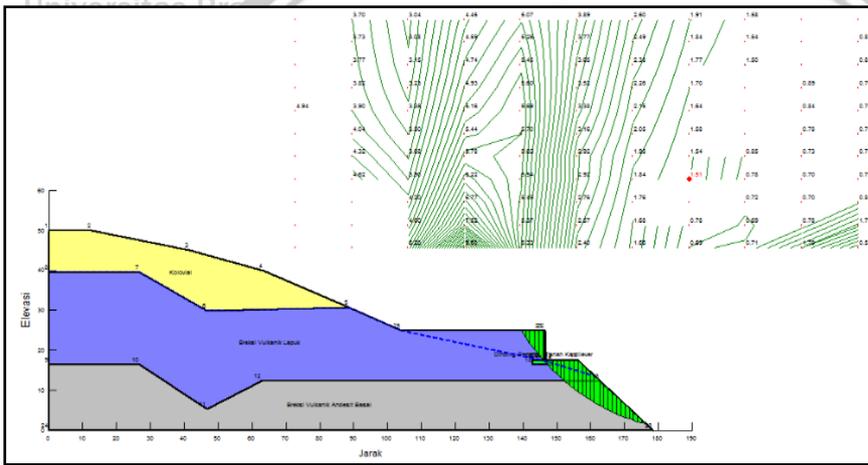
Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur *bored pile* kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012, maka didapat nilai faktor keamanan lereng

tersebut sebesar **1.63**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.14* dan Lampiran III.

2. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89 °
- Kemiringan dinding belakang : 90 °



Gambar 4.15. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.51**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.15* dan Lampiran III.

3. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*.

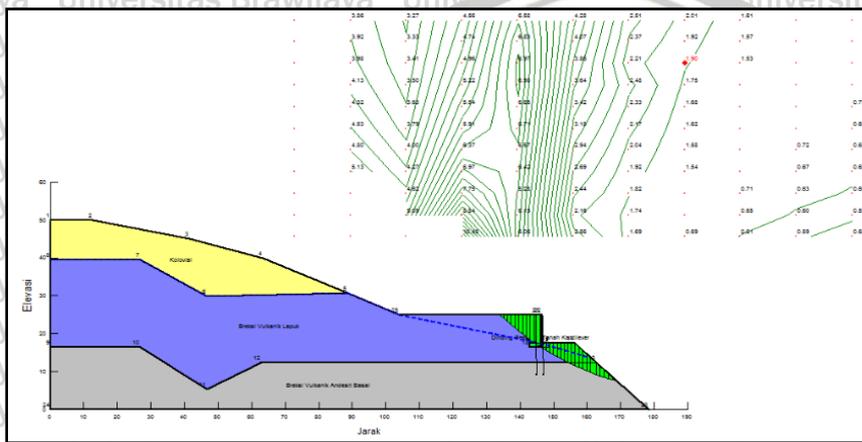
Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m

- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89 °
- Kemiringan dinding belakang : 90 °

Bored pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Kedalaman *bored pile* : 26.5 m
- Diameter dari *bored pile* : 0.8 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.6 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m



Gambar 4.16. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Perencanaan, 2018

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.90**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada Gambar 4.16 dan Lampiran III.

4.4.2.2 Analisis Faktor Keamanan Lereng *Cross* STA 0+075 Sesudah Adanya Alternatif Pengamanan Lereng Kondisi Akibat Gempa

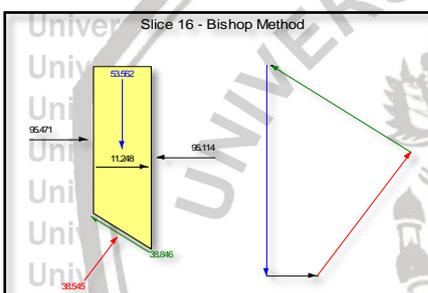
Analisis faktor keamanan lereng setelah adanya alternatif pengamanan lereng pada kondisi Akibat Gempa, terdapat 3 (tiga) alternatif yang digunakan yakni sebagai berikut:

1. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 1 *bored pile*.
Bored pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Diameter *bored pile* : 0.8 m

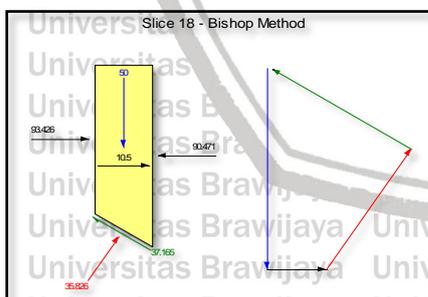
- Kedalaman *bored pile* : 35 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.60 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m
- Panjang *pile cap* (memanjang) : 108 m
- Panjang *pile cap* (melintang) : 3.8 m
- Tinggi *pile cap* : 1 m

Selain dari data-data teknis di atas maka yang perlu diperhatikan juga adalah nilai inputan *shear force* karena sangat berpengaruh pada nilai faktor keamanan lereng. Apabila semakin kecil inputan nilai *shear force* maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan lereng. Nilai inputan *shear force* ditentukan berdasarkan letak dari *bored pile* berada pada *slice* atau irisan dari radius kelongsoran lereng tersebut. Untuk nilai inputan *shear force* untuk alternatif 1 (*bored pile*) akan ditentukan berdasarkan *slice* atau irisan dari hasil analisis faktor keamanan Kondisi Akibat Gempa bisa di lihat pada Gambar 4.7.



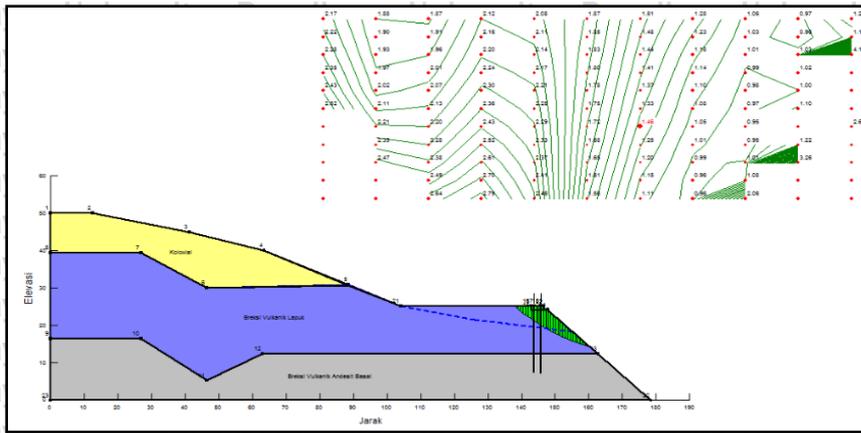
Gambar 4.17. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan Gambar 4.17, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 95.471 kN.



Gambar 4.18. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan Gambar 4.18, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 93.426 kN.



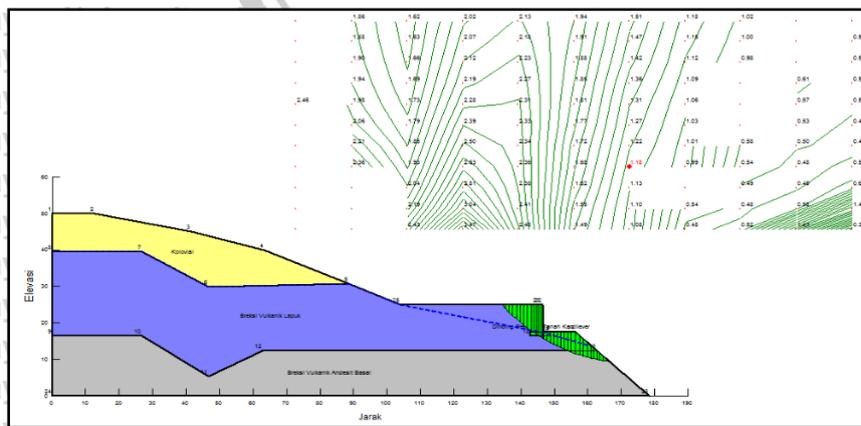
Gambar 4.19. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
 Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur *Bored Pile* Kondisi Akibat Gempa menggunakan *Software GeoStudio 2012*, maka didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.46**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.19* dan Lampiran III.

2. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89°
- Kemiringan dinding belakang : 90°



Gambar 4.20. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Kondisi Akibat Gempa
 Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur Dinding Penahan Tanah

Kantilever Kondisi Akibat Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.18**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Tidak Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.20* dan Lampiran III.

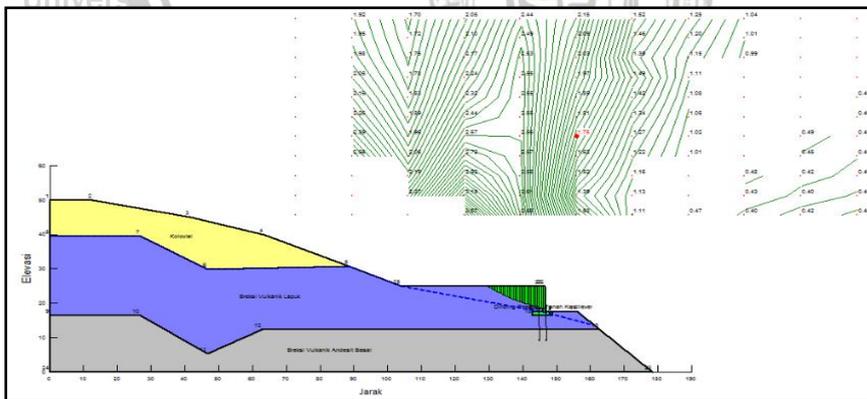
3. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89 °
- Kemiringan dinding belakang : 90 °

Bored pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Kedalaman *bored pile* : 26.5 m
- Diameter dari *bored pile* : 0.8 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.6 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m



Gambar 4.21. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Perencanaan, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* kondisi Akibat Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.75 m**. Berdasarkan nilai faktor

keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.21* dan Lampiran III.

4.4.2.3 Analisis Faktor Keamanan Lereng *Cross STA 0+125* Sesudah Adanya Alternatif Pengamanan Lereng Kondisi Tanpa Gempa

Analisis faktor keamanan lereng sesudah adanya alternatif bangunan pengamanan lereng pada kondisi Tanpa Gempa, terdapat 3 (tiga) alternatif yang digunakan yakni sebagai berikut:

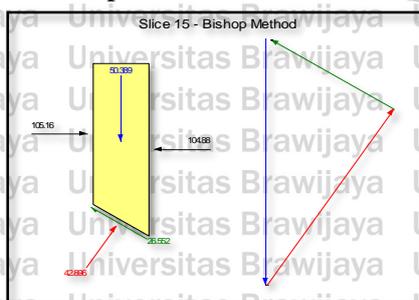
1. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 1 *bored pile*.

Bored pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross STA 0+125*, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Diameter *bored pile* : 0.8 m
- Kedalaman *bored pile* : 35 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.60 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m
- Panjang *pile cap* (memanjang) : 108 m
- Panjang *pile cap* (melintang) : 3.8 m
- Tinggi *pile cap* : 1 m

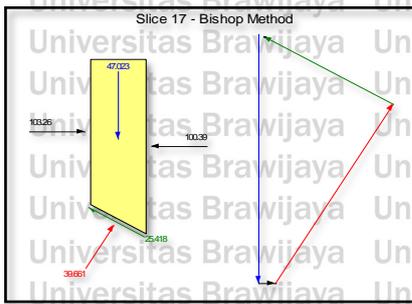
Selain dari data-data teknis di atas maka yang perlu diperhatikan juga adalah nilai inputan *shear force* karena sangat berpengaruh pada nilai faktor keamanan lereng. Apabila semakin kecil inputan nilai *shear force* maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan lereng. Nilai inputan *shear force* ditentukan berdasarkan letak dari *bored pile* berada pada *slice* atau irisan dari radius kelongsoran lereng tersebut.

Untuk nilai inputan *shear force* untuk alternatif 1 (*bored pile*) akan ditentukan berdasarkan *slice* atau irisan dari hasil analisis faktor keamanan kondisi Tanpa Gempa bisa di lihat pada *Gambar 4.8*.



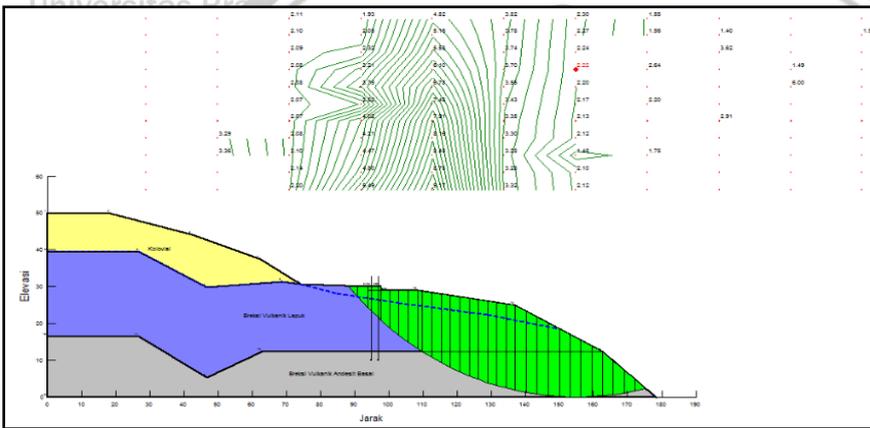
Gambar 4.22. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan Gambar 4.22, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 105.16 kN.



Gambar 4.23. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan Gambar 4.23, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 103.26 kN.



Gambar 4.24. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

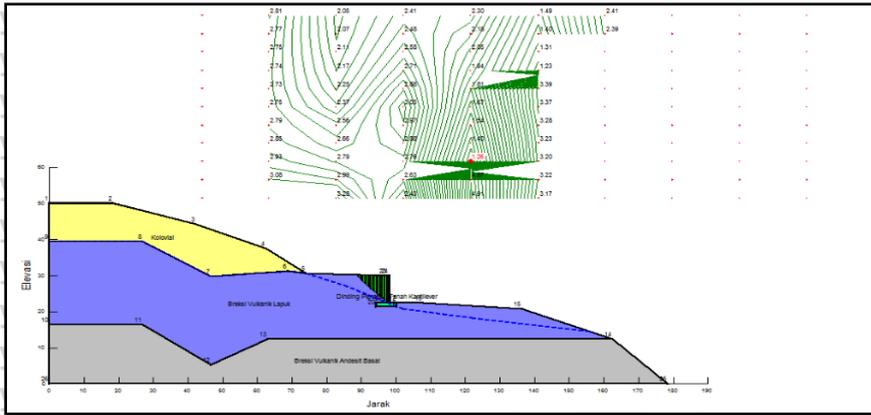
Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur *bored pile* kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012, maka didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar 2.22. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut Aman. Dapat di lihat hasil analisisnya pada Gambar 4.24 dan Lampiran III.

2. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89 °

➤ Kemiringan dinding belakang : 90°



Gambar 4.25. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur Dinding Penahan Tanah Kantilever kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.26**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Tidak Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada Gambar 4.25 dan Lampiran III.

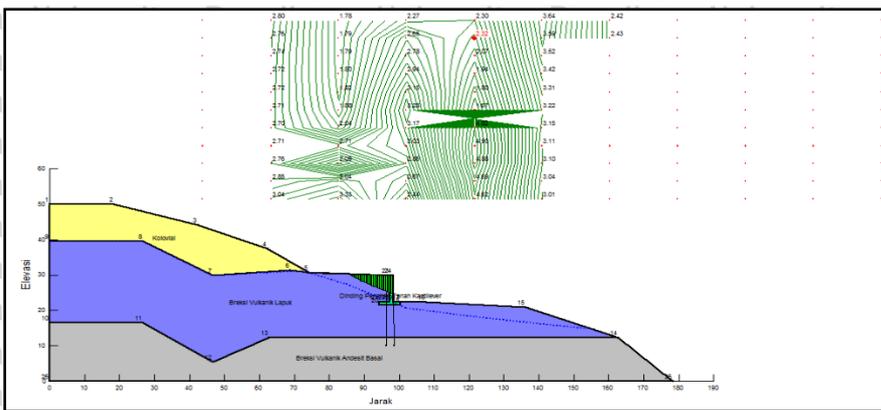
3. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+125, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
 - Lebar puncak dinding : 0.65 m
 - Lebar pondasi : 5.95 m
 - Dalam pondasi : 0.85 m
 - Kemiringan dinding depan : 89°
 - Kemiringan dinding belakang : 90°
- Bored pile* yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+075,

tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Kedalaman *bored pile* : 26.5 m
- Diameter dari *bored pile* : 0.8 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.6 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m



Gambar 4.26. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
 Sumber: Hasil Perencanaan, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **2.32**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada Gambar 4.26 dan Lampiran III.

4.4.2.4 Analisis Faktor Keamanan Lereng Cross STA 0+125 Sesudah Adanya Alternatif Pengamanan Lereng Kondisi Akibat Gempa

Analisis faktor keamanan lereng sesudah adanya alternatif bangunan pengamanan lereng pada kondisi Akibat Gempa, terdapat 3 (tiga) alternatif yang digunakan yakni sebagai berikut:

1. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 1 *bored pile*.

Bored Pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng Cross STA 0+125, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

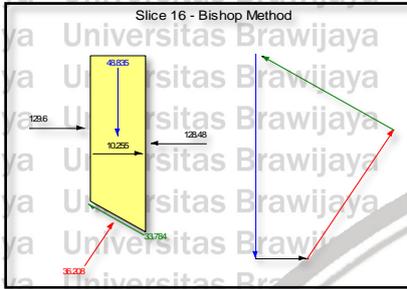
- Diameter *bored pile* : 0.8 m
- Kedalaman *bored pile* : 35 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.60 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m
- Panjang *pile cap* (memanjang) : 108 m
- Panjang *pile cap* (melintang) : 3.8 m
- Tinggi *pile cap* : 1 m

Selain dari data-data teknis di atas maka yang perlu diperhatikan juga adalah nilai inputan *shear force* karena sangat berpengaruh pada nilai faktor keamanan lereng. Apabila



semakin kecil inputan nilai *shear force* maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan lereng. Nilai inputan *shear force* ditentukan berdasarkan letak dari *bored pile* berada pada *slice* atau irisan dari radius kelongsoran lereng tersebut.

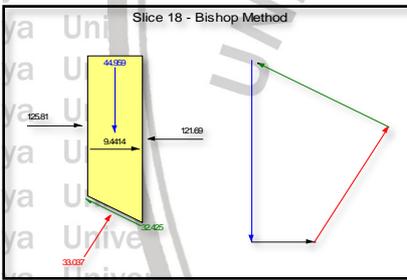
Untuk nilai inputan *shear force* untuk alternatif 1 *bored pile* akan ditentukan berdasarkan *slice* atau irisan dari hasil analisis faktor keamanan kondisi Akibat Gempa bisa di lihat pada *Gambar 4.9*.



Gambar 4.27. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

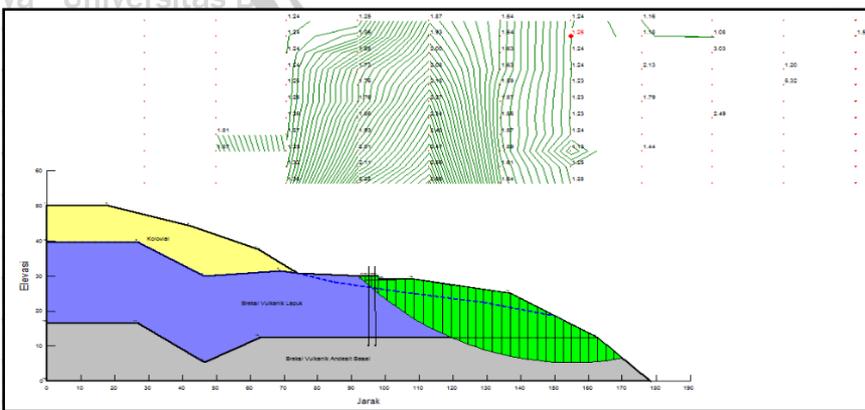
Berdasarkan *Gambar 4.27*, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 129.60 kN.



Gambar 4.28. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan *Gambar 4.28*, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 125.81 kN.



Gambar 4.29. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi

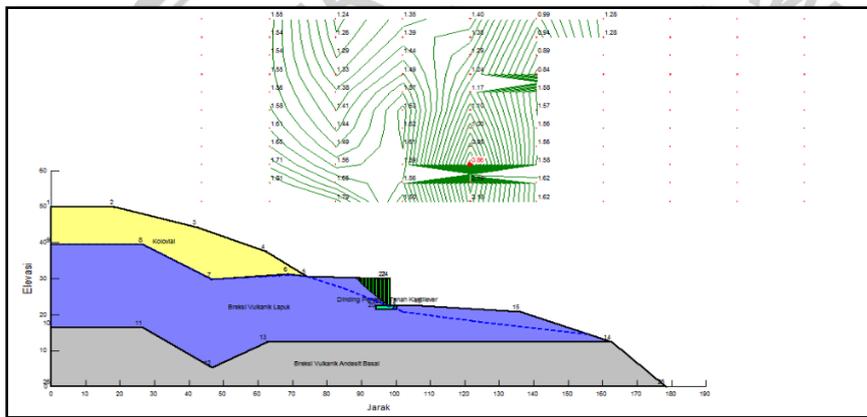
Akibat Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur *bored pile* kondisi Akibat Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012, maka didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.26**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.29* dan Lampiran III.

2. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+125, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89 °
- Kemiringan dinding belakang : 90 °



Gambar 4.30. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever kondisi Akibat Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **0.86**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Tidak Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.30* dan Lampiran III.

3. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*.

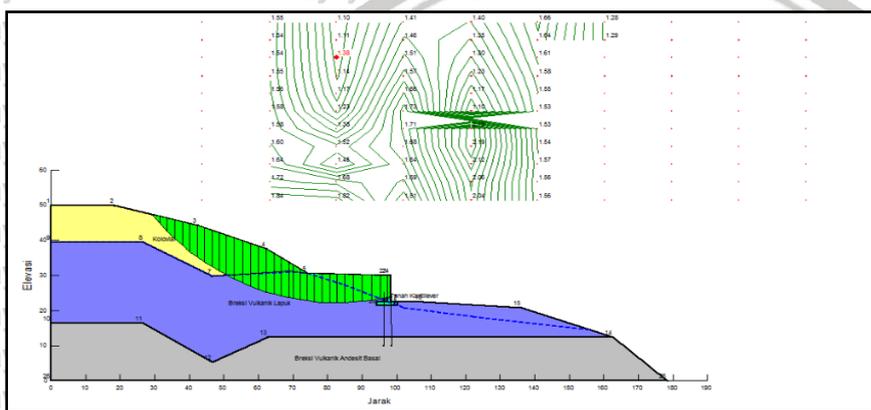
Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+125, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m

- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89 °
- Kemiringan dinding belakang : 90 °

Bored pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+125, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Kedalaman *bored pile* : 26.5 m
- Diameter dari *bored pile* : 0.8 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.6 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m



Gambar 4.31. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Perencanaan, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* kondisi Akibat Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.38**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada Gambar 4.31 dan Lampiran III.

4.3.2.1 Analisis Faktor Keamanan Lereng *Cross* STA 0+175 Sesudah Adanya Alternatif Pengamanan Lereng Kondisi Tanpa Gempa

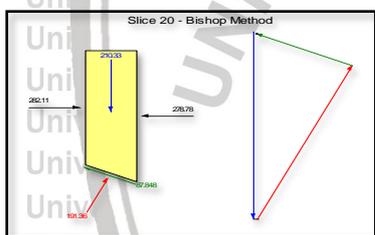
Analisis faktor keamanan lereng sesudah adanya alternatif bangunan pengamanan lereng pada kondisi Tanpa Gempa, terdapat 3 (tiga) alternatif yang digunakan yakni sebagai berikut:

1. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 1 *bored pile*.
Bored Pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+175, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Diameter *bored pile* : 0.8 m
- Kedalaman *bored pile* : 35 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.60 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m
- Panjang *pile cap* (memanjang) : 108 m
- Panjang *pile cap* (melintang) : 3.8 m
- Tinggi *pile cap* : 1 m

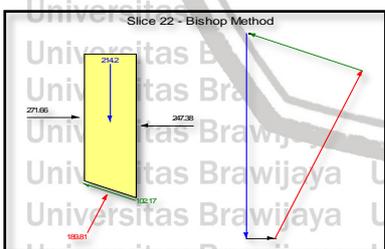
Selain dari data-data teknis di atas maka yang perlu diperhatikan juga adalah nilai inputan *shear force* karena sangat berpengaruh pada nilai faktor keamanan lereng. Apabila semakin kecil inputan nilai *shear force* maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan lereng. Nilai inputan *shear force* ditentukan berdasarkan letak dari *bored pile* berada pada *slice* atau irisan dari radius kelongsoran lereng tersebut.

Untuk nilai inputan *shear force* untuk alternatif 1 *bored pile* akan ditentukan berdasarkan *slice* atau irisan dari hasil analisis faktor keamanan kondisi Tanpa Gempa bisa di lihat pada Gambar 4.10.



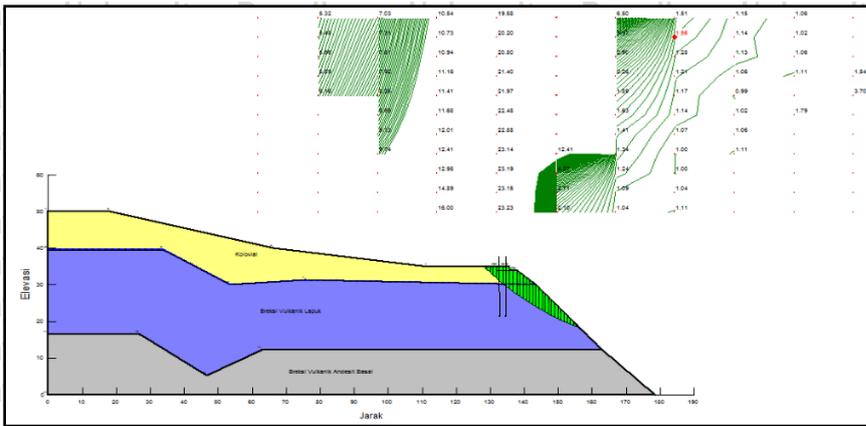
Gambar 4.33. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan Gambar 4.33, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 281.11 kN.



Gambar 4.34. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan Gambar 4.34, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 271.66 kN.



Gambar 4.35. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
 Sumber: Hasil Analisa, 2019.

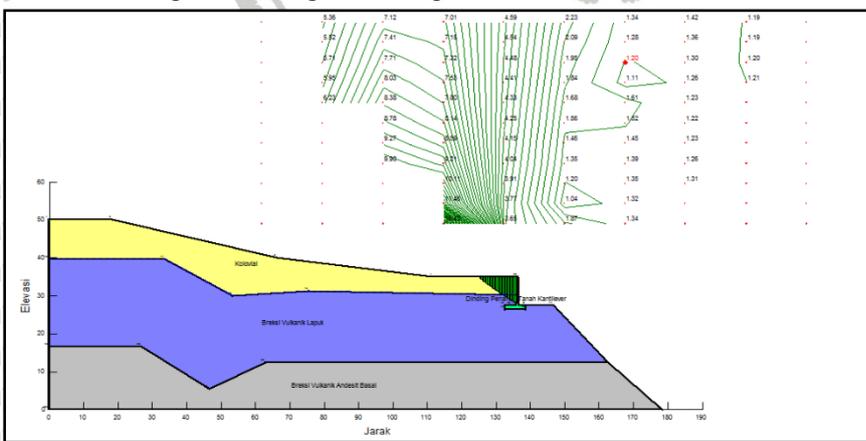
Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur *bored pile* kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012, maka didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.56**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada Gambar 4.35 dan Lampiran III.

2. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross*

STA 0+175, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89°
- Kemiringan dinding belakang : 90°



Gambar 4.36. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Kondisi Tanpa Gempa
 Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.20**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Tidak Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.36* dan Lampiran III.

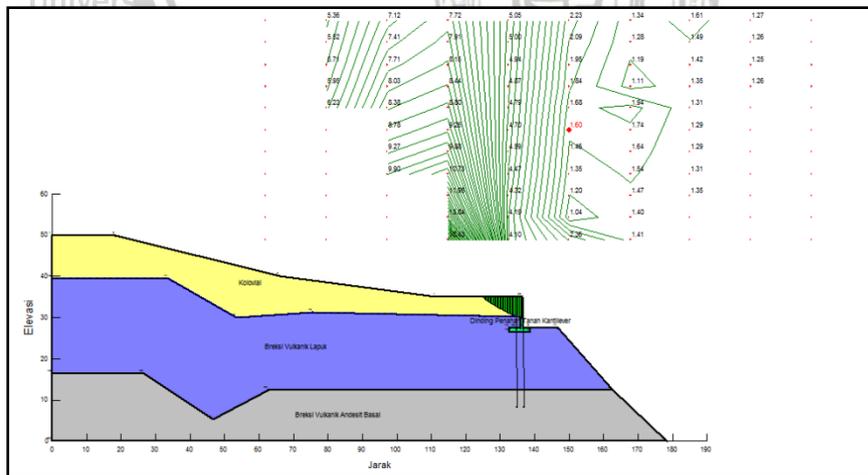
3. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+175, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89 °
- Kemiringan dinding belakang : 90 °

Bored pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+175, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Kedalaman *bored pile* : 26.5 m
- Diameter dari *bored pile* : 0.8 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.6 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m



Gambar 4.37. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile* Pada Kondisi Tanpa Gempa
Sumber: Hasil Perencanaan, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* kondisi Tanpa Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012

didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.60**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.37* dan Lampiran III.

4.4.2.6 Analisis Faktor Keamanan Lereng Cross STA 0+175 Sesudah Adanya Alternatif Pengamanan Lereng Kondisi Akibat Gempa

Analisis faktor keamanan lereng sesudah adanya alternatif bangunan pengaman lereng pada kondisi Akibat Gempa, terdapat 3 (tiga) alternatif yang digunakan yakni sebagai berikut:

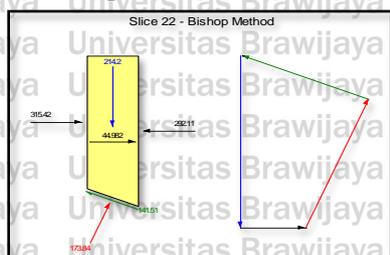
1. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 1 *bored pile*.

Bored Pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+175, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Diameter *bored pile* : 0.8 m
- Kedalaman *bored pile* : 35 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.60 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m
- Panjang *pile cap* (memanjang) : 108 m
- Panjang *pile cap* (melintang) : 3.8 m
- Tinggi *pile cap* : 1 m

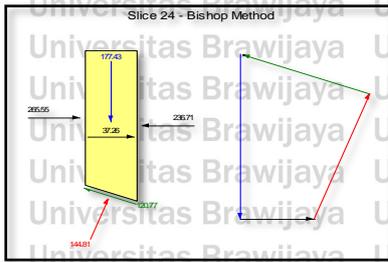
Selain dari data-data teknis di atas maka yang perlu diperhatikan juga adalah nilai inputan *shear force* karena sangat berpengaruh pada nilai faktor keamanan lereng. Apabila semakin kecil inputan nilai *shear force* maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan lereng. Nilai inputan *shear force* ditentukan berdasarkan letak dari *bored pile* berada pada *slice* atau irisan dari radius kelongsoran lereng tersebut.

Untuk nilai inputan *shear force* untuk alternatif 1 *bored pile* akan ditentukan berdasarkan *slice* atau irisan dari hasil analisis faktor keamanan kondisi Akibat Gempa bisa di lihat pada *Gambar 4.11*.



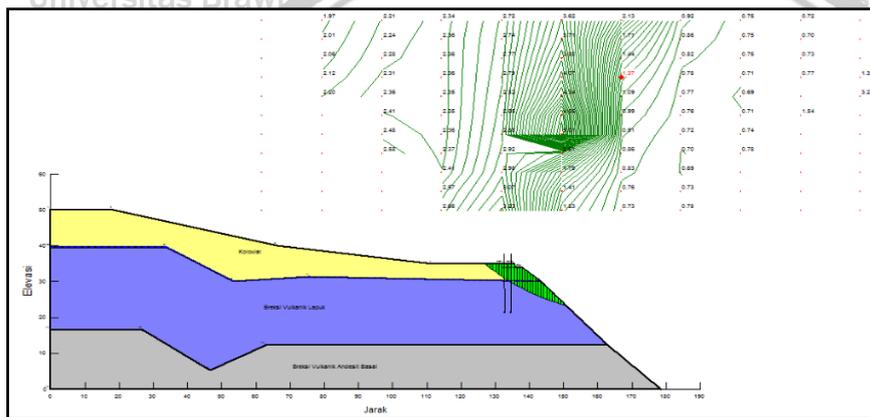
Gambar 4.38. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan *Gambar 4.38*, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 315.42 kN.



Gambar 4.39. Nilai *Shear Force* Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Berdasarkan *Gambar 4.39*, maka kita dapat menentukan nilai inputan *shear force* sebesar 265.55 kN.



Gambar 4.40. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 1 *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

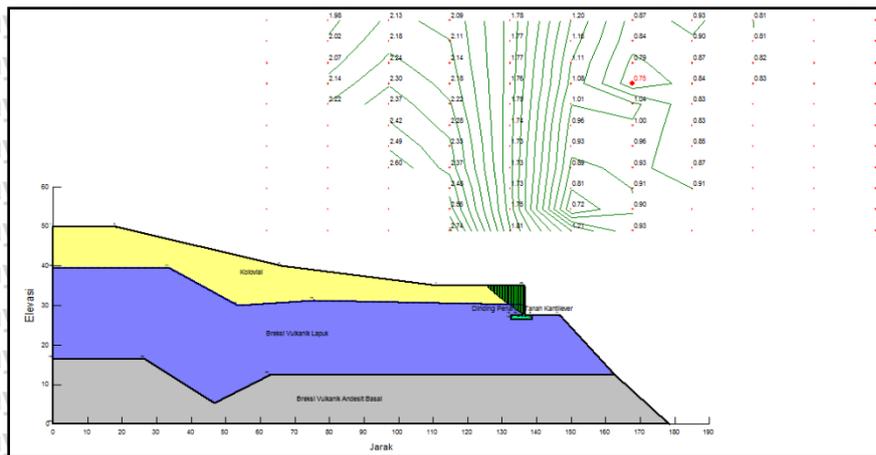
Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur *bored pile* kondisi akibat Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012, maka didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.37**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada *Gambar 4.40* dan Lampiran III.

2. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *Cross STA 0+175*, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89 °

➤ Kemiringan dinding belakang : 90°



Gambar 4.41. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Analisa, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever kondisi Akibat Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **0.75**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Tidak Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada Gambar 4.41 dan Lampiran III.

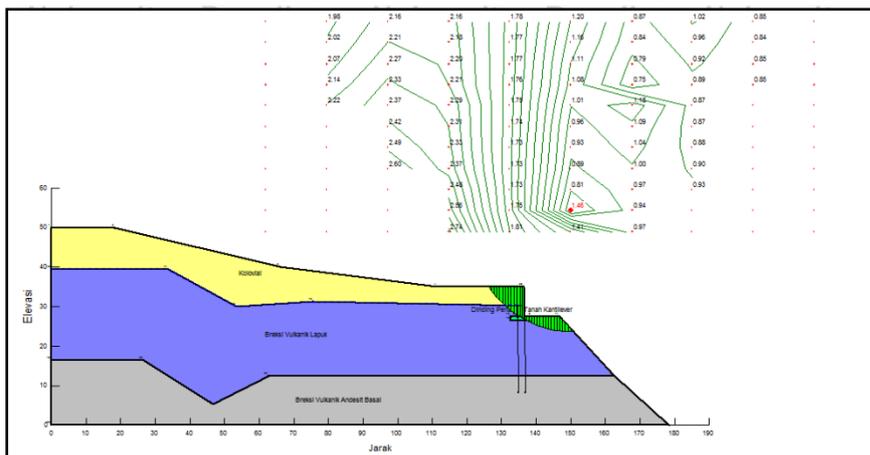
3. Nilai faktor keamanan lereng alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*.

Dinding penahan tanah kantilever yang diletakan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+175, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 8.5 m
- Lebar puncak dinding : 0.65 m
- Lebar pondasi : 5.95 m
- Dalam pondasi : 0.85 m
- Kemiringan dinding depan : 89°
- Kemiringan dinding belakang : 90°

Bored pile yang akan diletakkan pada potongan melintang lereng *cross* STA 0+175, tersebut memiliki data teknis sebagai berikut:

- Kedalaman *bored pile* : 26.5 m
- Diameter dari *bored pile* : 0.8 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (memanjang) : 1.6 m
- Jarak antara *bored pile* satu dengan *bored pile* lainnya (melintang) : 2 m



Gambar 4.42. Nilai Analisis Faktor Keamanan Lereng Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile* Pada Kondisi Akibat Gempa
Sumber: Hasil Perencanaan, 2019.

Hasil analisis faktor keamanan lereng setelah adanya struktur dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* kondisi Akibat Gempa menggunakan *software* GeoStudio 2012 didapat nilai faktor keamanan lereng tersebut sebesar **1.46**. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang ada maka disimpulkan bahwa lereng tersebut **Aman**. Dapat di lihat hasil analisisnya pada Gambar 4.42 dan Lampiran III.

Semua hasil analisis lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+0125, dan *cross* STA 0+17, untuk 3 alternatif pengamanan lereng pada kondisi Tanpa Gempa dan kondisi Akibat Gempa akan ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6

Hasil Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan Sesudah Adanya Alternatif Pada Pengamanan Lereng Kondisi Tanpa Gempa dan Kondisi Dengan Gempa

No.	Lereng <i>Cross</i> STA	Alternatif Pengamanan Lereng	Nilai Faktor Keamanan (FS)		Keterangan Kondisi Lereng	
			Tanpa Gempa	Akibat Gempa	Tanpa Gempa	Akibat Gempa
1	<i>Cross</i> STA 0+075	Alternatif 1 <i>Bored Pile</i>	1.63	1.46	Aman	Aman
		Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever	1.51	1.18	Aman	Tidak Aman
		Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Dengan <i>Bored Pile</i>	1.90	1.75	Aman	Aman
2	<i>Cross</i> STA 0+125	Alternatif 1 <i>Bored Pile</i>	2.22	1.26	Aman	Aman
		Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever	1.26	0.86	Tidak Aman	Tidak Aman
		Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Dengan <i>Bored Pile</i>	2.32	1.38	Aman	Aman
3	<i>Cross</i> STA 0+175	Alternatif 1 <i>Bored Pile</i>	1.56	1.37	Aman	Aman
		Alternatif 2 Dinding Penahan Tanah Kantilever	1.20	0.75	Tidak Aman	Tidak Aman
		Alternatif 3 Dinding Penahan Tanah Dengan <i>Bored Pile</i>	1.60	1.46	Aman	Aman

Sumber: Hasil Analisa, 2019.

4.5. Perencanaan Bangunan

Berdasarkan kesimpulan dari hasil analisis lereng pada *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 dengan menggunakan *software* GeoStudio 2012, bahwa struktur yang akan direncanakan adalah:

1. Dinding enahan tanah kantilever
2. *Bored pile*
3. Dinding penahan tanah kantilever dengan *Bored pile*

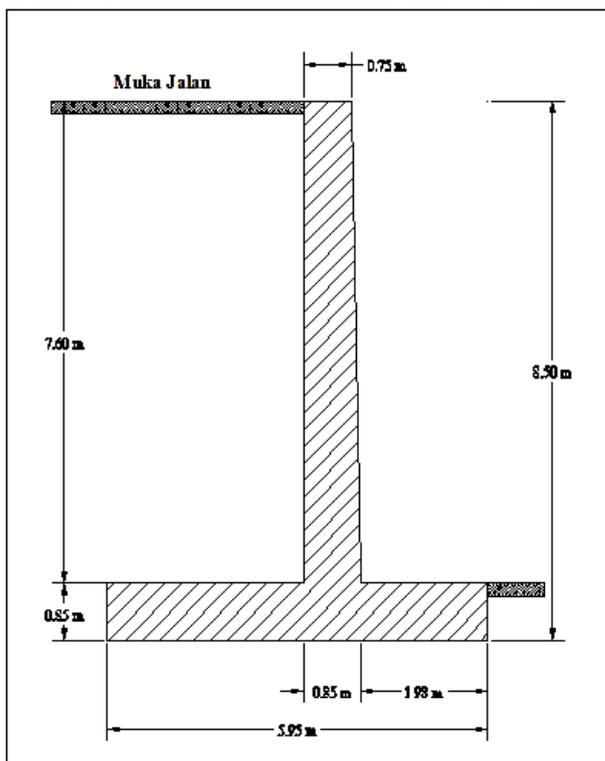
4.5.1 Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding penahan tanah yang akan pakai pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 adalah dinding penahan kantilever dengan panjang dinding 107 m sesuai dengan identifikasi lokasi kelongsoran. Langkah-langkah yang akan dilakukan untuk melakukan perhitungan dinding penahan kantilever sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi dari bangunan dinding penahan tanah kantilever

Penentuan dimensi dari dinding penahan tanah kantilever dilakukan dengan coba-coba dengan menggunakan panduan dari buku Teknik Pondasi 1 (Hardiyatmo, 2006, p. 404).

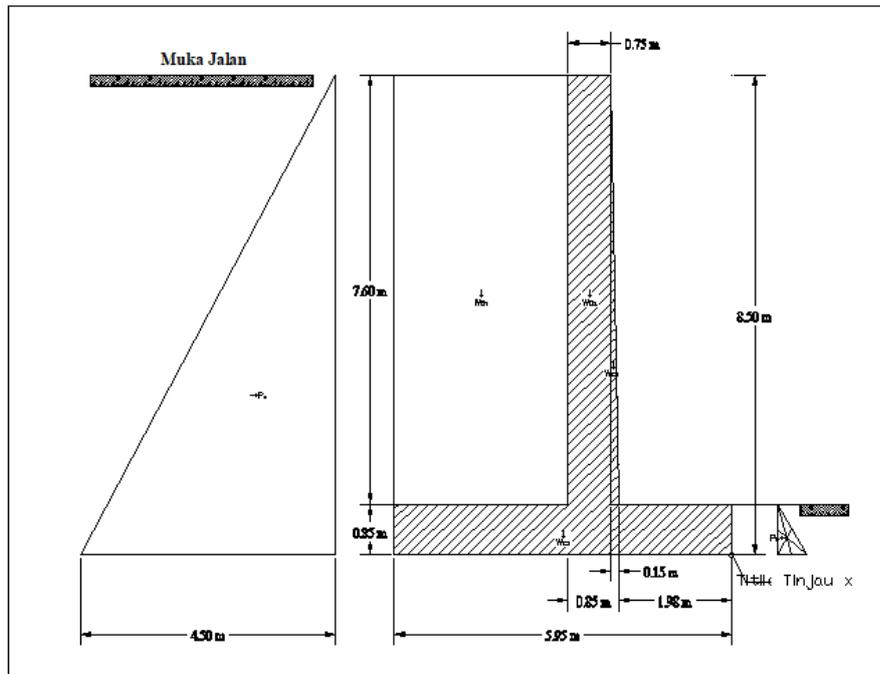
Hasil dari rencana dimensi dinding penahan tanah kantilever dapat dilihat pada *Gambar* 4.43.



Gambar 4.43. Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever
Sumber: Hasil Perencanaan, 2018.

2. Menghitung gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah kantilever

Perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah kantilever dilakukan pada kondisi musim hujan. Diagram gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah kantilever akan ditunjukkan pada Gambar 4.49.



Gambar 4.44. Diagram Gaya-gaya Pada Dinding Penahan Tanah Kantilever
 Sumber: Hasil Perencanaan, 2018.

Data-data untuk perhitungan gaya-gaya pada dinding penahan tanah kantilever sebagai berikut:

- γ dinding kantilever : 2.4 t/m³
- γ_{sat} (berat volume tanah jenuh air) : 2.40 t/m³
- γ_w (berat volume air) : 0.981 t/m³
- γ' (berat volume tanah terendam air) : $\gamma_{sat} - \gamma_w = 1.419$ t/m³
- ϕ (sudut gesek dalam tanah) : 39.75 °
- δ (sudut gesek antara dinding dan tanah) : 0 °
- α (sudut kemiringan dinding penahan) : 90 °
- β (sudut kemiringan permukaan tanah urug) : 0 °
- H₁ (tinggi tanah belakang dinding) : 7.6 m
- H₂ (tinggi tanah depan dinding) : 0.85 m

Perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah kantilever tersebut meliputi:

- a. Berat dinding penahan tanah kantilever (untuk W_{c1}) :
 - Perhitungan gaya

$$Wc_1 = \text{Luas} \times 1 \text{ meter panjang} \times \gamma \text{ dinding}$$

$$= (0,25 \times 7.6 \times 0.5) \times 1 \times 2.4$$

$$= 2.280 \text{ ton (gaya vertikal)}$$

- Penentuan lengan momen

Lengan momen diperoleh dari jarak antara titik tinjau x ke titik berat gaya Wc_1 , maka diperoleh jarak 2.080 m.

- Perhitungan momen

$$M = \text{Gaya} \times \text{Lengan momen}$$

$$= 2.280 \times 2.080$$

$$= 4.742 \text{ ton.m}$$

- b. Perhitungan berat tanah (untuk Ws_1) :

$$Ws_1 = \text{Luas} \times 1 \text{ meter panjang} \times \gamma'$$

$$= (3.070 \times 7.6 \times 1) \times 1 \times 1.419$$

$$= 33.108 \text{ ton (gaya vertikal)}$$

- Penentuan lengan momen

Lengan momen diperoleh dari jarak antara titik tinjau x ke titik berat gaya Ws_1 , maka diperoleh jarak 4.420 m.

- Perhitungan momen

$$M = \text{Gaya} \times \text{Lengan momen}$$

$$= 33.108 \times 4.420$$

$$= 146.338 \text{ ton.m}$$

- c. Perhitungan tekanan tanah aktif pada dinding kantilever (untuk P_a) :

- Perhitungan gaya

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left(1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\varphi - \delta) \sin(\varphi + \beta)} \right)^2}$$

$$K_a = \frac{\sin^2(90 + 39.75)}{\sin^2 90 \sin(90 - 0) \left(1 + \frac{\sin(39.75 + 0) \sin(39.75 - 0)}{\sin(39.75 - 0) \sin(39.75 + 0)} \right)^2}$$

$$K_a = 0.220$$

$$P_a = 0.5 H_1^2 \gamma' K_a$$

$$P_a = 0.5 \times 8.5^2 \times 1.419 \times 0.220$$

$$P_a = 11.274 \text{ ton (gaya horisontal)}$$



▪ Penentuan lengan momen

Lengan momen diperoleh dari jarak antara titik tinjau x ke titik berat gaya P_a , maka diperoleh jarak 2.830 m.

▪ Perhitungan momen

$$M = \text{Gaya} \times \text{Lengan momen}$$

$$= 11.274 \times 2.830$$

$$= 31.905 \text{ ton.m}$$

d. Perhitungan tekanan tanah pasif pada dinding kantilever (untuk P_p):

▪ Perhitungan gaya

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left(1 - \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)} \right)^2}$$

$$K_p = \frac{\sin^2(90 - 39.75)}{\sin^2 90 \sin(90 + 0) \left(1 + \frac{\sin(39.75 + 0) \sin(39.75 + 0)}{\sin(39.75 + 0) \sin(39.75 + 0)} \right)^2}$$

$$K_p = -2.613$$

$$P_p = 0.5 H_1^2 \gamma' K_p$$

$$P_p = 0.5 \times 0.85^2 \times 1.419 \times -2.613$$

$$P_p = -2.331 \text{ ton (gaya horisontal)}$$

▪ Penentuan lengan momen

Lengan momen diperoleh dari jarak antara titik tinjau x ke titik berat gaya P_a , maka diperoleh jarak 0.3 m.

▪ Perhitungan momen

$$M = \text{Gaya} \times \text{Lengan momen}$$

$$= -2.331 \times 0.3$$

$$= -0.699 \text{ ton.m}$$

3. Perhitungan daya dukung pondasi

Perhitungan daya dukung pondasi akan dihitung menggunakan daya dukung pondasi teori Terzaghi (1943). Data-data yang diketahui sebagai berikut:

- B (lebar pondasi) : 5.95 m
- D_f (kedalaman pondasi) : 0.85 m
- γ' (berat volume tanah terendam air) : 1.419 t/m³
- c (kohesi tanah) : 4.12 t/m²



- ϕ (sudut gesek dalam tanah) : 39.75°
- N_c (hasil interpolasi berdasarkan nilai ϕ) : 21.973 (lihat Tabel 2.11)
- N_q (hasil interpolasi berdasarkan nilai ϕ) : 23.236 (lihat Tabel 2.11)
- N_γ (hasil interpolasi berdasarkan nilai ϕ) : 22.859 (lihat Tabel 2.11)

Berdasarkan data-data yang ada tersebut, maka perhitungan daya dukung pondasi teori Terzaghi (1943) dapat dihitung sebagai berikut:

$$q_u = (c \times N_c) + (D_f \times \gamma' \times N_q) + (0,5 \times \gamma' \times B \times N_\gamma)$$

$$q_u = (4.12 \times 21.973) + (0.85 \times 1.419 \times 23.236) + (0.5 \times 1.419 \times 5.95 \times 22.859)$$

$$q_u = 135.228 \text{ t/m}^2$$

4. Stabilitas dinding penahan tanah kantilever tanpa gempa

Stabilitas dinding penahan tanah kantilever tanpa gempa akan dihitung dengan tahapan sebagai berikut :

a. Kontrol stabilitas terhadap guling:

- Perhitungan momen vertikal (M_v)

$$\sum M_v = \sum M_x$$

$$\sum M_v = 219.138 \text{ ton.m}$$

- Perhitungan momen horisontal (M_h)

$$\sum M_v = \sum M_y$$

$$\sum M_v = 31.206 \text{ ton.m}$$

- Kontrol stabilitas terhadap guling

$$\text{Guling} = \frac{\sum M_v}{\sum M_h} > 1,5$$

$$\text{Guling} = \frac{219.138}{31.206} > 1,5$$

Guling = 7.02 > 1,5 (**Stabilitas terhadap guling aman**)

b. Kontrol stabilitas terhadap geser:

- Perhitungan gaya tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran ($\sum R_h$)

Data-data yang diketahui :

- f (koef. gesek dasar fondasi dan tanah dasar) = 0.55 (lihat Tabel 2.15)

- $\sum V$ (jumlah gaya-gaya vertikal) = 60.096 ton

$$\sum R_h = \sum V \times f$$

$$\sum R_h = 60.096 \times 0.55$$

$$\sum R_h = 33.053 \text{ ton}$$

- Perhitungan gaya horisontal ($\sum H$)

$$\sum H = \sum P_h$$

$$\sum H = 8.943 \text{ ton}$$

- Kontrol stabilitas terhadap geser

$$\text{Geser} = \frac{\sum R_h}{\sum H} > 1.5$$

$$\text{Geser} = \frac{33.053}{8.943} > 1.5$$

$$\text{Geser} = 3.70 > 1.5 \text{ (Stabilitas Terhadap Geser Aman)}$$

- c. Kontrol stabilitas terhadap daya dukung tanah:

- Kontrol terhadap eksentrisitas (e)

$$e = \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum M_v - \sum M_h}{\sum V} \right] < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{5.95}{2} - \left[\frac{219.138 - 31.206}{60.096} \right] < \frac{5.95}{6}$$

$$e = -0.152 < 0.992 \text{ (Stabilitas Terhadap Eksentrisitas Aman)}$$

- Kontrol terhadap tegangan ijin maksimum (σ maks) dan minimum tanah (σ min)

$$\sigma \text{ maks} = \frac{\sum V}{B} \times \left[1 + \frac{6 \times e}{B} \right] < q_u$$

$$\sigma \text{ maks} = \frac{60.096}{5.95} \times \left[1 + \frac{6 \times 0.992}{5.95} \right] < 135.228$$

$$\sigma \text{ maks} = 8.55 < 135.228 \text{ (Stabilitas Terhadap Tegangan Ijin Maks Aman)}$$

$$\sigma \text{ min} = \frac{\sum V}{B} \times \left[1 - \frac{6 \times e}{B} \right] < q_u$$

$$\sigma \text{ min} = \frac{60.096}{5.95} \times \left[1 - \frac{6 \times 0.992}{5.95} \right] < 135.228$$

$$\sigma \text{ min} = 11.65 < 135.228 \text{ (Stabilitas terhadap tegangan ijin min aman)}$$

Hasil perhitungan stabilitas dinding penahan tanah kantilever secara lengkap dapat di

lihat dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7
Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Lereng Cross STA 0+075, Cross STA 0+125, dan Cross STA 0+175 (Tanpa Gempa)

Notasi	Nilai										Gaya		Lengan Momen		Momen		
	Lebar		Tinggi		Panjang		Ratio			γ	Pv	Ph	x	y	Mx	My	
	(m)		(m)		(m)				(t/m^3)	(ton)	(ton)	(m)	(m)	(ton.m)	(ton.m)		
	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]		
Wc1	0.250	x	7.600	x	1.000	x	0.500			2.400	=	2.280		2.080		4.742	
Wc2	0.650	x	7.600	x	1.000	x	1.000			2.400	=	11.856		2.510		29.759	
Wc3	5.950	x	0.900	x	1.000	x	1.000			2.400	=	12.852		2.980		38.299	
Ws1	3.070	x	7.600	x	1.000	x	1.000			1.419	=	33.108		4.420		146.338	
Pa	Ka	x	0.500	x	H1	x	H1	x	V'								
	0.220	x	0.500	x	8.500	x	8.500	x	1.419				11.274		2.830		31.905
Pp	Kp	x	0.500	x	H2	x	H2	x	V'								
	4.547	x	0.500	x	0.850	x	0.850	x	1.419				-2.331		0.300		-0.699
TOTAL									ΣV			60.096		ΣMv		219.138	
									ΣH			8.943		ΣMh		31.206	
Angka keamanan terhadap guling dan geser kondisi tanpa gempa : SF Guling = $\Sigma M_v / \Sigma M_h$ = 219.138 / 31.206 = 7.02 > 1,5 Aman SF Geser = $\Sigma R_h / \Sigma H$ = 33.053 / 8.943 = 3.70 > 1,5 Aman Kontrol terhadap eksentrisitas dan daya dukung izin tanah : Eksentrisitas : B = 5.950 m e = -0.152 < B / 6 = 0.992 ya Aman $\Sigma R_h = \Sigma V \cdot f$ f = 0.6 Tegangan maksimum dan minimum yang terjadi di bawah dasar pondasi : Tegangan izin tanah = 135.23 ton/m ² Tegangan maks = 8.55 ton/m ² < Tegangan izin tanah , Aman Tegangan min = 11.65 ton/m ² < Tegangan izin tanah , Aman																	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018.

5. Stabilitas Dinding Penahan Tanah (DPT) Kantilever Akibat Gempa

Stabilitas dinding penahan tanah kantilever dengan gempa akan dihitung dengan tahapan sebagai berikut:

a. Perhitungan koefisien gempa (k):

Data-data yang diketahui untuk menghitung koefisien gempa (k):

- Z (koefisien zona gempa) = 0.8 (lihat Gambar 2.13)
- a_c (Percepatan dasar gempa) = 190 gal = 190 cm/dt² (lihat Tabel 2.7)
- v (faktor koreksi pengaruh jenis tanah) = 0.8
- g (percepatan gravitasi) = 9.81 cm/dt²

Berdasarkan data-data tersebut maka dapat dilakukan perhitungan koefisien gempa seperti berikut ini :

▪ Perhitungan percepatan gempa terkoreksi (a_d)

$$a_d = Z \times a_c \times v$$

$$a_d = 0.9 \times 190 \times 0.8$$

$$a_d = 121.6 \text{ cm/dt}^2$$

▪ Perhitungan koefisien gempa (k)

$$k = a_d / g$$

$$k = 121.6 / 9.81$$

$$k = 0.12$$

Dari hasil perhitungan koefisien gempa didapat nilai sebesar 0.12, nilai tersebut dimasukkan kedalam *software* GeoStudio 2012 untuk mengetahui stabilitas terhadap gempa serta perhitungan kontruksi dinding penahan tanah. Nilai dari koefisien gempa kemudian dikalikan dengan gaya berat konstruksi dinding penahan tanah kantilever, agar mendapatkan kontrol stabilitas terhadap gempa.

b. Kontrol stabilitas terhadap guling:

▪ Perhitungan momen vertikal (M_v)

$$\sum M_v = \sum M_x$$

$$\sum M_v = 155.362 \text{ ton.m}$$

▪ Perhitungan momen horisontal (M_h)

$$\sum M_h = \sum M_y$$

$$\sum M_h = 31.206 \text{ ton.m}$$

▪ Kontrol stabilitas terhadap guling

$$\text{Guling} = \frac{\sum M_v}{\sum M_h} > 1.25$$

$$\text{Guling} = \frac{155.362}{31.206} > 1.25$$

$$\text{Guling} = 4.98 > 1.25 \text{ (Stabilitas Terhadap Guling Aman)}$$

c. Kontrol stabilitas terhadap geser:

- Perhitungan gaya tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran ($\sum R_h$)

Data-data yang diketahui:

- f (koef. gesek dasar fondasi dan tanah dasar) = 0.55

- $\sum V$ (jumlah gaya-gaya vertikal) = 36.453 ton

$$\sum R_h = \sum V \times f$$

$$\sum R_h = 36.453 \times 0.55$$

$$\sum R_h = 20.005 \text{ ton}$$

- Perhitungan gaya horisontal ($\sum H$)

$$\sum H = \sum P_h$$

$$\sum H = 8.943 \text{ ton}$$

- Kontrol stabilitas terhadap geser

$$\text{Geser} = \frac{\sum R_h}{\sum H} > 1.25$$

$$\text{Geser} = \frac{20.005}{8.943} > 1.25$$

$$\text{Geser} = 2.24 > 1.25 \text{ (Stabilitas Terhadap Geser Aman)}$$

d. Kontrol stabilitas terhadap daya dukung tanah:

- Kontrol terhadap eksentrisitas (e)

$$e = \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum M_v - \sum M_h}{\sum V} \right] < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{5.95}{2} - \left[\frac{155.362 - 31.206}{36.453} \right] < \frac{5.95}{6}$$

$$e = -0.431 < 0.992 \text{ (Stabilitas Terhadap Eksentrisitas Aman)}$$

- Kontrol terhadap tegangan ijin maksimum (σ maks) dan minimum tanah (σ min)

$$\sigma \text{ maks} = \frac{\sum V}{B} \times \left[1 + \frac{6 \times e}{B} \right] < q_u$$

$$\sigma \text{ maks} = \frac{38.654}{5.95} \times \left[1 + \frac{6 \times 0.992}{5.95} \right] < 135.23$$

$$\sigma \text{ maks} = 3.46 < 135.228 \text{ (Stabilitas terhadap tegangan ijin maks aman)}$$

$$\sigma \text{ min} = \frac{\sum V}{B} \times \left[1 - \frac{6 \times e}{B} \right] < q_u$$



$$\sigma_{\min} = \frac{38.654}{5.95} \times \left[1 - \frac{6 \times 0.992}{5.95} \right] < 135.23$$

$$\sigma_{\min} = 8.79 < 135.228 \text{ (Stabilitas Terhadap Tegangan Ijin Min Aman)}$$

Hasil perhitungan stabilitas dinding penahan tanah kantilever secara lengkap dapat dilihat dalam Tabel 4.8.



Tabel 4.8
Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Lereng Cross STA 0+075, Cross STA 0+125, dan Cross STA 0+175 (Akibat Gempa)

Notasi	Nilai										Gaya		Lengan Momen		Momen			
	Lebar		Tinggi		Panjang		Ratio				γ	Pv	Ph	x	y	Mx	My	
	(m)		(m)		(m)						(t/m ³)	(ton)	(ton)	(m)	(m)	(ton.m)	(ton.m)	
	[1]		[2]		[3]		[4]				[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	
Wc1	0,250	x	7,600	x	1,000	x	0,500				2,400	=	0,283	2,080		0,588		
Wc2	0,650	x	7,600	x	1,000	x	1,000				2,400	=	1,470	2,510		3,689		
Wc3	5,950	x	0,900	x	1,000	x	1,000				2,400	=	1,593	2,980		4,747		
Wsi	3,070	x	7,600	x	1,000	x	1,000				1,419	=	33,108	4,420		146,338		
Pae	Ka	x	0,500	x	h ₁	x	h ₁	x	y'									
	0,220	x	0,500	x	8,500	x	8,500	x	1,419			=	11,274	2,830		31,905		
Ppe	Kp	x	0,500	x	h ₂	x	h ₂	x	y'									
	4,547	x	0,500	x	0,850	x	0,850	x	1,419			=	2,331	0,300		-0,699		
TOTAL											ΣV	36,453			ΣM_v	155,362		
											ΣH		8,943		ΣM_h		31,206	
<p>Angka keamanan terhadap guling dan geser kondisi tanpa gempa :</p> <p>SF Guling = $\Sigma M_v / \Sigma M_h$ = 155,362 / 31,206 = 4,98 > 1,25 Aman</p> <p>SF Geser = $\Sigma R_h / \Sigma H$ = 23,658 / 8,943 = 2,65 > 1,25 Aman</p> <p>Kontrol terhadap eksentrisitas dan daya dukung izin tanah :</p> <p>Eksentrisitas :</p> <p>B = 5,950 m</p> <p>e = -0,431 < B / 6 = 0,992 Aman</p> <p>$\Sigma R_h = \Sigma V \cdot f$</p> <p>f = 0,6</p> <p>Tegangan maksimum dan minimum yang terjadi di bawah dasar pondasi :</p> <p>Tegangan izin tanah = 135,23 ton/m²</p> <p>Tegangan maks = 3,46 ton/m² < Tegangan izin tanah , Aman</p> <p>Tegangan min = 8,79 ton/m² < Tegangan izin tanah , Aman</p>																		

Sumber: Hasil Perhitungan 2018.

4.5.2 Bored Pile

Selain penanganan lereng menggunakan dinding penahan tanah kantilever, sesuai dengan hasil analisis lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 pada kondisi Tanpa Gempa dan Akibat Gempa, maka alternatif lain yang direncanakan yakni *bored pile*. *Bored pile* tersebut dipasang sepanjang 108 m. Proses perhitungan *bored pile* akan dilakukan sebagai berikut:

1. Perhitungan dimensi *bored pile*.

Perhitungan dimensi *Bored Pile* dilakukan dengan cara coba-coba dengan melihat dari kondisi lereng dan juga kondisi material tanah.

■ Diameter *bore pile* (D)

$D = 0.8$ m (ditentukan sendiri)

■ Kedalaman *bore pile* (H)

Kedalaman dari *bored pile* yang dipakai pada *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 adalah 35 m, karena pada kedalaman tersebut tanah sudah termasuk tanah keras.

2. Jarak antara tiang *bored pile* (S)

- $S \geq 2,5 D$

- $S \geq 2,5 \times 0,8$

- $S \geq 2$

- $S = 2$ meter

- $S \geq 3 D$

- $S \geq 3 \times 0,8$

- $S \geq 2.4$

- $S = 2$ meter

Dari hasil perhitungan maka bisa diambil kesimpulan jarak antara tiang *bored pile* (S) adalah 2 m.

4.5.3 Pile Cap

Untuk mengikat beberapa *bored pile* menjadi satu kesatuan dalam suatu konstruksi maka diperlukan *pile cap*. Pemasangan *pile cap* pada studi ini dimulai dari *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 sepanjang 108 m. Proses perhitungan *bored pile* akan dilakukan sebagai berikut:



➤ Agar tidak terjadi penurunan yang berbeda-beda pada pondasi *bored pile*, digunakan *pile cap*. *Pile cap* direncanakan untuk menyalurkan gaya aksial dari kolom kepada *bore pile*.

- Panjang *pile cap* (memanjang) : 108 m
- Panjang *pile cap* (melintang) : 3.8 m
- Jumlah *bored pile* dalam satu *pile cap* : 10 *bored pile*
- Tinggi *pile cap* : 1 m

4.6. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

4.6.1 Perhitungan Volume *Bored Pile*

4.6.1.1 Volume Pekerjaan Galian Tanah

Untuk perhitungan volume pekerjaan galian tanah *bored pile* pada lereng *cross STA* 0+075, *cross STA* 0+125, dan *cross STA* 0+175. Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan galian tanah *bored pile*:

❖ *Cross STA* 0+075, *cross STA* 0+125, dan *cross STA* 0+175.

✓ *Bored pile*

Kedalaman galian tanah = 35 m

Jumlah galian tanah = 120 titik

Luas galian tanah = $\frac{1}{4} \times \pi d^2$
 = $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.8^2$
 = 0.5024 m²

Volume galian tanah = Kedalaman galian tanah × Jumlah galian tanah × Luas galian tanah
 = 35 m × 120 × 0.5024 m²
 = 2110.08 m³

Hasil perhitungan volume pekerjaan galian tanah *bored pile* secara lengkap tertera pada

Tabel 4.9. yakni sebagai berikut:

Tabel 4.9

Perhitungan Volume Pekerjaan Galian Tanah *Bored Pile*

Lokasi	Perhitungan
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Kedalaman galian tanah = 35 m
	Jumlah galian tanah = 120 titik
	Luas galian tanah = 0.5024 m ²
	Volume galian tanah = 2110.08 m ³

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



4.6.1.2 Volume Pekerjaan Pembesian

Untuk perhitungan volume pekerjaan pembesian *bored pile* pada lereng *cross STA 0+075*, *cross STA 0+125*, dan *cross STA 0+175*. Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan pembesian *bored pile*:

❖ *Cross STA 0+075*, *cross STA 0+125*, dan *cross STA 0+175*.

✓ *Bored Pile*

Berat jenis baja = 7850 kg/m³

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } (\phi 25) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.025^2 \\ &= 0.000491 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } (\phi 10) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.010^2 \\ &= 0.000079 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Pembesian memanjang = Panjang × Luas Penampang × Berat Jenis Baja

$$\begin{aligned} \text{Tulangan pokok } (\phi 25) &= 80640.00 \text{ m} \times 0.000491 \text{ m}^2 \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 310577.40 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan bagi } (\phi 10) &= 40320.00 \text{ m} \times 0.000079 \text{ m}^2 \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 24846.19 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total volume pembesian} &= \text{Pokok } (\phi 25) + \text{Tulangan Bagi } (\phi 10) \\ &= 310577.40 \text{ kg} + 24846.19 \text{ kg} \\ &= 335423.59 \text{ kg} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume pekerjaan pembesian *bored pile* secara lengkap tertera pada

Tabel 4.10. yakni sebagai berikut:

Tabel 4.10
Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Tanah *Bored Pile*

Lokasi	Perhitungan			
	<i>Bored Pile</i>			
	Berat Jenis Baja	=	7850 kg/m ³	
	Luas Penampang (φ25)	=	0.000491 m ²	
	Luas Penampang (φ10)	=	0.000079 m ²	
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Pembesian Memanjang	=	Panjang	x Luas Penampang x Berat Jenis baja
	Tulangan Pokok (φ25)	=	80640.00 m	x 0.000491 kg/m ² x 7850 kg/m ³ = 310577.40 kg
	Tulangan Bagi (φ10)	=	40320.00 m	x 0.000079 m ² x 7850 kg/m ³ = 24846.19 kg
	Total Volume Pembesian	=	335423.59 kg	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



4.6.1.3 Volume Pekerjaan Pembetonan

Untuk perhitungan volume pekerjaan pembetonan *bored pile* pada lereng *cross STA* 0+075, *cross STA* 0+125, dan *cross STA* 0+175. Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan pembetonan *bored pile*:

- ❖ *Cross STA* 0+075, *cross STA* 0+125, dan *cross STA* 0+175.

- ✓ *Bored pile*

Kedalaman pembetonan = 35 m

Jumlah pembetonan = 120 titik

Luas pembetonan = $\frac{1}{4} \times \pi d^2$

= $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.8^2$

= 2110.08 m²

Volume pembetonan = Kedalaman pembetonan × Jumlah pembetonan × Luas pembetonan

= 35 m × 120 × 0.5024 m²

= 2110.08 m³

Hasil perhitungan volume pekerjaan pembetonan *bored pile* secara lengkap tertera pada

Tabel 4.11. yakni sebagai berikut:

Tabel 4.11

Perhitungan Volume Pekerjaan Pembetonan *Bored Pile*

Lokasi	Perhitungan		
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Kedalaman pembetonan	=	35 m
	Jumlah pembetonan	=	120 titik
	Luas pembetonan	=	0.5024 m ²
	Volume pembetonan	=	2110.08 m ³

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.6.2 Perhitungan Volume Dinding Penahan Tanah Kantilever

4.6.2.1 Volume Pekerjaan Galian Tanah

Untuk perhitungan volume pekerjaan galian tanah dinding penahan tanah kantilever pada lereng *cross STA* 0+075, *cross STA* 0+125, dan *cross STA* 0+175. Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan galian tanah dinding penahan tanah kantilever:

- ❖ *Cross STA* 0+075, *cross STA* 0+125, dan *cross STA* 0+175.

- ✓ Dinding Tanah

Luas galian tanah = $\frac{\text{Lebar atas} + \text{Lebar bawah}}{2} \times \text{Tinggi dinding tanah}$



$$= \frac{0.75 \text{ m} + 0.85 \text{ m}}{2} \times 7.6 \text{ m}$$

$$= 6.08 \text{ m}^2$$

✓ Pondasi Dinding Tanah

Luas galian tanah = Lebar × Tinggi

$$= 5.95 \text{ m} \times 0.85$$

$$= 5.06 \text{ m}^2$$

Volume pekerjaan galian tanah = (Luas dinding tanah + Luas pondasi dinding Tanah) × Panjang galian

$$= (6.08 \text{ m}^2 + 5.06 \text{ m}^2) \times 108 \text{ m}$$

$$= 1203.12 \text{ m}^3$$

Hasil perhitungan volume pekerjaan galian tanah dinding kantilever secara lengkap tertera pada Tabel 4.12. yakni sebagai berikut:

Tabel 4.12
Perhitungan Volume Pekerjaan Galian Dinding Penahan Tanah Kantilever

Lokasi	Perhitungan		
STA 0+075,	Panjang galian tanah	=	108 m
STA 0+125 &	Luas galian tanah	=	11.14 m ²
STA 0+175	Volume galian tanah	=	1203.12 m ³

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.6.2.2 Volume Pekerjaan Pembesian

Untuk perhitungan volume pekerjaan pembesian dinding penahan tanah kantilever pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175. Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan pembesian dinding penahan tanah kantilever:

❖ *Cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

Berat jenis baja = 7850 kg/m³

Panjang = 107 m

Luas penampang (φ 16)

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.016^2$$

$$= 0.000201 \text{ m}^2$$

Luas penampang (φ 13)

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.013^2$$



$$= 0.000133 \text{ m}^2$$

Pembesian memanjang = Panjang \times Luas Penampang \times Berat Jenis Baja

Tulangan pokok (ϕ 16) = $14953.25 \text{ m} \times 0.000201 \text{ m}^2 \times 7850 \text{ kg/m}^3$

$$= 23589.29 \text{ kg}$$

Tulangan bagi (ϕ 13) = $19474.00 \text{ m} \times 0.000133 \text{ m}^2 \times 7850 \text{ kg/m}^3$

$$= 20280.62 \text{ kg}$$

Total volume pembesian = 43869.91 kg

Hasil perhitungan volume pekerjaan pembesian dinding kantilever secara lengkap tertera pada Tabel 4.13, yakni sebagai berikut:

Tabel 4.13 Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Penahan Tanah Kantilever

Lokasi	Perhitungan						
	Dinding Penahan Tanah Kantilever						
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Berat Jenis Baja	=	7850 kg/m ³				
	Luas Penampang (ϕ 25)	=	0.000201 m ²				
	Luas Penampang (ϕ 10)	=	0.000133 m ²				
	Pembesian Memanjang	=	Panjang	x	Luas Penampang	x	Berat Jenis baja
	Tulangan Pokok (ϕ 25)	=	14953.25 m	x	0.000201 m ²	x	7850 kg/m ³ = 23589.29 kg
	Tulangan Bagi (ϕ 10)	=	19474.00 m	x	0.000133 m ²	x	7850 kg/m ³ = 20280.62 kg
	Total Volume Pembesian	=	43869.91 kg				

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.6.2.3 Volume Pekerjaan Pembetonan

Untuk perhitungan volume pekerjaan pembetonan dinding penahan tanah kantilever pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175. Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan pembetonan dinding penahan tanah kantilever:

❖ *Cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

- Dinding Tanah

$$\text{Luas pembetonan} = \frac{\text{Lebar atas} + \text{Lebar bawah}}{2} \times \text{Tinggi dinding tanah}$$

$$= \frac{0.75 \text{ m} + 0.85 \text{ m}}{2} \times 7.6 \text{ m}$$

$$= 6.08 \text{ m}^2$$

- Pondasi Dinding Tanah

$$\text{Luas pembetonan} = \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

$$= 5.95 \text{ m} \times 0.85$$

$$= 5.06 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume pembetonan} = (\text{Luas dinding tanah} + \text{Luas pondasi dinding})$$



$$\begin{aligned} & \text{Tanah}) \times \text{Panjang pembetonan} \\ & = (6.08 \text{ m}^2 + 5.06 \text{ m}^2) \times 108 \text{ m} \\ & = 1203.12 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume pekerjaan pembetonan dinding kantilever secara lengkap tertera pada Tabel 4.14. yakni sebagai berikut:

Tabel 4.14
Perhitungan Volume Pekerjaan Pembetonan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Lokasi	Perhitungan	
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Dinding Tanah	
	Luas pembetonan	= 6.08 m ²
	Pondasi Dinding Tanah	
	Luas pembetonan	= 5.06 m ²
	Panjang pembetonan	= 108 m
	Volume pekerjaan pembetonan	= 1203.12 m ³

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.6.2.4 Volume Pekerjaan Timbunan

Untuk perhitungan volume pekerjaan timbunan dinding penahan tanah kantilever pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175. Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan timbunan dinding penahan tanah kantilever:

❖ *Cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

$$\begin{aligned} \text{Panjang timbunan tanah} & = 108 \text{ m} \\ \text{Luas timbunan tanah} & = 23.37 \text{ m}^2 \\ \text{Volume timbunan tanah} & = \text{Panjang galian tanah} \times \text{Luas timbunan tanah} \\ & = 108 \text{ m} \times 23.37 \text{ m}^2 \\ & = 2523.96 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume pekerjaan galian tanah dinding kantilever secara lengkap tertera pada Tabel 4.15. yakni sebagai berikut:

Tabel 4.15
Perhitungan Volume Pekerjaan Timbunan Dinding Penahan Tanah Kantilever.

Lokasi	Perhitungan	
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Panjang timbunan	= 108 m
	Luas timbunan tanah	= 23.37 m ²
	Volume timbunan tanah	= 2523.96 m ³

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



4.6.3 Perhitungan Volume Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Bored Pile

4.6.3.1 Volume Pekerjaan Galian Tanah

Untuk perhitungan volume pekerjaan galian dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175. Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan galian dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*:

❖ *Cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

✓ Dinding denahan tanah kantilever

✓ Dinding Tanah

$$\begin{aligned} \text{Luas galian} &= \frac{\text{Lebar atas} + \text{Lebar bawah}}{2} \times \text{Tinggi dinding tanah} \\ &= \frac{0.75 \text{ m} + 0.85 \text{ m}}{2} \times 7.6 \text{ m} \\ &= 6.08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

✓ Pondasi Dinding Tanah

$$\begin{aligned} \text{Luas galian} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\ &= 5.95 \text{ m} \times 0.85 \\ &= 5.06 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume galian tanah} &= (\text{Luas dinding tanah} + \text{Luas pondasi dinding} \\ &\quad \text{Tanah}) \times \text{Panjang pembetonan} \\ &= (6.08 \text{ m}^2 + 5.06 \text{ m}^2) \times 108 \text{ m} \\ &= 1203.120 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

✓ *Bored pile*

$$\text{Kedalaman galian tanah} = 26.5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah galian tanah} = 120 \text{ titik}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas galian tanah} &= \frac{1}{4} \times \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.8^2 \\ &= 0.5024 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume galian tanah} &= \text{Kedalaman galian tanah} \times \text{Jumlah galian tanah} \times \\ &\quad \text{Luas galian tanah} \\ &= 26.5 \text{ m} \times 120 \times 0.5024 \text{ m}^2 \\ &= 1597.632 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total volume pekerjaan galian tanah} &= \text{V. galian tanah dinding penahan tanah kantilever} + \\ &\quad \text{V. galian tanah } \textit{bored pile} \\ &= 1203.120 \text{ m}^3 + 1597.632 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



Hasil perhitungan volume pekerjaan galian dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* secara lengkap tertera pada Tabel 4.16, yakni sebagai berikut:

Tabel 4.16 Perhitungan Volume Pekerjaan Galian Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile*

Lokasi	Perhitungan	
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	<i>Dinding Penahan Tanah Kantilever</i>	
	Panjang galian tanah	= 108 m
	Luas galian tanah	= 11.14 m ²
	Volume galian tanah	= 1203.12 m ³
	<i>Bored Pile</i>	
Kedalaman galian tanah	= 26,5 m	
Jumlah galian tanah	= 120 titik	
Luas galian tanah	= 0.5024 m ²	
Volume galian tanah	= 2110.08 m ³	
Total volume pekerjaan galian tanah		= 2800,752 m ³

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.6.3.2 Volume Pekerjaan Pembesian

Untuk perhitungan volume pekerjaan pembesian dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan pembesian dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*:

❖ *Cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

✓ Dinding Penahan Tanah Kantilever

Berat jenis baja = 7850 kg/m³

Panjang = 107 m

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } (\phi 16) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.016^2 \\ &= 0.000201 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } (\phi 13) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.013^2 \\ &= 0.000133 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Pembesian memanjang = Panjang \times Luas penampang \times Berat jenis Baja

$$\begin{aligned} \text{Tulangan pokok } (\phi 16) &= 14953.25 \text{ m} \times 0.000201 \text{ m}^2 \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 23589.29 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan bagi } (\phi 13) &= 19474.00 \text{ m} \times 0.000133 \text{ m}^2 \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 20280.62 \text{ kg} \end{aligned}$$

Total volume pembesian = 43869.91 kg

✓ *Bored pile*

$$\text{Berat jenis baja} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } (\phi 25) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.025^2 \\ &= 0.000491 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } (\phi 10) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.010^2 \\ &= 0.000079 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Pembesian memanjang = Panjang \times Luas Penampang \times Berat Jenis Baja

$$\begin{aligned} \text{Tulangan pokok } (\phi 25) &= 80640.00 \text{ m} \times 0.000491 \text{ m}^2 \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 310577.40 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan bagi } (\phi 10) &= 40320.00 \text{ m} \times 0.000079 \text{ m}^2 \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 24846.19 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total volume pembesian} &= \text{Pokok } (\phi 25) + \text{Tulangan Bagi } (\phi 10) \\ &= 310577.40 \text{ kg} + 24846.19 \text{ kg} \\ &= 335423.59 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total volume pembesian} &= V. \text{ galian tanah dinding penahan tanah kantilever} + \\ &\quad V. \text{ galian tanah } \textit{bored pile} \\ &= 43869.91 \text{ kg} + 335423.59 \text{ kg} \\ &= 379293.50 \text{ kg} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume pekerjaan pembesian dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* secara lengkap tertera pada Tabel 4.17. yakni sebagai berikut:



Tabel 4.17
Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Bored Pile

Lokasi	Perhitungan						
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Dinding Penahan Tanah Kantilever						
	Berat jenis baja	=	7850 kg/m ²				
	Luas penampang (φ25)	=	0.000201 m ²				
	Luas penampang (φ10)	=	0.000133 m ²				
	Pembesian memanjang	=	Panjang	x	Luas penampang	x	Berat jenis baja
	Tulangan pokok (φ25)	=	14953.25 m	x	0.000201 m ²	x	7850 kg/m ² = 23589.29 kg
	Tulangan bagi (φ10)	=	19474.00 m	x	0.000133 m ²	x	7850 kg/m ² = 20280.62 kg
	volume pembesian	=	43869.91 kg				
	Bored Pile						
	Berat jenis baja	=	7850 kg/m ²				
	Luas penampang (φ25)	=	0.000491 m ²				
	Luas penampang (φ10)	=	0.000079 m ²				
	Pembesian memanjang	=	Panjang	x	Luas penampang	x	Berat jenis baja
	Tulangan pokok (φ25)	=	80640.00 m	x	0.000491 m ²	x	7850 kg/m ² = 310577.40 kg
Tulangan bagi (φ10)	=	40320.00 m	x	0.000079 m ²	x	7850 kg/m ² = 24846.19 kg	
volume pembesian	=	335423.59 kg					
Total volume pembesian	=	379293.50 kg					

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.6.3.3 Volume Pekerjaan Pembetonan

Untuk perhitungan volume pekerjaan pembetonan dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan pembetonan dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*:

❖ *Cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

➤ Dinding penahan tanah kantilever

✓ Dinding tanah

$$\begin{aligned} \text{Luas pembetonan} &= \frac{\text{Lebar atas} + \text{Lebar bawah}}{2} \times \text{Tinggi dinding tanah} \\ &= \frac{0.75 \text{ m} + 0.85 \text{ m}}{2} \times 7.6 \text{ m} \\ &= 6.08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

✓ Pondasi dinding tanah

$$\begin{aligned} \text{Luas pembetonan} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\ &= 5.95 \text{ m} \times 0.85 \\ &= 5.06 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Volume pembetonan} = (\text{Luas dinding tanah} + \text{Luas pondasi dinding Tanah})$$

$$\times \text{Panjang pembetonan}$$

$$= (6.08 \text{ m}^2 + 5.06 \text{ m}^2) \times 108 \text{ m}$$

$$= 1203.12 \text{ m}^3$$

► *Bored pile*

$$\text{Kedalaman pembetonan} = 26.5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah pembetonan} = 120 \text{ titik}$$

$$\text{Luas pembetonan} = \frac{1}{4} \times \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.8^2$$

$$= 2110.08 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume pembetonan} = \text{Kedalaman pembetonan} \times \text{Jumlah pembetonan} \times$$

$$\text{Luas pembetonan}$$

$$= 26.5 \text{ m} \times 120 \times 0.5024 \text{ m}^2$$

$$= 1597.632 \text{ m}^3$$

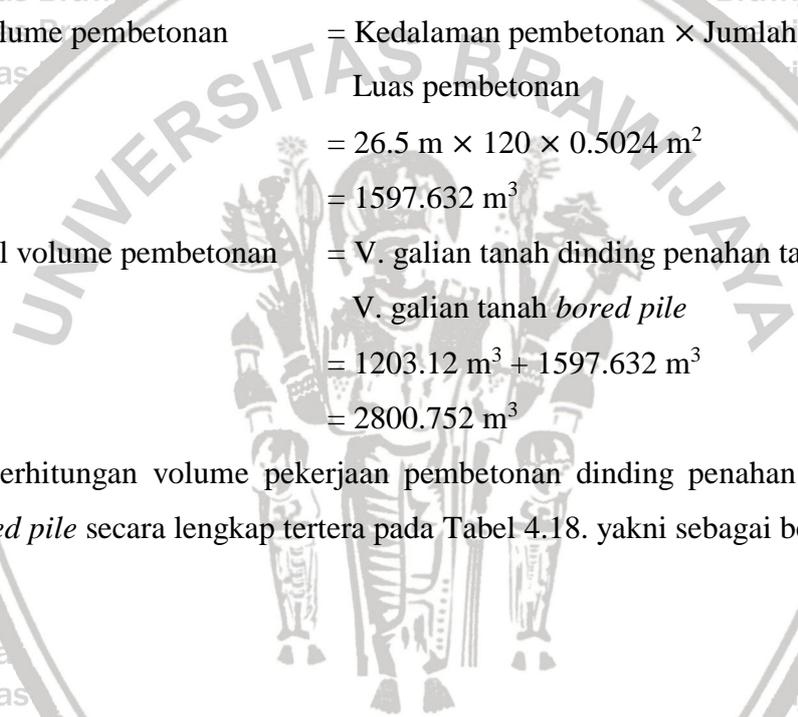
$$\text{Total volume pembetonan} = \text{V. galian tanah dinding penahan tanah kantilever} +$$

$$\text{V. galian tanah bored pile}$$

$$= 1203.12 \text{ m}^3 + 1597.632 \text{ m}^3$$

$$= 2800.752 \text{ m}^3$$

Hasil perhitungan volume pekerjaan pembetonan dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* secara lengkap tertera pada Tabel 4.18. yakni sebagai berikut:



Tabel 4.18
Perhitungan Volume Pekerjaan Pembetonan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Bored Pile

Lokasi	Perhitungan		
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Dinding Penahan Tanah Kantilever		
	Panjang pembetonan	=	108 m
	Luas pembetonan	=	11.14 m ²
	Volume pembetonan	=	1203.12 m ³
	Bored Pile		
	Kedalaman pembetonan	=	26.5 m
	Jumlah pembetonan	=	120 titik
	Luas pembetonan	=	0.5024 m ²
	Volume pembetonan	=	2110.08 m ³
	Total volume pekerjaan pembetonan		=

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.6.3.4 Volume Pekerjaan Timbunan

Untuk perhitungan volume pekerjaan timbunan dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* pada lereng *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175.

Berikut contoh perhitungan volume pekerjaan timbunan dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*:

- ❖ *Cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175

Panjang timbunan tanah = 108 m

Luas timbunan tanah = 23.37 m²

Volume timbunan tanah = Panjang galian tanah × Luas timbunan tanah

= 108 m × 23.37 m²

= 2523.96 m³

Hasil perhitungan volume pekerjaan galian tanah dinding kantilever secara lengkap tertera pada Tabel 4.19, yakni sebagai berikut:

Tabel 4.19
Perhitungan Volume Pekerjaan Timbunan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Bored Pile.

Lokasi	Perhitungan		
STA 0+075, STA 0+125 & STA 0+175	Panjang timbunan	=	108 m
	Luas timbunan tanah	=	23.37 m ²
	Volume timbunan tanah	=	2523.96 m ³

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



4.7 Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Sebelum mendapatkan Reencana Anggaran Biaya (RAB), diperlukan perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) berdasarkan data *basic price* atau Harga Satuan Dasar (HSD) untuk upah, alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pekerjaan yang akan dilaksanakan. Pada perencanaan studi ini perbaikan tanah menggunakan beberapa alternatif yakni, alternatif 1 (satu), alternatif 2 (dua) dan alternatif 3 (tiga). Berikut perhitungan analisis harga satuan pekerjaan dalam studi ini:

4.7.1. Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan *Bored Pile*

4.7.1.1. Perhitungan Biaya Galian

❖ Biaya galian (galian tanah > 4 m)

a. Upah

Pekerja koef. 0.375 OH

Harga satuan Rp. 68.400,00

Mandor koef. 0.0375 OH

Harga satuan Rp. 112350,00

b. Bahan

-

c. Peralatan

Rotary Driling koef. 0.1300/Sewa-hari

Harga satuan Rp. 698.875,00

Excavator/Backhoe, 0.7 m³ koef. 0.0216/Sewa-hari

Harga satuan Rp. 450.250,00

Dump Truk, 10 Ton koef. 0.0255/Sewa-hari

Harga satuan Rp. 150.605,00

d. Jumlah

Harga upah pekerja Kota Trenggalek = Pekerja koef × Harga satuan

$$= 0.375 \text{ OH} \times \text{Rp. } 68.400,00$$

$$= \text{Rp. } 25.650,00$$

Harga upah mandor Kota Trenggalek = Pekerja koef × Harga satuan

$$= 0.0375 \text{ OH} \times \text{Rp. } 112.350,00$$

$$= \text{Rp. } 4.213,13$$

Harga peralatan = Rotary Driling × Harga satuan

4.7.1.2 Perhitungan Biaya Pembesian

Tabel 4.21

Perhitungan Biaya Pekerjaan Pembesian *Bored Pile*

Pekerjaan	=	Perencanaan <i>Bored Pile</i>			
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000			
Item Pekerjaan	=	Pembesian Ulir			
Harga Satuan	=	Rp. 33.168,00/ kg			
Basis Produksi	=	100 kg			
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A					
Upah					
1	Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
	Tukang Las	OH	0,700	89.700,00	62.790,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total I					126.514,50
B					
Bahan					
2	Besi Beton Ulir	kg	105,000	27.000,00	2.835.000,00
	Kawat Bendrat / Ikat	kg	0,15	21.500,00	3.225,00
Sub Total II					2.838.225,00
C					
Peralatan					
3	Mesin Pemotong Besi	Sewa-hari	0,0100	19.085,00	190.850,00
	Truck Flat Bed, 4 ton	Sewa-hari	0,1500	260.785,00	39.117,750
	Crane Truck Hydraulik, 15 ton	Sewa-hari	0,0165	681.440,00	11.243,760
Sub Total III					50.243,36
D	Total Biaya Langsung			(A + B + C)	3.015.291,86
E	PPn (10%)			(D * 10%)	301.529,19
F	Total Biaya Proyek			(D + E)	3.316.821,00
G	Dibulatkan				3.316.800,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.1.3 Perhitungan Biaya Pembetonan

Tabel 4.22

Perhitungan Biaya Pekerjaan Pembetonan *Bored Pile*

Pekerjaan		Perencanaan <i>Bored Pile</i>			
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000			
Item Pekerjaan	=	Pembetonan			
Harga Satuan	=	Rp. 2.350.100,00 / m ³			
Basis Produksi	=	1.00 m ³			
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A	Pengecoran / Pembetonan				
	Upah Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
1	Tukang Kayu	OH	0,275	94.800,00	26.070,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total I					89.794,50
B	Bahan				
2	Pasir Beton / Cor	m ³	0,470	199.600,00	93.812,00
	Semen Portland 50 kg	zak	6,826	240.800,00	1.643.700,80
Sub Total II					1.737.512,80
C	Peralatan				
3	Car Mix, 5 m ³ /jam	m ³	0,050	406.210,00	20.310,50
	Concrete Pump Truck, 30 m ³ /jam	m ³	0,042	190.765,00	7.954,90
	Concrete Vibrator, 45 mm	zak	0,100	17.345,00	1.734,50
	Concrete batching plant 40 m ³	kg	0,025	458.785,00	11.469,63
Sub Total III					41.469,53
D	Begeasting & Perancah				
	Upah Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
4	Tukang Kayu	OH	0,275	94.800,00	26.070,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total IV					89.794,50
E	Bahan				
5	Kayu Meranti	m ³	0,040	4.177.000,00	167.080,00
	Paku Usuk	kg	0,400	27.500,00	11.000,00
Sub Total V					178.080,00
F	Total Biaya Langsung	(A + B + C + D + E)			2.136.651,33
G	PPn (10%)	(F * 10%)			213.665,13
H	Total Biaya Proyek	(F + G)			2.350.316,00
I	Dibulatkan				2.350.300,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.1.4 Perhitungan Daftar Harga Satuan Pekerjaan *Bored Pile*

Tabel 4.23

Perhitungan Daftar Harga Satuan Pekerjaan *Bored Pile*

Pekerjaan	=	Perencanaan <i>Bored Pile</i>		
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712-17+000		
No		Uraian Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan (Rp.)
A		<i>Bored Pile</i>		
1		Pekerjaan Tanah Galian Tanah > 4 m	m ³	148.500,00
2		Pekerjaan Pembesian Pembesian Ulir	kg	33.168,00
3		Pekerjaan Pembetonan Pembetonan <i>Bored Pile & Pile Cap</i>	kg	2.350.100,00

Sumber; Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.1.5 Perhitungan Daftar Kuantitas dan Harga Satuan Pekerjaan *Bored Pile*

Tabel 4.24

Perhitungan Daftar Kuantitas dan Harga Satuan Pekerjaan Timbunan *Bored Pile*

Pekerjaan	=	Perencanaan <i>Bored Pile</i>				
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712-17+000				
No		Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Harga Satuan (Rp.)
A		<i>Bored Pile & Pile Cap</i>				
1		Pekerjaan Tanah Galian Tanah > 4 m	m ³	2.110,08	Rp 148.500,00	Rp 313.346.880,00
Sub Total I						Rp 313.346.880,00
2		Pekerjaan Pembesian Pembesian Polos	kg	337.457,98	Rp 33.168,00	Rp 11.192.806.280,64
Sub Total II						Rp 11.192.806.280,64
3		Pekerjaan Pembetonan Pembetonan <i>Bored Pile</i> Termasuk Bekisting dan Perancah	kg	2.110,08	Rp 2.350.100,00	Rp 4.958.899.008,00
Sub Total III						Rp 4.958.899.008,00
Total Biaya Langsung					(1 + 2 + 3)	Rp 16.465.052.168,64
Ppn 10%						Rp 1.646.505.216,86
Total Biaya Proyek						Rp 18.111.557.386,00
Dibulatkan						Rp 18.111.500.000,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



4.7.1.6 Perhitungan Rekapitulasi Daftar Kuantitas dan Harga Pekerjaan *Bored Pile*

Tabel 4.25
Perhitungan Rekapitulasi Daftar dan Harga Pekerjaan *Bored Pile*

Pekerjaan	=	Perencanaan <i>Bored Pile</i>	
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712-17+000	
Sumber Dana	=	APBN	
Nilai Pekerjaan	=	Rp. 27.952.500.000,00	
No	Uraian Pekerjaan		Harga Pekerjaan (Rp.)
A			
1	Pekerjaan <i>Bored Pile</i>		Rp. 16.465.052.168,64
B	Jumlah Total Keseluruhan	(A)	Rp. 16.465.052.168,64
C	PPn (10%)	(B * 10%)	Rp. 1.646.505.216,86
D	Total Biaya Proyek	(A + B)	Rp. 18.111.557.386,00
E	Dibulatkan		Rp. 18.111.500.000,00
TERBILANG:			
DELAPAN BELAS MILYAR SERATUS SEBELAS JUTA LIMA RATUS RIBURUPIAH			

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.2 Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

4.7.2.1 Perhitungan Biaya Galian

Tabel 4.26
Perhitungan Biaya Pekerjaan Galian Dinding Penahan Tanah Kantilever

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever			
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000			
Item Pekerjaan	=	Galian Tanah			
Harga Satuan	=	Rp. 47.800,00 / m ³			
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A					
1	Upah Pekerja	OH	0,375	68.400,00	25.650,00
	Mandor	OH	0,0375	112.350,00	4.213,13
Sub Total I					29.863,13
B					
2	Bahan	-	-	-	-
Sub Total II					-
C					
3	Peralatan				
	Excavator/Backhoe, 1.2 m ³	Sewa-hari	0,0216	450.255,00	9.725,51
	Dump Truck, 10 Ton	Sewa-hari	0,0255	190.605,00	4.860,43
Sub Total III					14.585,94
D	Total Biaya Langsung	(A + B + C)			44.449,06
E	PPn (10%)	(D * 10%)			4.444,91
F	Total Biaya Proyek	(D + E)			48.893,97
G	Dibulatkan				48.800,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



4.7.2.2 Perhitungan Biaya Pembesian Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.27
Perhitungan Biaya Pekerjaan Pembesian Dinding Penahan Tanah Kantilever

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever			
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000			
Item Pekerjaan	=	Pembesian Ulir			
Harga Satuan	=	Rp. 33,168.00 / kg			
Basis Produksi	=	100 kg			
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A					
Upah					
1	Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
	Tukang Besi	OH	0,700	89.700,00	62.790,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total I					126.514,50
B					
Bahan					
2	Besi Beton Ulir	kg	105	27.000,00	2.835.000,00
	Kawat Bendrat / Ikat	kg	0,15	21.500,00	3.225,00
Sub Total II					2.838.225,00
C					
Peralatan					
3	Mesin Pemotong Besi	Sewa-hari	0,0100	19.085,00	190,850
	Truck Flat Bed, 4 ton	Sewa-hari	0,1500	260.785,00	39.117,750
	Crane Truck Hydraulik, 15 ton	Sewa-hari	0,0165	681.440,00	11.243,760
Sub Total III					50.552,360
D	Total Biaya Langsung			(A + B + C)	3,015,291,86
E	PPn (10%)			(D * 10%)	301,529,19
F	Total Biaya Proyek			(D + E)	3,316,861,05
G	Dibulatkan				3,316,800,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



4.7.2.3 Perhitungan Biaya Pembetonan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.28

Perhitungan Biaya Pekerjaan Pembetonan Dinding Penahan Tanah Kantilever

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A Pengecoran / Pembetonan					
Upah					
1	Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
	Tukang Kayu	OH	0,275	94.800,00	26.070,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total I					89.794,50
B					
2	Bahan				
	Pasir Beton / Cor	m ³	0,470	199.600,00	93.812,00
	Semen Portland 50 kg	zak	6,826	240.800,00	1.643.580,40
Sub Total II					1.737.392,40
C					
3	Peralatan				
	Car Mix, 5 m ³ /jam	m ³	0,050	406.210,00	20.310,50
	Concrete Pump Truck, 30 m ³ /jam	m ³	0,042	190.765,00	7.954,90
	Concrete Vibrator, 45 mm	zak	0,100	17.345,00	1.734,50
	Concrete batching plant 40 m ³	kg	0,025	458.785,00	11.469,63
Sub Total III					41.469,53
D Begesting & Perancah					
Upah					
4	Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
	Tukang Kayu	OH	0,275	94.800,00	26.070,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total IV					89.794,50
E					
5	Bahan				
	Kayu Meranti	m ³	0,040	4.177.000,00	167.080,00
	Paku Usuk	kg	0,400	27.500,00	11.000,00
Sub Total V					178.080,00
F	Total Biaya Langsung	(A + B + C + D + E)			2.136.530,93
G	PPn (10%)	(F * 10%)			213.653,09
H	Total Biaya Proyek	(F + G)			2.350.184,00
I	Dibulatkan				2.350.100,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.2.4 Perhitungan Biaya Timbunan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.29

Perhitungan Biaya Pekerjaan Timbunan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever			
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000			
Item Pekerjaan	=	Timbunan Tanah Kembali			
Harga Satuan	=	Rp. 53,400.00 / m ³			
Basis Produksi	=	1.00 m ³			
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A					
1	Upah				
	Pekerja	OH	0,330	68.400,00	2.257,20
	Mandor	OH	0,030	112.350,00	37.075,50
Sub Total I					39,332,70
B					
2	Bahan				
		-	-	-	-
Sub Total II					-
C					
3	Peralatan				
	Buldozer, 15 Ton	Sewa-hari	0,0036	410.165,00	1.476,59
	Dump Truck, 10 Ton	Sewa-hari	0,0255	190.605,00	4.860,43
	Vibrator Roller, 10 Ton	Sewa-hari	0,0140	210.850,00	2.951,90
Sub Total III					9.288,92
D	Total Biaya Langsung			(A + B + C)	48,621,62
E	PPn (10%)			(D * 10%)	4,862,16
F	Total Biaya Proyek			(D + E)	53,483,78
G	Dibulatkan				53,400,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.2.5 Perhitungan Daftar Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.30

Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever		
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000		
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	
A				
<i>Bored Pile</i>				
1	Pekerjaan Tanah			
	Galian Tanah > 4 m	m ³	48.800,00	
	Timbunan Tanah Kembali	m ³	53.400,00	
2	Pekerjaan Pembesian			
	Pembesian Ulir	kg	33.168,00	
3	Pekerjaan Pembetonan			
	Pembetonan Dinding Penahan Tanah Kantilever	kg	2.350.100,00	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.2.6 Perhitungan Daftar Kuantitas dan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.31
Perhitungan Daftar Kuantitas dan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Harga Satuan (Rp.)
Pekerjaan = Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever					
Lokasi = Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712-17+000					
A	Dinding Penahan Tanah Kantilever				
1	Pekerjaan Tanah				
	Galian Tanah > 4 m	m ³	1.203,12	Rp 48.800,00	Rp 58.712.256,00
	Timbunan Tanah Kembali	m ³	2.523,96	Rp 53.400,00	Rp 134.779.464,00
Sub Total I					Rp 193.491.720,00
2	Pekerjaan Pembesian				
	Pembesian Ulir	kg	43.869,91	Rp 33.168,00	Rp 1.455.077.174,88
Sub Total II					Rp 1.455.077.174,88
3	Pekerjaan Pembetonan				
	Pengecoran Dinding Termasuk Bekesting dan Perancah	kg	1.203,12	Rp 2.350.100,00	Rp 2.827.452.312,00
Sub Total III					Rp 2.827.452.312,00
Total Biaya Langsung				(1 + 2 + 3)	Rp 4.476.021.206,88
Ppn 10%					Rp 447.602.120,69
Total Biaya Proyek					Rp 4.923.623.328,00
Dibulatkan					Rp 4.923.600.000,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.2.7 Perhitungan Rekapitulasi Daftar Kuantitas dan Harga Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.32
Perhitungan Rekapitulasi Daftar dan Harga Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

No	Uraian Pekerjaan	Harga Pekerjaan (Rp.)
Pekerjaan = Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever		
Lokasi = Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712-17+000		
Sumber Dana = APBN		
Nilai Pekerjaan = Rp. 5.461.600.000,00		
A	Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever	Rp 4.476.021.206,88
B	Jumlah Total Keseluruhan	(A) Rp 4.476.021.206,88
C	PPn (10%)	(B * 10%) Rp 447.602.120,69
D	Total Biaya Proyek	(A + B) Rp 4.923.623.328,00
E	Dibulatkan	Rp 4.923.600.000,00
TERBILANG:		
EMPAT MILYAR SEMBILAN RATUS DUA PULUH TIGA JUTA ENAM RATUS RIBURUPIAH		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.3 Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah

Kantilever Dengan *Bored Pile*

4.7.3.1 Perhitungan Biaya Galian

Tabel 4.33 Perhitungan Biaya Pekerjaan Galian Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile*

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan <i>Bored Pile</i>			
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000			
Item Pekerjaan	=	Pengeboran Tanah			
Harga Satuan	=	Rp. 147,400.00 / m ³			
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A					
Upah					
1	Pekerja	OH	0,375	68.400,00	25.650,00
	Mandor	OH	0,0375	112.350,00	4.213,13
Sub Total I					29.863,13
B					
2	Bahan	-	-	-	-
Sub Total II					-
C					
Peralatan					
3	Rotary Driling	Sewa-hari	0,1300	696.875,00	90.593,75
	Excavator/Backhoe, 1,2 m ³	Sewa-hari	0,0216	450.255,00	9.725,51
	Dump Truck, 10 Ton	Sewa-hari	0,0255	150.605,00	3.840,43
Sub Total III					104.159,69
D	Total Biaya Langsung			(A + B + C)	134.022,81
E	PPn (10%)			(D * 10%)	13.402,28
F	Total Biaya Proyek			(D + E)	147.425,09
G	Dibulatkan				147.400,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.3.2 Perhitungan Biaya Pembesian

Tabel 4.34

Perhitungan Biaya Pekerjaan Pembesian Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored**Pile*

Pekerjaan = Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan <i>Bored Pile</i>					
Lokasi = Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000					
Item Pekerjaan = Pembesian Ulir					
Harga Satuan = Rp. 33,168.00 / kg					
Basis Produksi = 100 kg					
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A					
Upah					
1	Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
	Tukang Las	OH	0,700	89.700,00	62.790,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total I					126,514,50
B					
Bahan					
2	Besi Beton Ulir	kg	105,000	27.000,00	2.835.000,00
	Kawat Bendrat / Ikat	kg	0,15	21.500,00	3.225,00
Sub Total II					2.838.225,00
C					
Peralatan					
3	Mesin Pemotong Besi	Sewa-hari	0,0100	19.085,00	190,850,00
	Truck Flat Bed, 4 ton	Sewa-hari	0,1500	260.785,00	39,117,750
	Crane Truck Hydraulik, 15 ton	Sewa-hari	0,0165	681.440,00	11,243,760
Sub Total III					50,243,36
D	Total Biaya Langsung			(A + B + C)	3,015,291,86
E	PPn (10%)			(D * 10%)	301,529,19
F	Total Biaya Proyek			(D + E)	3,316,821,00
G	Dibulatkan				3,316,800,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.3.3 Perhitungan Biaya Pembetonan

Tabel 4.35
Perhitungan Biaya Pekerjaan Pembetonan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile*

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan <i>Bored Pile</i>			
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000			
Item Pekerjaan	=	Pembetonan			
Harga Satuan	=	Rp. 2,350,100.00/ m ³			
Basis Produksi	=	1.00 m ³			
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A Pengecoran/ Pembetonan					
Upah					
1	Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
	Tukang Kayu	OH	0,275	94.800,00	26.070,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total I					89.794,50
B					
Bahan					
2	Pasir Beton/ Cor	m ³	0,470	199.600,00	93.812,00
	Semen Portland 50 kg	zak	6,826	240.800,00	1.643.700,80
Sub Total II					1.737.512,80
C					
Peralatan					
3	Car Mix, 5 m ³ /jam	m ³	0,050	406.210,00	20.310,50
	Concrete Pump Truck, 30 m ³ /jam	m ³	0,042	190.765,00	7.954,90
	Concrete Vibrator, 45 mm	zak	0,100	17.345,00	1.734,50
	Concrete batching plant 40 m ³	kg	0,025	458.785,00	11.469,63
Sub Total III					41.469,53
D					
Begesting & Perancah					
Upah					
4	Pekerja	OH	0,700	68.400,00	47.880,00
	Tukang Kayu	OH	0,275	94.800,00	26.070,00
	Kepala Tukang	OH	0,070	114.000,00	7.980,00
	Mandor	OH	0,070	112.350,00	7.864,50
Sub Total IV					89.794,50
E					
Bahan					
5	Kayu Meranti	m ³	0,040	4.177.000,00	167.080,00
	Paku Usuk	kg	0,400	27.500,00	11.000,00
Sub Total V					178.080,00
F	Total Biaya Langsung			(A + B + C + D + E)	2.136.530,93
G	PPn (10%)			(F * 10%)	213.653,09
H	Total Biaya Proyek			(F + G)	2.350.184,00
I	Dibulatkan				2.350.100,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019



4.7.3.4 Perhitungan Biaya Timbunan

Tabel 4.36

Perhitungan Biaya Pekerjaan Timbunan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored**Pile*

Pekerjaan					
Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan <i>Bored Pile</i>					
Lokasi = Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000					
Item Pekerjaan = Timbunan Tanah Kembali					
Harga Satuan = Rp. 53.400,00 /m ³					
Basis Produksi = 1,00 m ³					
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A					
Upah					
1	Pekerja	OH	0,330	68.400,00	2.257,20
	Mandor	OH	0,030	112.350,00	37.075,50
Sub Total I					39.332,70
B					
2	Bahan	-	-	-	-
Sub Total II					-
C					
Peralatan					
3	Buldozer, 15 Ton	Sewa-hari	0,0036	410.165,00	1.476,59
	Dump Truck, 10 Ton	Sewa-hari	0,0255	190.605,00	4.860,43
	Vibrator Roller, 10 Ton	Sewa-hari	0,0140	210.850,00	2.951,90
Sub Total III					9.288,92
D Total Biaya Langsung				(A + B + C)	48.621,62
E PPn (10%)				(D * 10%)	4.862,16
F Total Biaya Proyek				(D + E)	53.483,78
G Dibulatkan					53.400,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.3.5 Perhitungan Daftar Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.37
Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile*

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan <i>Bored Pile</i>		
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712 - 17+000		
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	
A	<i>Bored Pile</i>			
1	Pekerjaan Tanah			
	Galian Tanah > 4 m	m ³	148.500,00	
	Timbunan Tanah Kembali	m ³	53.400,00	
2	Pekerjaan Pembesian			
	Pembesian Ulir	kg	33.168,00	
3	Pekerjaan Pembetonan			
	Pembetonan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan <i>Bored Pile</i>	kg	2.350.100,00	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.7.3.6 Perhitungan Daftar Kuantitas dan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.38
Perhitungan Daftar Kuantitas dan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan <i>Bored Pile</i>				
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712-17+000				
No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Harga Satuan (Rp.)	
A	Dinding Penahan Tanah Kantilever					
1	Pekerjaan Tanah					
	Galian Tanah > 4 m	m ³	2.800,752	Rp 148.500,00	Rp 415.911.672,00	
	Timbunan Tanah Kembali	m ³	2.523,96	Rp 53.400,00	Rp 134.779.464,00	
Sub Total I					Rp 550.691.136,00	
2	Pekerjaan Pembesian					
	Pembesian Ulir	kg	381.327,89	Rp 33.168,00	Rp 12.647.883.455,52	
Sub Total II					Rp 12.647.883.455,52	
3	Pekerjaan Pengecoran Pembetonan					
	Pembetonan Termasuk Bekesting dan Perancah	kg	2.800,75	Rp 2.350.100,00	Rp 6.582.047.275,20	
Sub Total III					Rp 6.582.047.275,20	
Total Biaya Langsung				(1 + 2 + 3)	Rp 19.780.621.866,72	
Ppn 10%					Rp 1.978.062.186,67	
Total Biaya Proyek					Rp 21.758.684.053,00	
Dibulatkan					Rp 21.758.600.000,00	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



4.7.3.7 Perhitungan Rekapitulasi Daftar Kuantitas dan Harga Pekerjaan Dinding

Penahan Tanah Kantilever

Tabel 4.39
Perhitungan Rekapitulasi Daftar dan Harga Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Bored Pile*

Pekerjaan	=	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan <i>Bored Pile</i>
Lokasi	=	Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Km 16+712-17-000
Sumber Dana	=	APBN
Nilai Pekerjaan	=	Rp. 33.842.100.000,00
No	Uraian Pekerjaan	Harga Pekerjaan (Rp.)
A		
1	Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever	Rp. 19.780.621.866,72
B	Jumlah Total Keseluruhan	(A) Rp. 19.780.621.866,72
C	PPn (10%)	(B * 10%) Rp. 1.978.062.186,67
D	Total Biaya Proyek	(A + B) Rp. 21.758.684.053,00
E	Dibulatkan	Rp. 21.758.600.000,00
TERBILANG:		
DUA PULUH SATU MILYAR TUJUH RATUS LIMA PULUH DELAPAN JUTA ENAM RATUS RIBURUPIAH		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

4.8 Hasil Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Pada Alternatif-alternatif Pengamanan Lereng

Semua hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk 3 alternatif pengamanan lereng akan ditampilkan pada Tabel 4.38, sebagai berikut:

Tabel 4.40
Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Pada Alternatif-Alternatif Pengamanan Lereng

No	Alternatif Penanganan Lereng	Rencana Anggaran Biaya
1	Perencanaan <i>Bored Pile</i>	Rp. 18.111.500.000,00
2	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever	Rp. 4.923.600.000,00
3	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever dengan <i>Bored Pile</i>	Rp. 21.758.600.000,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Dari hasil perhitungan pada studi ini, didapatkan bahwa estimasi biaya pelaksanaan pada pengamanan lereng pada jalan provinsi Trenggalek-Ponorogo dengan memakai alternatif 1 yakni *bored pile* sebesar Rp. 18.111.500.000,00.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dengan memperhatikan rumusan masalah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil investigasi geologi karakteristik pada lapisan tanah disekitar jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) yakni, terdapat lapisan tanah aluvial.

Tanah aluvial sendiri merupakan jenis tanah hasil endapam halus yang terbentuk dari lumpur dan pasir. Sebaran dari tanah aluvial ini tersebar didaerah cekungan dan lembah. Tanah aluvial ini juga mudah menyerap air, maka dari itu harus digali dan diganti dengan material yang memenuhi syarat untuk keamanan jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000).

2. Dari hasil analisa faktor keamanan lereng bila ditinjau dengan perhitungan stabilitas lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012, yaitu sebagai berikut:

- a. Berdasarkan hasil analisa faktor keamanan lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012 pada *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 sebelum adanya alternatif pengamanan lereng yakni:

❖ Pengamanan Lereng Kondisi Tanpa Gempa.

1. *Cross* STA 0+075 nilai faktor keamanan lereng = $0.87 < 1.50$, maka lereng tersebut tidak aman.
2. *Cross* STA 0+125 nilai faktor keamanan lereng = $0.57 < 1.50$, maka lereng tersebut tidak aman.
3. *Cross* STA 0+175 nilai faktor keamanan lereng = $0.99 < 1.50$, maka lereng tersebut tidak aman.

❖ Pengamanan Lereng Kondisi Dengan Gempa.

1. *Cross* STA 0+075 nilai faktor keamanan lereng = $0.54 < 1.25$, maka lereng tersebut tidak aman
2. *Cross* STA 0+125 nilai faktor keamanan lereng = $0.31 < 1.25$, maka lereng tersebut tidak aman
3. *Cross* STA 0+175 nilai faktor keamanan lereng = $0.62 < 1.25$, maka lereng tersebut tidak aman

b. Berdasarkan hasil analisa faktor keamanan lereng menggunakan *software* GeoStudio 2012 pada *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 setelah adanya alternatif pengamanan lereng (menggunakan 3 alternatif) yakni:

❖ Pengamanan Lereng Kondisi Tanpa Gempa.

1. *Cross* STA 0+075

✓ Alternatif 1 *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.63 > 1.50$, maka lereng tersebut aman.

✓ Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever nilai faktor keamanan lereng = $1.51 > 1.50$, maka lereng tersebut aman.

✓ Alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.90 > 1.50$, maka lereng tersebut aman.

2. *Cross* STA 0+125

✓ Alternatif 1 *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $2.22 > 1.50$, maka lereng tersebut aman

✓ Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever nilai faktor keamanan lereng = $1.26 < 1.50$, maka lereng tersebut tidak aman

✓ Alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $2.32 > 1.50$, maka lereng tersebut aman

3. *Cross* STA 0+175

✓ Alternatif 1 *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.56 > 1.50$, maka lereng tersebut aman

✓ Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever nilai faktor keamanan lereng = $1.20 < 1.50$, maka lereng tersebut tidak aman

✓ Alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.51 > 1.50$, maka lereng tersebut aman

❖ Pengamanan Lereng Kondisi Dengan Gempa.

1. *Cross* STA 0+075

✓ Alternatif 1 *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.46 > 1.25$, maka lereng tersebut aman

✓ Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever nilai faktor keamanan lereng = $1.18 < 1.25$, maka lereng tersebut tidak aman

✓ Alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.75 > 1.25$, maka lereng tersebut aman

2. *Cross* STA 0+125
- ✓ Alternatif 1 *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.26 > 1.25$, maka lereng tersebut aman
 - ✓ Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever nilai faktor keamanan lereng = $0.86 < 1.25$, maka lereng tersebut tidak aman
 - ✓ Alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.38 > 1.25$, maka lereng tersebut aman
3. *Cross* STA 0+175
- ✓ Alternatif 1 *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.37 > 1.25$, maka lereng tersebut aman
 - ✓ Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever nilai faktor keamanan lereng = $0.75 < 1.25$, maka lereng tersebut tidak aman
 - ✓ Alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile* nilai faktor keamanan lereng = $1.46 > 1.25$, maka lereng tersebut aman
3. Berdasarkan hasil analisa serta perhitungan, maka dapat disimpulkan bahwa dari 3 (tiga) alternatif yang cocok melindungi lereng pada jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo tepatnya di *cross* STA 0+075, *cross* STA 0+125, dan *cross* STA 0+175 dengan panjang 108 m terdapat 2 (dua) alternatif yang dari hasil analisa dinyatakan aman yakni, 1 (satu) *bored pile* dan alternatif 3 (tiga) dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*.
4. Berdasarkan hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari 3 (tiga) alternatif tersebut, maka estimasi biaya pelaksanaan pekerjaan pengamanan lereng didapat biaya sebagai berikut:
- a. Alternatif 1 *bored pile*, estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebesar Rp. 18,111,500,000,00 (Delapan Belas Milyar Seratus Sebelas Juta Lima Ratus Ribuh Rupiah).
 - b. Alternatif 2 dinding penahan tanah kantilever, estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebesar Rp. 4,923,600,000,00 (Empat Milyar Sembilan Ratus Dua Puluh Tiga Juta Enam Ratus Ribuh Rupiah).
 - c. Alternatif 3 dinding penahan tanah kantilever dengan *bored pile*, estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebesar Rp. 21,758,600,000,00 (Dua Puluh Satu Milyar Tujuh Ratus Lima Puluh Delapan Juta Enam Ratus Ribuh Rupiah).

Dari hasil analisa dan perhitungan, maka dapat disimpulkan bahwa struktur alternatif yang dapat digunakan melindungi jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (Km 16+712–17+000) yakni, alternatif 1 *bored pile*.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang ada, saran yang dapat diberikan dari penulis untuk pembaca dalam Studi Kajian Tentang Alternatif Struktur Penahan untuk Mengatasi Masalah Pergerakan Tanah pada Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo (km 16+712-17+000) Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur, yakni sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan struktur pengamanan lereng, selain memperhatikan dari perhitungan struktur dan juga faktor keamanan dari struktur tersebut kita juga harus mempertimbangkan biaya dari konstruksi tersebut.
2. Agar struktur pengamanan lereng tersebut tetap aman setelah dibangun maka diperlukan pemeliharaan sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) terhadap struktur tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, F. 2013. *Landslide (Tanah Longsor di Indonesia)*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta. https://www.academia.edu/6466128/Karya_ilmiah_longSORAN_tanah. (diakses 17 Oktober 2019).
- Das, M. Braja. 1993. *Principles Of Geotechnical Engineering*. Jilid 2. Terjemahan Noor Endah & Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Depertemen Pekerjaan Umum. 2008. *Pedoman Analisis Dinamik Bendungan Urugan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2012. *Mekanika Tanah 1*. Edisi VI. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2006. *Teknik Fondasi 1*. Cetakan ke-3. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2012. *Tanah Longsor dan Erosi – Kejadian dan Penanganan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hidayah, Susi., Gratia, Yohan Roy. 2007. *Program Analisis Stabilitas Lereng*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Laurence D. Wesley. 2010. *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan & Residu*. Yogyakarta: ANDI.
- Laurence D. Wesley. 2017. *Mekanika Tanah Edisi Terbaru*. Yogyakarta: ANDI.
- Nandi. 2007. *Longsor*. Bandung: UPT Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial Universitas Pendidikan Indonesia.
- Rudiyanto. 2010. *Analisis Potensi Bahaya Tanah Longsor Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kecamatan Selo Kabupaten Boyolali*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Suryolelono, K. B. 2005. *Bencana Alam Tanah Longsor Perspektif Ilmu Geoteknik*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Fakultas Teknik UGM. UGM Press.
- Surendro, Bambang. 2015. *Mekanika Tanah-Teori, Sosial dan Penyelesaian*. Yogyakarta: ANDI
- Sosrodarsono, S. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Cetakan VII. Terjemahan L. Taulu dkk. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.

Karnawati, Dwikorita. 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Kementerian Pekerjaan Umum. 2007. *Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kementerian Pekerjaan Umum. 2017. *Peta Zona Gempa Indonesia*. Jakarta: Pusat Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

