TUGAS AKHIR

ALTERNATIF PERKUATAN LERENG DENGAN *GRAVITY WALL* DAN GEOSINTETIK PADA KAWASAN PT UNITED TRACTORS SATUI KALIMANTAN SELATAN (*ALTERNATIVE SLOPE REINFORCEMENT WITH GRAVITY WALL AND GEOSYNTHETICS IN PT UNITED TRACTORS SATUI AREA SOUTH KALIMANTAN*)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Saniya Rosyadah
21511093

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

.

TUGAS AKHIR

ALTERNATIF PERKUATAN LERENG DENGAN *GRAVITY WALL* DAN GEOSINTETIK PADA KAWASAN PT UNITED TRACTORS SATUI KALIMANTAN SELATAN (*ALTERNATIVE SLOPE REINFORCEMENT WITH GRAVITY WALL AND GEOSYNTHETICS IN PT UNITED TRACTORS SATUI AREA SOUTH KALIMANTAN*)

Disusun oleh

Saniya Rosyadah
21511093

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 11 Maret 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.	**Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.**	**Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.**
NIK: 215111305	**NIK: 045110407**	**NIK: 165111301**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng. IPM.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 11 Maret 2025

Yang membuat pernyataan,



Saniya Rosyadah

(21511093)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Alternatif Perkuatan Lereng Dengan *Gravity Wall* Dan Geosintetik Pada Kawasan PT United Tractors Satui Kalimantan Selatan. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Anisa Nur Amalina, S. T., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing,
2. Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I,
3. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng, selaku Dosen Penguji II,
4. Bapak dan Ibu penulis, Bapak Bakhtiar Nur Hidayat dan Ibu Sri Astuti yang telah banyak memberikan dukungan, dari materi hingga spiritual, pada penyelesaian Tugas Akhir ini,
5. Saudara kandung penulis, Nindya Parahita dan Nada Qamarul Ishmah, yang senantiasa memberikan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh teman penulis di Teknik Sipil UII, terkhusus "CEILAND", "Acara 21", "Anti-Solo", "SEGASA", dan yang namanya tidak bisa ditulis satu persatu, telah memberi semangat satu sama lain dan membersamai penulis selama kuliah.

Yogyakarta, 11 Maret 2025
Penulis,

Samiya Rosyadah
(21511093)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN xi
ABSTRAK xii
ABSTRACT xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Perancangan 3
1.4 Manfaat Perancangan 3
1.5 Batasan Perancangan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Perkuatan Lereng dengan Dinding Penahan Tanah 5
2.2 Lereng Tanah yang Diperkuat Dengan Geosintetik 6
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Perancangan yang Akan Dilakukan 8
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Tanah 13
3.1.1 Parameter Sifat Fisik Tanah 13
3.1.2 Kuat Geser 18
3.2 Pengujian Lapangan 19
3.2.1 *Cone Penetration Test* (CPT) 19
3.2.2 *Standard Penetration Test* (SPT) 20

3.3 Stabilitas Lereng 22
3.3.1 Angka Aman Terhadap Beban Statis 22
3.3.2 Angka Aman Terhadap Beban Gempa 23
3.4 Metode Elemen Hingga 23
3.5 Metode Rankine 24
3.6 Perkuatan Tanah 26
3.6.1 Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi 26
3.6.2 Lereng yang Diperkuat dengan Geosintetik 29
3.7 Parameter Pembebanan 35
3.8 Perkuatan Tanah Dasar 36
BAB IV METODE PERANCANGAN 38
4.1 Tinjauan Umum 38
4.2 Lokasi Penelitian 38
4.3 Alur Penelitian 39
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 44
5. 1 Stratigrafi Tanah 44
5. 2 Dinding Penahan Tanah Eksisting 46
5. 3 Analisis Kondisi Eksisting 47
5.3.1 Analisis Dalam Kondisi Tanah Kering 48
5.3.2 Analisis Dalam Kondisi Elevasi Muka Air Tanah pada Elevasi -1m 54
5.3.3 Rekapitulasi Analisis Dinding Penahan Eksisting 62
5. 4 Alternatif Perkuatan 1 62
5.4.1 Dimensi *Redesign* dan Identifikasi Kasus 62
5.4.2 Analisis Stabilitas Internal dan Eksternal 67
5.4.3 Gambar Kerja DPT *Redesign* 71
5. 5 Alternatif Perkuatan 2 72
5.5.1 Analisis Tanpa geosintetik 72
5.5.2 Perancangan Geosintetik 73
5.5.3 Analisis Stabilitas Ekternal 78
5.5.4 Gambar Kerja Perkuatan Geosintetik 81

5. 6 Pembahasan Hasil Analisis 82
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 86
6. 1 Kesimpulan 86
6. 2 Saran 87
DAFTAR PUSTAKA 89
LAMPIRAN 1 92
LAMPIRAN 2 94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian *Gravity Wall* Terdahulu dengan Perancangan Sekarang 9
Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Perkuatan Lereng dengan Geosintetik Terdahulu dengan Perancangan Sekarang 11
Tabel 3.1 Nilai Koefisien Permeabilitas 15
Tabel 3.2 Nilai Modulus Elastisitas 16
Tabel 3.3 Nilai *Poisson Ratio* 16
Tabel 3.4 Nilai Sudut Geser Dalam Efektif 17
Tabel 3.5 Kohesi Efektif Pada Tanah Berkohesi 18
Tabel 3.6 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Tanah 23
Tabel 3.7 Nilai F* dan α 33
Tabel 5.1 Profil Tanah Potongan 2 46
Tabel 5.2 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Aktif 50
Tabel 5.3 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Kohesi 51
Tabel 5.4 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Dinding Penahan 51
Tabel 5.5 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Aktif 57
Tabel 5.6 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Kohesi 58
Tabel 5.7 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Dinding Penahan 59
Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Dinding Penahan Eksisting 62
Tabel 5.9 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Aktif 65
Tabel 5.10 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Kohesi 66
Tabel 5.11 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Dinding Penahan 66
Tabel 5.12 Spesifikasi Tanah Timbunan Lereng yang Diperkuat 73
Tabel 5.13 Spesifikasi Teknik *Geogrid* 76
Tabel 5.14 Rekapitulasi Panjang Total *Geogrid* Tiap Lapis 78
Tabel 5.15 Rekapitulasi Angka Aman Alternatif Perkuatan 84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Segmen DPT yang mengalami keruntuhan 2
Gambar 3.1 Komponen Penyusun Tanah 13
Gambar 3.2 Grafik CPT Terhadap *Properties* Tanah 20
Gambar 3.3 Grafik Korelasi N-SPT dan Cu pada Tanah Kohesif 21
Gambar 3.4 Tipikal Dimensi *Gravity wall* 26
Gambar 3.5 Lereng yang Diperkuat dengan Geosintetik 29
Gambar 3.6 Penentuan Koefisian Gaya, K 31
Gambar 3.7 Penentuan Perbandingan Panjang Perkuatan, L/H' 31
Gambar 3.8 Perkuatan Tanah Dasar dengan Cerucuk Bambu 36
Gambar 4.1 Segmen DPT yang Runtuh dan Retak 39
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian 41
Gambar 4.3 Tipikal dimensi *Gravity Wall* 42
Gambar 4.4 Lereng yang Diperkuat Dengan Geosintetik 43
Gambar 5.1 Peta Kontur Kawasan United Tractors Satui 44
Gambar 5.2 Stratigrafi Tanah Potongan 1 (A-A') 45
Gambar 5.3 Stratigrafi Tanah Potongan 2 (B-B') 45
Gambar 5.4 Dinding Penahan Tanah Eksisting 47
Gambar 5.5 Identifikasi Diagram Tekanan Aktif dan Pasif Kondisi Kering 48
Gambar 5.6 Eksentrisitas Dasar DPT Eksesting Kondisi Kering 53
Gambar 5.7 Potongan Lereng Kondisi Kering pada PLAXIS 53
Gambar 5.8 Bidang Longsor Analisis FS Global pada Kondisi Kering 54
Gambar 5.9 Identifikasi Diagram Tekanan Aktif dan Pasif dengan MAT 55
Gambar 5.10 Eksentrisitas DPT Eksisting Kondisi Kenaikan MAT 60
Gambar 5.11 Potongan Lereng Kondisi dengan MAT -1m pada PLAXIS 61
Gambar 5.12 Bidang Longsor Analisis FS Global dengan MAT -1m 61
Gambar 5.13 Dimensi DPT *Redesign* 63
Gambar 5.14 Identifikasi Diagram Tekanan Aktif dan Pasif DPT *Redesign* 63
Gambar 5.15 Eksentrisitas DPT *Redesign* 68

Gambar 5.16 Potongan Lereng DPT *Redesign* pada PLAXIS 70
Gambar 5.17 Bidang Longsor Analisis FS Global dengan MAT -1m 71
Gambar 5.18 Gambar Kerja DPT *Redesign* 71
Gambar 5.19 Bidang Longsor Lereng Tanpa Geosintetik 73
Gambar 5.20 Koefisien Gaya (K) 74
Gambar 5.21 Perbandingan Panjang Perkuatan 75
Gambar 5.22 Perbandingan Panjang Perkuatan 79
Gambar 5.23 Bidang Longsor FS Global Perkuatan Lereng *Geogrid* 80
Gambar 5.24 Pengukuran b dan Ds untuk Daya Dukung Lokal 80
Gambar 5.25 Hasil Analisis Penurunan Lereng Dengan Perkuatan *Geogrid* 81
Gambar 5.26 Gambar Kerja Perkuatan *Goegrid* 82
Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Angka Aman Dinding Penahan Eksisting 83
Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Daya Dukung Tanah Alternatif 1 dengan Penambahan Cerucuk 83
Gambar 5.29 Grafik Perbandingan Stabilitas Global Perkuatan Eksisting dengan Alternatif Perkuatan 84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Shop Drawing* Potongan DPT
Lampiran 2 Data Investigasi Lapangan

ABSTRAK

Suatu dinding penahan tanah di kawasan PT United Tractors Satui, Kalimantan Selatan, mengalami keruntuhan akibat peningkatan tekanan air pori tanah. Analisis stabilitas perlu dilakukan untuk mengetahui angka aman perkuatan dengan kondisi lereng eksisting yang sudah diidentifikasi. Perbaikan perkuatan lereng dilakukan dengan membandingkan alternatif perkuatan perancangan ulang dinding penahan tanah tipe gravitasi (*gravity wall redesign*) dan geosintetik yang dikombinasikan dengan cerucuk bambu.

Analisis stabilitas *gravity wall* eksisting dilakukan dengan asumsi kondisi kering dan kenaikan Muka Air Tanah (MAT). Metode analisis yang digunakan adalah metode Rankine dan *finite element method* (FEM). Opsi alternatif yang dirancang meliputi *gravity wall redesign* sebagai alternatif 1 dan lereng yang diperkuat dengan geosintetik, yaitu *geogrid*, sebagai alternatif 2. Kedua alternatif akan ditambahkan perkuatan tanah dasar dengan cerucuk bambu. Tahap perancangan dan syarat minimum angka aman kedua alternatif ini mengacu pada persyaratan SNI 8460 Tahun 2019 dan peraturan Bina Marga 2009.

Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng pada kawasan PT United Tractors Satui memiliki jenis tanah lempung dengan konsistensi keras pada kedalaman 15,30 m. *Gravity wall* eksisting pada kondisi kenaikan MAT tidak aman terhadap stabilitas guling dengan angka aman 1,394 (syarat ≥ 1,5) dan tidak aman terhadap stabilitas daya dukung. Kegagalan daya dukung juga terjadi pada kondisi kering. Perkuatan tanah dasar dengan cerucuk bambu ditambahkan pada perancangan kedua alternatif perkuatan. Hasil analisis alternatif 1 diperoleh angka aman 2,238 (≥ 1,5) untuk stabilitas geser, 3,538 (≥ 2) untuk stabilitas guling, 4,439 (≥ 3) untuk stabilitas daya dukung tanah, dan 2,412 (≥ 1,5) untuk stabilitas global. Hasil analisis alternatif 2 diperoleh angka aman terkecil 2 (≥ 1,5) untuk stabilitas terhadap tahanan cabut, 1,966 (≥ 1,3) untuk stabilitas gelincir, dan 1,597 (≥ 1,3) untuk stabilitas global. Kedua alternatif telah memenuhi syarat minimum angka aman di setiap tinjauan stabilitas.

Kata kunci : Cerucuk Bambu, Metode Rankine, Metode Elemen Hingga, PLAXIS 2D.

ABSTRACT

A retaining wall in the PT United Tractors Satui area, South Kalimantan, collapsed due to increased pore water pressure. Stability analysis needs to be carried out to determine the safe reinforcement number with the existing slope conditions that have been identified. Slope reinforcement improvements are carried out by comparing alternatives for gravity wall redesign and geosynthetics combined with bamboo pile.

The stability analysis of the existing gravity wall was carried out assuming dry conditions and an increase in the Ground Water Level (GWL). The analysis methods used were the Rankine method and the Finite Element Method (FEM). The alternative options designed include gravity wall redesign as alternative 1 and slopes reinforced with geosynthetics, namely geogrids, as alternative 2. Both alternatives will be supplemented with subgrade reinforcement with bamboo pile. The design stage and minimum requirements for the safe numbers of these two alternatives refer to the requirements of SNI 8460 of 2019 and the 2009 Bina Marga regulations.

The results of the analysis show that the slope in the PT United Tractors Satui area has a clay soil type with hard consistency at a depth of 15.30 m. The existing gravity wall in the condition of increasing GWL is not safe for rolling stability with a safe number of 1.394 (requirement ≥ 1.5) and is not safe for bearing capacity stability. Bearing capacity failure also occurs in dry conditions. Reinforcement of the subgrade with bamboo pile is added to the design of the two reinforcement alternatives. The results of the analysis of alternative 1 obtained a safe number of 2.238 (≥ 1.5) for shear stability, 3.538 (≥ 2) for overturning stability, 4.439 (≥ 3) for soil bearing capacity stability, and 2.412 (≥ 1.5) for global stability. The results of the analysis of alternative 2 obtained the smallest safe number of 2 (≥ 1.5) for stability against pullout resistance, 1.966 (≥ 1.3) for slip stability, and 1.597 (≥ 1.3) for global stability. Both alternatives have met the minimum requirements for safe numbers in each stability review.

***Keywords**: Bamboo Pile, Rankine Method, Finitre Element Method, PLAXIS 2D*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegagalan lereng (*slope failure*) merupakan fenomena pergerakan tanah yang terjadi karena berkurangnya kuat geser tanah dan meningkatnya tegangan geser. Gerakan tanah ini menyebabkan lereng tidak stabil dan bergerak seperti longsong. Kegagalan lereng menyebabkan kerusakan pada infrastruktur bahkan mengancam keselamatan manusia.

Kegagalan lereng disebabkan oleh beberapa faktor. Rembesan air yang berlebihan menjadi salah satu faktor kegagalan lereng. Air yang terlalu banyak masuk ke tanah akan meningkatkan indeks air pori tanah kemudian menjadi beban pada tanah dan menambah tekanan tanah lateral. Sebanyak 68% dari 82 kasus kegagalan lereng yang terjadi disebabkan oleh sistem drainase yang tidak baik (Koerner dan Koerner, 2011). Faktor lainnya adalah kemiringan lereng, semakin curam kemiringan lereng akan lebih berpotensi mengalami kegagalan lereng. Konstruksi dinding penahan tanah menjadi salah satu upaya penanganan kegagalan lereng yang sering digunakan.

Pada lokasi pembangunan kawasan PT. United Tractors cabang Satui, Kalimantan Selatan, ditemukan kegagalan lereng dengan segmen dinding penahan tanahnya mengalami keruntuhan dan keretakan. Hipotesis penyebab utama kerusakan adalah tanah yang jenuh akibat air hujan dan dimensi dinding penahan tanah konvensional yang tidak sesuai standar lahan yang terbatas. Kontrol drainase pada dinding penahan tanah menggunakan *weephole* tidak berfungsi secara maksimal karena lubang pipa tersumbat dan kemiringan pipa tidak memadai sehingga tanah menjadi jenuh ketika hujan. Lokasi kerusakan Dinding Penahan Tanah (DPT) dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Segmen DPT yang mengalami keruntuhan

Kondisi kerusakan tersebut perlu dilakukan perbaikan agar tidak mengancam keselamatan manusia dan merusak infrastruktur lainnya di kawasan tersebut. Analisis stabilitas lereng diperlukan dalam perancangan ulang DPT yang sesuai dengan persyaratan ukuran minimal DPT. Selain itu, dapat juga dilakukan perancangan ulang dengan alternatif perkuatan lereng lainnya.

Alternatif lain pada upaya stabilisasi lereng adalah penerapan lereng tanah yang diperkuat dengan geosintetik. Berdasarkan pedoman Bina Marga 2009, lereng tanah yang diperkuat merupakan bentuk stabilisasi lereng dengan kemiringan lereng kurang dari 70° (BM, 2009). Geosintetik dihamparkan dengan setiap lapisannya diberi tanah timbunan yang dipadatkan. Lapisan ini dibentuk di tepi timbunan untuk meningkatkan tahanan lateral.

Dinding Penahan Tanah (DPT) dan perkuatan lereng dengan geosintetik memiliki perbedaan yang mendasar. DPT didominasi oleh tekanan lateral yang mendorong karena DPT memiliki sisi lereng yang tegak lurus. Sedangkan, perkuatan lereng dengan geosintetik memiliki sisi lereng dengan kemiringan tertentu, sehingga tidak memiliki tekanan lateral. Prinsip yang digunakan adalah stabilitas lereng. Dengan demikian, analisis pada kedua perkuatan lereng tersebut berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Perancangan ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kondisi lereng eksisting di kawasan PT. United Tractors Satui?
2. Berapakah angka aman dari *gravity wall* eksisting di kawasan PT. United Tractors Satui?
3. Berapakah angka aman dari *gravity wall redesign* dan perkuatan lereng dengan geosintetik di kawasan PT. United Tractors Satui?

1.3 Tujuan Perancangan

Perancangan ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui kondisi lereng eksisting di kawasan PT. United Tractors Satui.
2. Untuk mengetahui angka aman dari *gravity wall* eksisting di kawasan PT. United Tractors Satui.
3. Untuk mengetahui angka aman dari *gravity wall redesign* dan perkuatan lereng dengan geosintetik di kawasan PT. United Tractors Satui.

1.4 Manfaat Perancangan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi Penulis

   Penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengalaman bagi penulis dalam analisis studi kasus permasalahan Geoteknik.
2. Bagi PT. United Tractors

   PT. United Tractors, sebagai pemilik proyek, dapat mengetahui alternatif perkuatan lereng yang tepat beserta analisisnya secara ilmiah sehingga dapat minimalisasi kerusakan infrastruktur lainnya.
3. Bagi masyarakat

   Masyarakat di kawasan PT. United Tractors dan yang di sekitarnya merasa aman dari longsoran lereng dengan adanya perbaikan Dinding Penahan Tanah.

1.5 Batasan Perancangan

Adanya batasan perancangan menjadikan bahasan dalam perancangan menjadi lebih jelas dan terarah. Berikut ini merupakan batasan yang perancang gunakan dalam proses analisis dan perancangan alternatif perkuatan lereng.

1. Data tanah merupakan data sekunder dari proyek pembangunan kawasan PT. United Tractors cabang Satui, Kalimantan Selatan.
2. Muka air tanah kondisi hujan diasumsikan berada pada elevasi -1m di bawah permukaan tanah.
3. Peta kontur diambil dari data Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan perangkat lunak *Global Mapper.*
4. Lapisan tanah pada lereng dibuat sendiri dari beberapa data *borelog* dimana sampel UDS diambil.
5. Analisis kondisi eksisting lereng dan perancangan tidak memperhitungkan beban gempa.
6. Anggaran biaya tidak diperhitungkan dalam pemilihan alternatif perkuatan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkuatan Lereng dengan Dinding Penahan Tanah

Bari dkk. (2021) dalam penelitiannya mendapatkan tinggi optimum untuk dinding penahan tanah tipe *gravity wall.* Variasi tinggi dinding penahan tanah yang dilakukan analisis stabilitas adalah 4 – 14 m. Pada dimensi tinggi 8m, diperoleh hasil tidak aman terhadap stabilitas eksternal. Dapat disimpulkan bahwa tinggi optimum dinding penahan tanah tipe *gravity wall* yang aman terhadap stabilitas internal dan eksternal adalah 7 m.

Sari dkk. (2020) meneliti angka aman (FS) pada variasi desain dinding penahan tanah terhadap lereng vertikal. Terdapat delapan desain dinding penahan tanah dengan ketinggian yang sama, yaitu 4 m. Analisis perkuatan lereng menggunakan PLAXIS dengan pemodelan *Mohr-Coulomb* dan pembebanan di atas lereng adalah 10 kN/m^2. Berdasarkan hasil analisis, semakin besar berat dinding penahan tanah, FS yang dihasilkan akan semakin besar. FS terbesar diperoleh pada desain dinding penahan tanah konvensional. Perpindahan pada tanah dasar akan semakin besar seiring dengan bertambahnya berat dinding. Penyebabnya adalah tipe perkuatan *gravity wall* bergantung pada beratnya sendiri dan tanah bertumpu untuk stabilitasnya.

Diantoro (2023) membandingkan dinding penahan tanah tipe kantilever dengan gravitasi pada variasi ketinggian lereng Gunung Lio Salem. Ketinggian yang divariasikan adalah 1 – 7 m. Dinding tipe kantilever memiliki stabilitas guling (Fgl = 4,5 – 3,1) dan stabilitas geser (Fgs = 1,95 – 1,17) lebih tinggi daripada tipe gravitasi. Semakin bertambahnya ketinggian lereng menunjukkan penurunan terhadap stabilitas.

Dinding penahan tanah dapat mengalami kerusakan akibat kondisi tanah yang cenderung basah atau jenuh. Kemal dkk. (2022) mengevaluasi kerusakan dinding penahan tanah tipe gravitasi pada ruas jalan Sukabumi (Baros) di Sagaranten KM BDG 115+200. Penyebab kerusakan adalah kondisi tanah eksisting yang tidak

stabil dan kadar air tanah tinggi. Selain itu, kondisi tanah di atas dinding penahan jenuh karena dinding pasangan batu kali tidak memiliki pori dan sistem drainase menggunakan *weephole* yang berpotensi terjadi penyumbatan. Penelitian ini memberikan alternatif perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe gabion. Tipe ini memiliki pori yang memungkinkan dapat mengalirkan air tanah lebih cepat.

Penggunaan dinding penahan tanah pada tanah lunak dapat dikombinasikan dengan komponen perkuatan lain, seperti *minipile*. Syah dan Alami (2024) melakukan survei longsor dan memberikan alternatif penanganan longsor yang terjadi di Sukarami, Kabupaten Lahat menggunakan bronjong atau gabion yang dikombinasikan dengan Dinding Penahan Tanah (DPT) dengan *minipile*. Alternatif ini bertujuan untuk menambah perkuatan di kaki lereng dengan menahan pergerakan tanah. Selain itu, diberikan timbunan tambahan di kaki lereng sebagai *counterweight berm*. Hal ini dilakukan karena stratigrafi tanah lokasi tinjau memiliki jenis tanah lempung dengan bidang longsor berada pada lapisan tanah lempung lunak hingga kedalaman 8m.

2.2 Lereng Tanah yang Diperkuat Dengan Geosintetik

Penggunaan geosintetik sebagai material perkuatan lereng sudah banyak diterapkan, baik untuk lereng asli, maupun tereng timbunan. Amin dkk. (2023) menganalisis stabilitas lereng timbunan kondisi eksisting dan menghitung perkuatan yang dibutuhkan pada proyek Jalan Tol Balikpapan-Samarinda di Provinsi Kalimantan Timur pada STA 2+100. Hasil analisis kondisi eksisting lereng bagian kiri belum mencapai angka aman yang disyaratkan (SF≥1,5), sehingga perlu dilakukan perkuatan. Jenis geosintetik yang digunakan adalah geotekstil dengan panjang kebutuhan dihitung berdasarkan analisis stabilitas internal, eksternal, dan global. Geotekstil dihamparkan hingga melewati bidang gelincir lereng. Hasil yang diperoleh adalah penggunaan geotekstil untuk perkuatan lereng dapat meningkatkan nilai angka aman hingga memenuhi syarat serta penurunan yang terjadi tidak melebihi batas maksimal.

Rachman (2024) menganalisis *total displacement* dan angka aman pada lereng timbunan pada Jalan Lintas Selatan Ruas Planjan-Tepus STA. 2+375 tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil dengan metode fellenius dan elemen hingga. Terdapat 3 kondisi pembebanan untuk analisis, yaitu akibat beban timbunan, akibat beban timbunan dan beban kendaraan, serta akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa. Pada kedua metode tersebut diperoleh angka aman kondisi eksisting kurang dari 1,25, sehingga lereng timbunan diperlukan perkuatan. Setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil, diperoleh angka aman lebih dari 1,25 pada ketiga kondisi pembebanan tersebut. Adanya perkuatan geotekstil dapat mengurangi *total displacement* yang terjadi pada lereng. Hal ini terlihat pada berkurangnya angka *total displacement* pada kondisi eksisting dengan kondisi setelah diberi perkuatan.

Selain geotekstil, terdapat jenis geosintetik yang dapat digunakan sebagai perkuatan, seperti *geocell*. Fitriansyah dkk. (2024) menganalisis variasi jumlah lapis *geocell* pada lereng tanah lempung lunak Kabupaten Kapuas dengan metode elemen hingga dan metode fellenius. Kedua metode tersebut, diperoleh hasil nilai angka aman yang berbeda. Variasi jumlah lapis yang digunakan adalah 1, 2, 3, 5, dan 7 lapis. Penggunaan *geocell* sebanyak 3 lapis secara horizontal dinilai paling efektif daripada jumlah lainnya karena selisih angka aman pada kedua metode analisis memiliki selisih yang tidak terlalu besar dan sudah memenuhi angka aman syarat. Selain itu, dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah lapisan *geocell* akan meningkatkan angka aman lereng.

Rahma dkk. (2020) memberikan alternatif perkuatan lereng di ruas Jalan Samarinda-Balikpapan KM 24 dengan perkuatan gabion dan geosintetik jenis geotekstil. Analisis stabilitas menggunakan metode perhitungan empiris untuk stabilitas eksternal dan metode elemen hingga. Pada kondisi eksisting diperoleh nilai angka aman 0,97. Angka tersebut masih di bawah syarat angka aman, sehingga lereng perlu diberi perkuatan. Setelah diberi perkuatan, angka aman menunjukkan lebih dari angka aman pada perkuatan dengan geotekstil dan gabion, yaitu secara berurutan 1,415 dan 1,424. Kedua jenis perkuatan tersebut sudah memenuhi angka aman yang disyaratkan, yaitu 1,4.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Perancangan yang Akan Dilakukan

Perbandingan peneliti terdahulu dengan perancangan yang akan dilakukan disajikan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian *Gravity Wall* Terdahulu dengan Perancangan Sekarang

Penelitian Terdahulu					Perancangan yang akan dilakukan
Peneliti	Sari dkk. (2020)	Bari dkk. (2021)	Diantoro W. (2023)	Syah dan Alami (2024)	Rosyadah (2025)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Variasi Dinding Penahan Tanah konvensional pada Lereng Vertikal	Ketinggian Optimum Dinding Penahan Tanah Gravitasi	Perbandingan Penggunaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Gravitasi dengan Variasi Ketinggian Lereng Gunung Lio Salem Kabupaten Brebes	Investigasi Geoteknik, Studi Mekanisme dan Penanganan Longsor Pada Jalan di Atas Tanah Lempung Lunak-Sedang, Studi Kasus: Longsor di Sukarami, Lahat.	Alternatif Perkuatan Lereng *Gravity Wall* Dan Geosintetik Pada Kawasan PT United Tractors Satui
Tujuan Penelitian	Memperoleh konfigurasi desain dinding penahan tanah yang memberikan stabilitas paling tinggi.	Memperoleh ketinggian optimum dinding penahan tanah gravitasi.	Mengetahui perbandingan stabilitas internal pada dinding penahan tanah tipe kantilever dan gravitasi terhadap ketinggian lereng.	Mengetahui penyebab dan mekanisme longsor sehingga dapat memberikan metode perkuatan yang sesuai serta mengetahui pengaruh kenaikan muka air tanah.	Menentukan metode perkuatan tanah yang tepat terhadap lereng pada kawasan PT United Tractors Satui berdasarkan angka aman.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian *Gravity Wall* Terdahulu dengan Perancangan Sekarang

Penelitian Terdahulu					Perancangan yang akan dilakukan
Peneliti	Sari dkk. (2020)	Bari dkk. (2021)	Diantoro W. (2023)	Syah dan Alami (2024)	Rosyadah (2025)
Metode Penelitian	*Finite Element Method* (FEM) dan pemodelan *Mohr-Coulomb* (MC).	Metode *Rankine.*	Metode *Rankine*.	Investigasi lapangan dan analisis stabilitas lereng dengan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium)*	Metode *Rankine* dan *Finite Element Method* (FEM).
Hasil Penelitian	Nilai FS terbesar terdapat pada desain dinding penahan tanah dengan dinding miring pada bagian depannya dan berat terbesar. Nilai FS meningkat dengan bertambahnya berat dinding penahan tanah.	Diperoleh tinggi optimum adalah 7m dengan analisis stabilitas dinyatakan aman terhadap stabilitas internal dan eksternal.	Nilai Stabilitas guling dan geser cenderung menurun dengan bertambahnya ketinggian lereng. Tipe kantilever memiliki stabilitas lebih tinggi daripada tipe gravitasi.	Infiltrasi air hujan adalah faktor utama penyebab longsor. Kenaikan muka air tanah mengakibatkan penurunan angka aman. Perkuatan bronjong yang dikombinasikan dengan DPT dan *minipile* meningkatkan angka aman.	

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Perkuatan Lereng dengan Geosintetik Terdahulu dengan Perancangan Sekarang

Penelitian Terdahulu					Perancangan yang akan dilakukan
Peneliti	Rahma dkk. (2020)	Amin dkk. (2023)	Rachman (2024)	Fitriansyah dkk. (2024)	Rosyadah (2025)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Samarinda-Balikpapan Km.24 Dengan Alternatif Perkuatan Dinding Bronjong Dan Geotekstil	Pemodelan Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geosintetik Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Mengunakan Metode Keseimbangan Batas Dan Metode Elemen Hingga	Analisis Stabilitas Lereng Pada Tanah Lempung Lunak Kabupaten Kapuas Dengan Perkuatan Geocell Menggunakan Program PLAXIS Dan Metode Fellenius	Alternatif Perkuatan Lereng *Gravity Wall* Dan Geosintetik Pada Kawasan PT United Tractors Satui
Tujuan Penelitian	- Mengetahui nilai angka aman lereng kondisi lapangan. - Mendesain lereng dengan perkuatan geotekstil dan gabion. - Mengetahui stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil dan gabion.	- Mengetahui stabilitas lereng timbunan pada kondisi eksisting. - Menghitung kebutuhan geotekstil untuk perkuatan.	Menganalisis *total displacement* dan angka aman pada studi kasus lereng timbunan dengan 3 kondisi pembebanan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil.	Mengetahui variasi jumlah lapis *geocell* pada studi kasus lereng tanah lempung lunak.	Menentukan metode perkuatan tanah yang tepat terhadap lereng pada kawasan PT United Tractors Satui berdasarkan angka aman.

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Perkuatan Lereng dengan Geosintetik Terdahulu dengan Perancangan Sekarang

Penelitian Terdahulu					Perancangan yang akan dilakukan
Peneliti	Rahma dkk. (2020)	Amin dkk. (2023)	Rachman (2024)	Fitriansyah dkk. (2024)	Rosyadah (2025)
Metode Penelitian	Perhitungan rumus empiris dan metode *Finite Element Method* (FEM).	Metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium*)	Metode *Finite Element Method* (FEM) dan metode fellenius.	Metode *Finite Element Method* (FEM) dan metode fellenius.	Metode *Rankine* dan *Finite Element Method* (FEM).
Hasil Penelitian	- Nilai angka aman kondisi lapangan diperoleh 0,98 dan 0,97 untuk akibat beban sendiri dan lalu lintas. - Panjang geotekstil yang didesain adalah 3 m dengan tinggi 4,8 m. Untuk desain gabion memiliki tinggi 4,5 m. - Nilai angka aman pada perkuatan geotekstil sebesar 1,415 dan perkuatan gabion sebesar 1,424.	- Stabilitas kondisi ekstsing lereng belum mencapai angka aman syarat. - Penggunaan geotekstil untuk dapat meningkatkan nilai angka aman hingga memenuhi syarat serta penurunan yang terjadi tidak melebihi batas maksimal.	- Lereng dengan perkuatan geotekstil menghasilkan angka aman lebih dari 1,25 pada ketiga kondisi pembebanan. - Terjadi penurunan *Total displacement* pada lereng dengan perkuatan geotekstil dari sebelum diberi perkuatan.	- Penggunaan *geocell* sebanyak 3 lapis secara horizontal dinilai paling efektif. - Semakin banyak jumlah lapisan *geocell* akan meningkatkan angka aman lereng.	

BAB III
LANDASAN TEORI

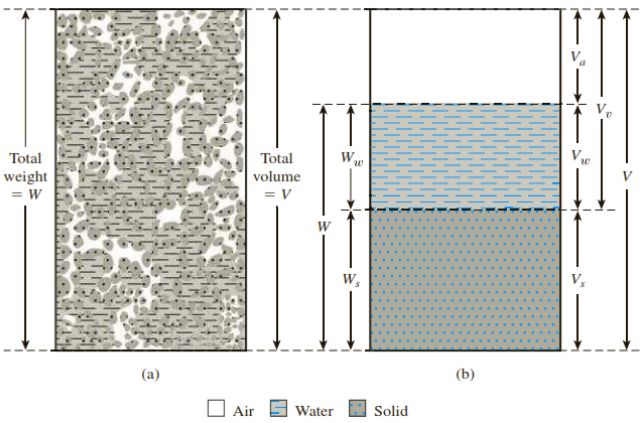
3.1 Tanah

Tanah adalah kumpulan mineral dengan bentuk endapan lepas di atas batuan dasar dan umumnya berasal dari pelapukan batuan organik ataupun vulkanik (Hardiyatmo, 2017). Pelapukan batuan dapat terjadi secara mekanik, kimiawi, dan organik sehingga mengakibatkan batuan tersebut hancur menjadi butiran mineral lepas. Proses pelapukan dan jenis batuan asalnya menjadikan tanah memiliki sifat fisik dan mineral penyusun yang beragam. Berikut merupakan penjelasan dari parameter sifat fisik tanah.

3.1.1 Parameter Sifat Fisik Tanah

1. Berat Volume

   Berat volume tanah merupakan rasio perbandingan antara berat tanah dengan volume keseluruhan tanah. Berat volume tanah dibedakan menjadi berat volume basah, berat volume jenuh, berat volume kering, dan berat volume padat. Tanah memiliki tiga fase atau komponen dalam keadaan natural, yaitu komponen padat, air, dan udara. komponen tersebut digambarkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Komponen Penyusun Tanah

(Sumber: Das dan Sobhan, 2018)

Berat volume basah (γ_b) adalah perbandingan berat tanah dengan volume total dalam keadaan alami. Komponen yang diperhitungkan adalah butiran padat, air, dan udara. Persamaan dari berat volume basah (γ_b) dinyatakan pada Persamaan 3.1.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \tag{3.1}$$

Berat volume jenuh (γ_{sat}) adalah perbandingan berat tanah dalam keadaan jenuh dengan volume total. Keadaan tanah jenuh adalah kondisi pori tanah yang terisi penuh oleh air. Persamaan dari berat volume jenuh (γ_{sat}) dinyatakan pada Persamaan 3.2.

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{(tanah+air)}}{V} \tag{3.2}$$

Berat volume kering (γ_d) adalah perbandingan berat tanah dalam keadaan kering dengan volume total. Berat tanah yang dihitung hanya komponen tanah. Persamaan dari berat volume kering (γ_d) dinyatakan pada Persamaan 3.3.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \tag{3.3}$$

Berat volume padat (γ_s) adalah perbandingan berat tanah padat dengan volume padat. Berat tanah yang diperhitungkan adalah komponen padat. Persamaan dari berat volume padat (γ_s) dinyatakan pada Persamaan 3.4.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \tag{3.4}$$

dengan,

γ_b = Berat volume basah (kN/m^3)
γ_{sat} = Berat volume jenuh (kN/m^3)
γ_d = Berat volume kering (kN/m^3)
γ_s = Berat volume padat (kN/m^3)
W = Berat total tanah meliputi komponen padat, air, dan udara (kN)

W_s = Berat tanah padat (kN)
V = Volume total tanah (m^3)
V_s = Volume tanah padat (m^3)

2. Permeabilitas (k)

Permeabilitas adalah sifat tanah yang mampu mengalirkan air dari titik bertekanan tinggi ke titik bertekanan rendah dengan adanya pori (Das dan Sobhan, 2018). Rembesan di bawah muka tanah sangat mempengaruhi pelaksanaan ataupun kestabilan suatu konstruksi. Pendekatan nilai koefisien permeabilitas dapat dinilai berdasarkan jenis tanahnya yang tercantum pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai Koefisien Permeabilitas

No.	Jenis Tanah	k (mm/detik)
1	Butiran kasar	$10 – 10^3$
2	Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir sedang	$10^{-2} – 10$
3	Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} – 10^{-2}$
4	Lanau padar, lanau berlempung	$10^{-5} – 10^{-4}$
5	Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} – 10^{-5}$

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

3. Modulus Elastisitas (E_s)

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dengan regangan pada tanah yang menunjukkan tingkat elastisitas atau kekakuannya. Pendekatan nilai modulus elastisitas berdasarkan jenis tanahnya terdapat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Nilai Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	E_s (MPa)
1. Lempung	
- Sangat lunak	
- Lunak	5 – 25
- Sedang	15 – 50
- Kasar	50 – 100
- Pasiran	25 – 250
2. Lapisan glasial	
- Tidak padat	10 – 150
- Padat	150 – 720
- Sangat padat	500 – 1440
3. *Loess*	15 – 60
4. Pasir	
- Lanau	5 – 20
- Tidak padat	10 – 25
- Padat	50 – 81
5. Pasir dan kerikil	
- Tidak padat	50 – 150
- Padat	100 – 200
6. Material lepas	150 – 5000
7. Lanau	2 – 20

(Sumber: Bowles, 1995)

4. *Poisson Ratio* (υ)

Poisson Ratio adalah rasio perbandingan antara tekanan aksial dengan regangan pemuaian lateral. Menurut Das dan Sobhan (2018) nilai *poisson ratio* dapat dilakukan pendekatan berdasarkan jenis tanahnya yang disebutkan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Nilai *Poisson Ratio*

Jenis Tanah	υ
Pasir lepas	0,2 – 0,4
Pasir sedang	0,25 – 0,4
Pasir padat	0,3 – 0,45

Lanjutan Tabel 3.3 Nilai *Poisson Ratio*

Jenis Tanah	υ
Pasir kelanauan	0,2 – 0,4
Lempung lunak	0,15 – 0,25
Lempung sedang	0,2 – 0,5

(Sumber: Das dan Sobhan, 2018)

5. Sudut geser dalam

Sudut geser dalam adalah sudut yang terbentuk sebagai akibat dari tegangan yang mengenai suatu tanah melebihi tegangan gesernya (Haris dkk., 2018). Semakin besar sudut geser dalam yang dimiliki, tanah akan lebih tahan menerima tegangan luar. Nilai sudut geser dalam diperoleh dari pengujian triaxial dan uji geser langsung. Sudut geser dalam berkaitan dengan kepadatan jenis tanah. Sudut geser dalam efektif (ϕ') terjadi pada kondisi tegangan efektif. Tabel 3.4 merupakan nilai sudut geser dalam efektif berdasarkan jenis tanah dan tingkat kepadatannya.

Tabel 3.4 Nilai Sudut Geser Dalam Efektif

Jenis Tanah	ϕ' (°)
Pasir : Butiran bulat	
• Lepas	27 – 30
• Sedang	30 – 35
• Padat	35 – 38
Pasir : Butiran bersudut	
• Lepas	30 – 35
• Sedang	35 – 40
• Padat	40 – 45
Kerikil sedikit berpasir	34 – 48
Lanau	26 – 35

(Sumber: Das, 2016)

6. Kohesi

Kohesi adalah satuan berat per luas yang menyatakan gaya tarik menarik antar partikel tanah (Haris dkk., 2018). Kohesi sebagai penentu ketahan tanah

dalam menerima tegangan luar. Nilai kohesi diperoleh dari pengujian laboratorium, yaitu uji triaxial dan uji geser langsung. Kohesi efektif (c') terjadi pada kondisi tegangan efektif.

Tabel 3.5 Kohesi Efektif Pada Tanah Berkohesi

Konsistensi Tanah	c' (kPa)
Lunak – organik	5 – 10
Lunak – non organic	10 – 20
Kaku	20 – 50
Padat	50 – 100

(Sumber: Look, 2007)

3.1.2 Kuat Geser

Kuat geser adalah tahanan yang dimiliki massa tanah per satuan luas untuk menahan kegagalan di sepanjang bidang runtuh (Das dan Sobhan, 2018). Tegangan geser terjadi akibat dari beban yang bekerja pada tanah sehingga terjadi tegangan normal pada bidang runtuh sebagai gaya perlawanan untuk mempertahankan kondisinya. Kuat geser dirumuskan pada persamaan *Mohr-Coulomb* yang menghubungkan antara tegangan normal dengan tegangan geser pada Persamaan 3.5.

$$\tau = c + \sigma \tan\phi \tag{3.5}$$

dengan,

τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

ϕ = sudur geser dalam tanah (°)

Air pori dapat menurunkan tegangan efektif tanah sehingga berakibat pada pengurangan kuat geser. Persamaan *Mohr-Coulomb* dikembangkan kembali pada Persamaan 3.6.

$$\tau = c' + (\sigma - u)\, tan\phi' \tag{3.6}$$

Karena $\sigma' = \sigma - u$, maka

$$\tau = c' + \sigma'\, tan\phi' \tag{3.7}$$

dengan,

c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2)

σ' = tegangan normal efektif (kN/m^2)

u = tekanan air pori (kN/m^2)

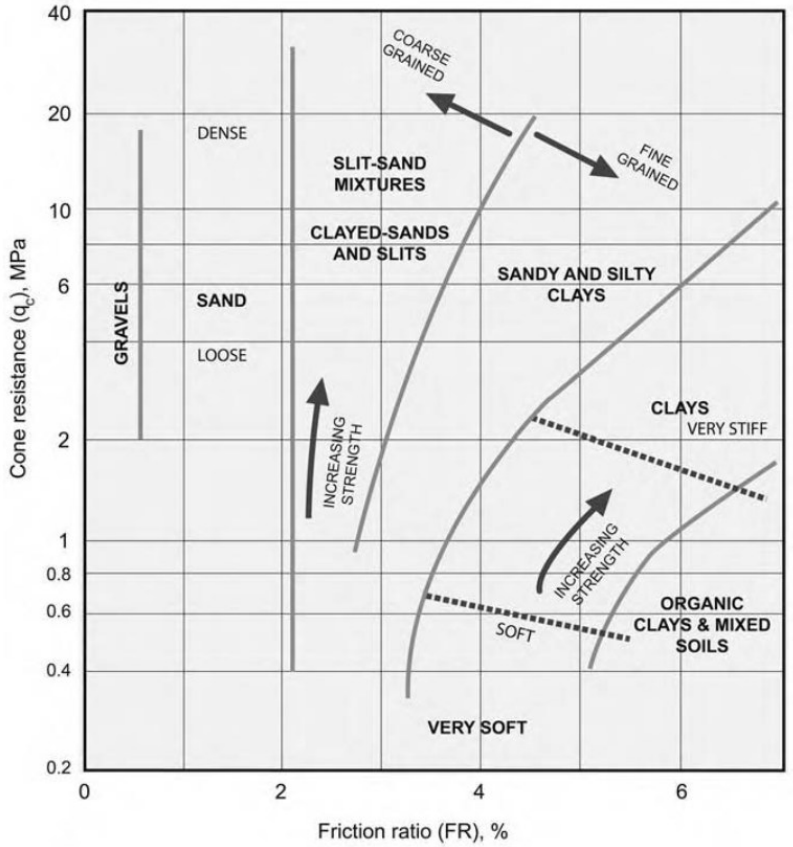
ϕ' = sudut geser dalam efektif (°)

3.2 Pengujian Lapangan

Pengujian lapangan merupakan pengambilan sampel tanah pada lapangan untuk mengetahui klasifikasi material tanah tersebut (Look, 2007). Pengujian lapangan yang umum dilakukan adalah *Cone Penetration Test* (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT).

3.2.1 *Cone Penetration Test* (CPT)

CPT atau biasa disebut sondir merupakan pengujian lapangan yang menggunakan kerucut konus untuk menentukan daya dukung tanah dengan cara menghitung nilai perlawanan penetrasi konus (qc) dan perlawanan lekat (fs) (Tini dkk., 2017). Pengujian dilakukan dengan menekan ujung konus ke dalam tanah menggunakan dongkrak mekanik dengan kecepatan yang teratur. Schmertmann (1978) menghubungkan nilai qc dengan fs atau fr pada pengujian konus mekanik untuk menentukan klasifikasi tanah.



Gambar 3.2 Grafik CPT Terhadap *Properties* Tanah

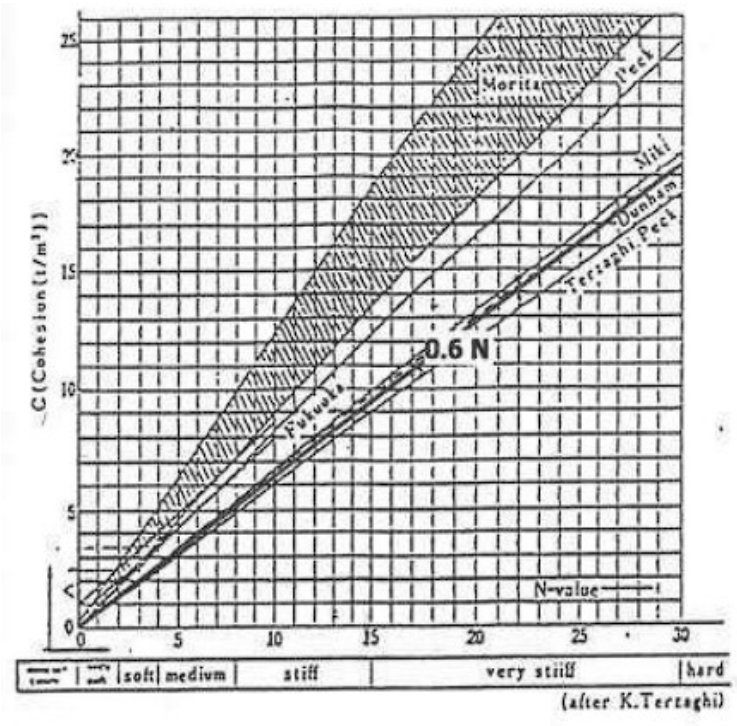
(Sumber: Schmertmann, 1978)

3.2.2 *Standard Penetration Test* (SPT)

SPT atau biasa disebut boring merupakan pengujian statis untuk mengambil sampel tanah pada lapangan (Tini dkk., 2017). Sampel dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui gradasi ukuran butirannya, modulus geser, dan properti tanah. Prinsip pengujian SPT adalah memukul tabuh pada lubang bor setiap kedalaman 15cm dan dihitung jumlah pukulannya. Dalam Warman, (2019), parameter fisik tanah dapat diketahui melalui korelasi N-SPT sebagai berikut.

1. Korelasi N-SPT dengan kohesi *undrianed* (C_u) pada tanah lempung

   Terzaghi dan Peck (1967) memberikan korelasi antara N-SPT dengan nilai Cu melalui pendekatan grafik pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Grafik Korelasi N-SPT dan Cu pada Tanah Kohesif

(Sumber: Terzaghi & Peck, 1967)

Gambar 3.3 menyatakan korelasi tersebut dengan mengalikan nilai N-SPT dengan faktor pengali untuk memperoleh nilai Cu. Persamaan 3.8 merupakan persamaan yang menyatakan korelasi kedua hal tersebut.

$$Cu = 6\ N \tag{3.8}$$

dengan,

Cu = *Undrained Shear Strength* (kN/m^2)

N = Nilai N-SPT

2. Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas (Es) pada tanah kohesif

Tan dkk. (1991) memberikan pendekatan nilai modulus elastisitas tanah pada tanah kohesif dengan Persamaan 3.9. Persamaan tersebut relevan untuk jenis tanah lanau, tanah lempung kelanauan, dan tanah pasir kelanauan

$$Es = 300\ (N + 6) \tag{3.9}$$

dengan,

Es = Modulus elastisitas (kN/m^2)

N = Nilai N-SPT

3.3 Stabilitas Lereng

Lereng adalah bidang tanah yang miring dengan sudut kemiringan dan ketinggian tertentu. Masa tanah dapat bergerak menuruni lereng karena melemahnya kuat geser tanah dan meningkatnya tegangan geser, pergerakan ini disebut dengan longsoran tanah. Gaya gravitasi dan rembesan menjadi factor terjadinya longsor. Stabilitas lereng diartikan sebagai kemampuan lereng untuk menahan geser dan runtuh tanpa mengalami pergerakan atau deformasi yang berlebihan. Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui keamanan lereng. Keamanan lereng dinyatakan sebagai angka aman (*Factor of Safety*) yang ditulis oleh Das dan Sobhan (2018) dalam Persamaan 3.10 dan 3.11.

$$F_S = \frac{\tau_f}{\tau_d} \tag{3.10}$$

Atau

$$F_S = \frac{c' + \sigma' \, tan\phi'}{c_d' + \sigma' \, tan\phi_d'} \tag{3.11}$$

dengan,

F_S = angka aman

τ_f = kuat geser tanah rata – rata

τ_d = tegangan geser rata – rata sepanjang bidang runtuh

3.3.1 Angka Aman Terhadap Beban Statis

Beban statis diartikan sebagai beban yang pergerakannya tidak signifikan, bahkan tidak bergerak. BSN (2017) memberikan rekomendasi nilai angka aman atau faktor keamanan untuk lereng tanah.

Tabel 3.6 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Tanah

Biaya dan Konsekuensi dari Kegagalan Lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah[a]	Tinggi[b]
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
[a]Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahammi, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan. [b]Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat komples, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

(Sumber: BSN, 2017)

AASHTO (2007) dalam Berg dkk. (2009) menentukan faktor tahanan geser berdasarkan kepasitian parameter tanah dan struktur yang membebaninya, seperti jembatan, pondasi gedung, dan sebagainya.

ϕ = 0,75 untuk parameter tanah yang pasti dan lereng tidak dibebani elemen struktur.

ϕ = 0,65 untuk parameter tanah yang tidak pasti dan lereng dibebani elemen struktur.

3.3.2 Angka Aman Terhadap Beban Gempa

BSN (2017) mensyaratkan FS gempa minimum pada analisis pseudo-statik adalah 1,1 (FS>1,1) dengan koefisien seismik (kh) yang diperoleh dari percepatan puncak di permukaan.

3.4 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*Finite Element Method*) menganalisis stabilitas lereng lebih kompleks dengan memodelkan kondisi statik, pseudo-statik, dan dinamik. Beban gempa pada kondisi pseudo statik menunjukan pengaruh seismic dengan percepatan pseudo statik dengan yang akan menghasilkan gaya inersia

dengan percepatan horizontal (Fh) dan percepatan vertikal (Fv) bekerja pada pusat keruntuhan (BSN, 2017). Salah satu perangkat lunak yang dapat menganalisis lereng dengan metode elemen hingga adalah PLAXIS 2D. PLAXIS adalah program komputer dengan metode grafis untuk memodelkan geometri lereng dan jaringan elemennya berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi (Setyanto dkk., 2016). Metode elemen hingga memerlukan *input* data yang baik agar diperoleh *output* yang teliti.

Berikut merupakan prosedur analisis metode elemen hingga Menurut Rao (2010) dalam Ridwan dan Yusa (2019).

1. Proses diskritisasi, yaitu membagi geometri tertentu menjadi elemen diskrit.
2. Memilih persamaan interpolasi untuk memperoleh hasil yang paling mendekati. Umumnya dalam wujud polinomial.
3. Menyelesaikan seluruh persamaan interpolasi.
4. Menyelesaikan kalkulasi tegangan dan regangan.

3.5 Metode Rankine

Metode Rankine digunakan untuk merancang dinding penahan tanah dengan memperhitungkan tekanan tanah lateral yang merupakan gaya tekan tanah di dinding penahan tanah (Agusty dkk., 2020). Terdapat 3 macam tekanan tanah lateral.

1. Tekanan tanah dalam keadaan diam

   Tekanan tanah dalam keadaan diam merupakan istilah untuk tanah yang tertahan dalam arah horizontal dan tidak mengalami deformasi horizontal. Koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (K_0) dinyatakan seebagai hubungan antara tegangan horizontal dan tegangan vertikal dengan Persamaan 3.12.

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \tag{3.12}$$

   Rasio Poison dengan koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam memiliki hubungan secara teoritis yang dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.13.

$$K_0 = \frac{\upsilon}{1-\upsilon} \quad (3.13)$$

dengan,

K_0 = Koefisien tekanan tanah diam

σ_h = Tegangan horizontal (kN/m^2)

σ_v = Tegangan vertikal (kN/m^2)

υ = Ratio poison

2. Tekanan tanah aktif (P_a)

Tekanan tanah aktif adalah tekanan tanah lateral yang mengenai dinding penahan dengan gaya relatif mendorong dinding penahan dan dapat mengakibatkan keruntuhan. Dalam Hardiyatmo (2010), tekanan tanah aktif (P_a) untuk tanah lempung menurut teori Rankine dinyatakan pada Persamaan 3.14 dan Persaman 3.15.

$$P_a = \gamma z K_a - 2 c' \sqrt{K_a} \quad (3.14)$$

$$K_a = tg^2(45 - \frac{\emptyset}{2}) \quad (3.15)$$

dengan,

γ = Berat volume (kN/m^3)

z = kedalam (m)

c' = kohesi tanah (kN/m^2)

K_a = koefisien tanah aktif

$\emptyset$ = sudut geser dalam (°)

3. Tekanan tanah pasif

Tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah lateral yang mengenai dinding penahan dengan gaya relatif menahan tekanan tanah aktif. Dalam Hardiyatmo (2010), tekanan tanah pasif (P_p) menurut teori Rankine dinyatakan pada Persamaan 3.16 dan Persamaan 3.17.

$$P_p = \gamma z K_p + 2 c' \sqrt{K_p} \quad (3.16)$$

$$K_p = tg^2(45 + \frac{\emptyset}{2}) \quad (3.17)$$

dengan,

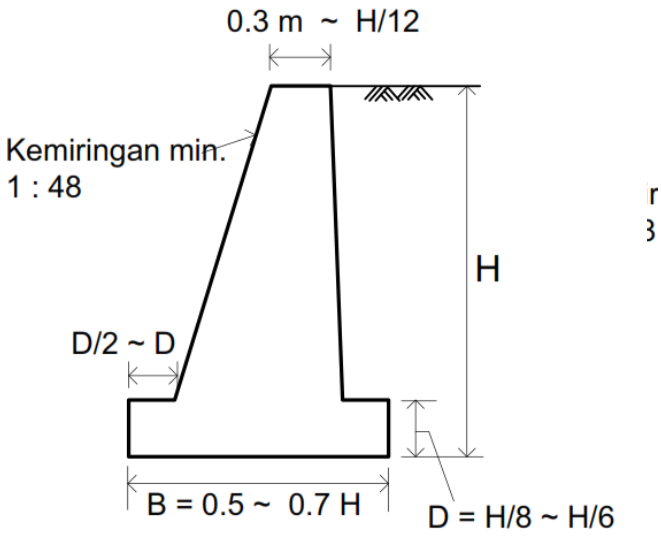
K_p = koefisien tanah pasif

3.6 Perkuatan Tanah

Perkuatan tanah merupakan suatu metode untuk meningkatkan stabilitas lereng, kekuatan, dan daya dukung tanah. Salah satu metode perkuatan dalam meningkatkan stabilitas lereng adalah dengan memberikan struktur bangunan perkuatan, seperti dinding penahan tanah tipe gravitasi atau dengan memberikan perkuatan lereng dengan geosintetik.

3.6.1 Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi

Dinding penahan tanah tipe gravitasi (*Gravity wall*) merupakan jenis dari dinding penahan tanah yang dirancang untuk mencegah kelongsoran lereng menggunakan beratnya sendiri sebagai penahannya. *Gravity wall* terbuat dari pasangan batu kali ataupun beton tidak bertulang. Faktor yang harus dipertimbangkan dalam perancangan dinding penahan tanah adalah stabilitas guling, stabilitas geser lateral, dan daya dukung tanah. Terdapat tipikal dimensi untuk perancangan *gravity wall* dapat dilihat pada Gambar 3.4 (BSN, 2017).



Gambar 3.4 Tipikal Dimensi *Gravity wall*

(Sumber: BSN, 2017)

Terdapat beberapa tinjauan analisis stabilitas untuk perkuatan dinding penahan tanah dapat dinyatakan aman atau stabil. Berikut adalah analisis stabilitas yang akan ditinjau berdasarkan SNI 8460:2017 (BSN, 2017).

1. Stabilitas geser lateral

   Stabilitas geser adalah kemampuan menahan pergeseran horizontal yang terjadi antara tanah dengan pondasi. Analisis stabilitas geser lateral memiliki syarat faktor aman minimal 1,5 (BSN, 2017). Faktor aman terhadap pergeseran (Fgs) dinyatakan pada Persamaan 3.18.

$$FS_{sliding} = \frac{\sum(wi)\tan\emptyset + B\,c' + Pp}{P_a} \quad (3.18)$$

   dengan,

   $FS_{sliding}$ = Faktor aman terhadap pergeseran

   P_p = Tekanan tanah pasif total (kN/m^2)

   w_i = berat dinding penahan dan tanah diatas pelat pondasi

   $\emptyset$ = sudut geser dalam (°)

   B = lebar pondasi dinding penahan (m)

   c’ = kohesi pada tanah dasar (kN/m^2)

   P_a = Tekanan tanah aktif total (kN/m^2)

2. Stabilitas guling

   Stabilitas guling adalah kemampuan menahan guling akibat dari tekanan tanah lateral yang cenderung mendorong dinding penahan terhadap pusat rotasi, atau disebut dengan momen guling (Annisa, 2018). Nilai minimum faktor aman terhadap guling dinding penahan adalah 2 (BSN, 2017). Persamaan stabilitas guling dinyatakan pada Persamaan 3.19.

$$FS_{guling} = \frac{\sum Mr}{\sum Mo} \quad (3.19)$$

   dengan,

   $\sum$ Mr = Momen yang melawan pergulingan atau penahan (kNm)

   $\sum$ Mo = Momen yang mengakibatkan pergulingan atau penggerak (kNm)

3. Daya dukung tanah

Akibat resultan gaya yang terjadi pada dinding penahan tanah, analisis terhadap daya dukung tanah perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan terhadap tanah pondasi dan penurunan berlebih. Hasil analisis daya dukung tidak boleh melebihi daya dukung izin tanah. Syarat angka aman minimal untuk stabilitas daya dukung tanah berdasarkan SNI 8560:2017 adalah 3 (BSN, 2017). Analisis daya dukung tanah dapat dihitung dengan Persamaan 3.20, 3.21, 3.22, dan 3.23.

$$FS_{\text{daya dukung}} = \frac{\text{qult}}{\text{qmax}} \tag{3.20}$$

$$q_{max} = \frac{\sum(w_i)}{B}\left[1 + \frac{6e}{B}\right] \tag{3.21}$$

$$X = \frac{\sum Mw - \sum Mgl}{\sum(w_i)} \tag{3.22}$$

$$e = \frac{1}{2}B - X \tag{3.23}$$

dengan,

$FS_{\text{daya dukung}}$ = Faktor aman terhadap daya dukung tanah

q_{ult} = Daya dukung tanah (kN/m^2)

q_{max} = Gaya yang tekan pada dasar perkuatan (kN/m^2)

e = Jarak horizontal berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat pondasi terhadap pusat pondasi (m)

X = Jarak horizontal berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat pondasi terhadap sisi terluar pondasi (m)

B = Lebar dasar perkuatan (m)

Syarat eksentrisitas pada dasar pekuatan harus lebih kecil atau sama dengan lebar dasar perkuatan dibagi 6 ($e \leq B/6$). Apabila kondisi eksentrisitas melebehi B/6, maka terjadi gaya tarik pada perkuatan tersebut.

4. Stabilitas global

Analisis stabilitas global dapat menggunakan bantuan perangkat lunak dengan metode analisis yang ditentukan, seperti perangkat lunak PLAXIS 2D dengan metode analisis *finite Element Methode* (FEM). PLAXIS 2D dapat

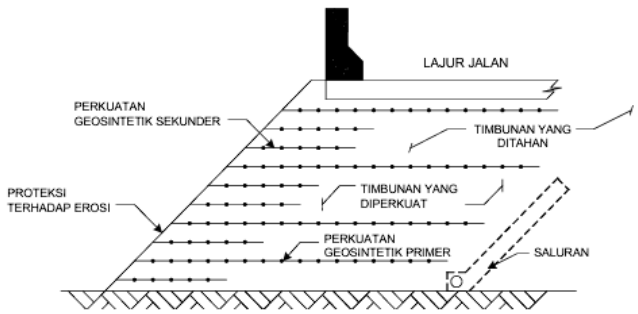
memodelkan lereng dengan keruntuhan global. Berdasarkan SNI 8560:2017 syarat angka aman minimal terhadap stabilitas global untuk dinding penahan tanah adalah 1,5 (BSN, 2017).

3.6.2 Lereng yang Diperkuat dengan Geosintetik

Lereng yang diperkuat adalah cara perkuatan secara mekanis pada bidang lereng dengan kemiringan muka kurang dari 70° terhadap bidang horizontalnya (BM, 2009). Adanya perkuatan pada lereng memungkinkan sudut kemiringan dapat lebih besar namun tetap aman. Menurut BM (2009), perkuatan lereng dengan cara ini dapat mengurangi pemakaian lahan, mengurangi volume timbunan, mengurangi biaya untuk elemen penutup (*facing*), dan memungkinkan kualitas timbunan dapat lebih rendah. Penggunaan geosimtetik sebagai perkuatan dapat mengurangi penurunan pada timbunan di atas tanah lunak.

Geosintetik merupakan material polimer sintesis untuk diaplikasikan ke tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya. Jenis geosintetik dipilih sesuai dengan fungsinya. Untuk perkuatan lereng, jenis geosintetik yang sesuai dengan fungsinya adalah geotekstil dan *geogrid*. Kedua jenis ini memiliki sifat tarik yang kuat sehingga sesuai untuk perkuatan. Material tanah timbunan juga menjadi faktor pemilihan jenis geosintetik. *Geogrid* sesuai untuk material tanah timbunan granular. Hal ini akan meningkatkan kaitan atau *interlock* antara tanah dengan geotekstil.

Wujud lereng yang diperkuat dengan geosintetik adalah lereng miring dengan tumpukan beberapa lapis geosintetik seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Lereng yang Diperkuat dengan Geosintetik

(Sumber: BM, 2009)

Lembaran geosintetik dihamparkan sesuai panjang rencana kemudian ditimbun dengan tanah timbunan. Pemadatan tanah timbunan dilakukan setiap hamparan setinggi 10 – 20 cm.

Perencanaan lereng yang diperkuat harus memenuhi stabilitas internal, eksternal dan gabungan. BM (2009) memberikan persyaratan kinerja atau stabilitas terhadap lereng yang diperkuat dengan geosintetik sebagai berikut.

1. Stabilitas Internal

   Stabilitas internal yang dimaksud adalah tahanan cabut lembar geosintetik terhadap tanah yang diperkuat. Angka aman minimal tahanan cabut disyaratkan sebesar 1,5 untuk tanah berbutir dan 2 untuk tanah kohesif. Angka ini digunakan sebagai acuan dalam perencanaan kebutuhan geosintetik. Tahapan perhitungan kebutuhan geosintetik dijelaskan pada rincian berikut.

   a. Cek gaya tarik geosintetik yang dibutuhkan

      Kebutuhan gaya tarik pada perkuatan dapat dihitung dengan Persamaan 3.24.

$$\mathrm{Ts-max} = (\mathrm{FK_R} - \mathrm{FK_U})\ \frac{\mathrm{M_D}}{\mathrm{R}} \qquad (3.24)$$

      dengan,

      Ts-maks = gaya tarik maksimum yang dibutuhkan per satuan lebar perkuatan (kN/m)

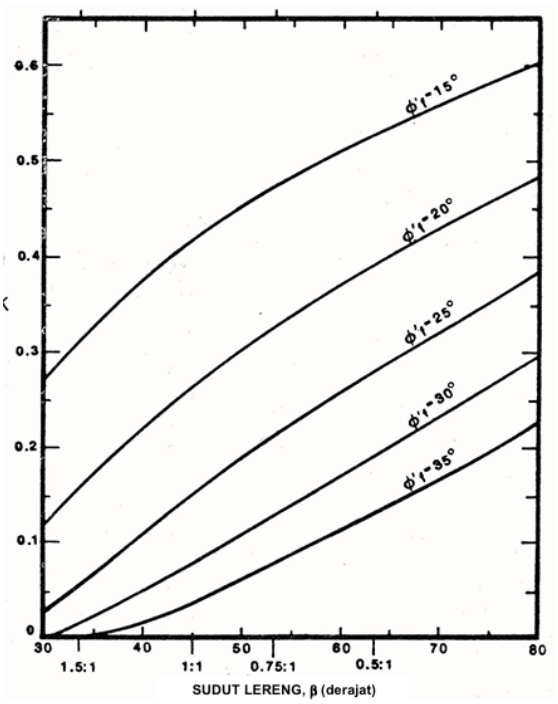
      $\mathrm{M_D}$ = momen pendorong (kNm)

      R = radius terhadap titik rotasi bidang gelincir (m)

      $\mathrm{FK_R}$ = angka aman perkuatan yang ditargetkan

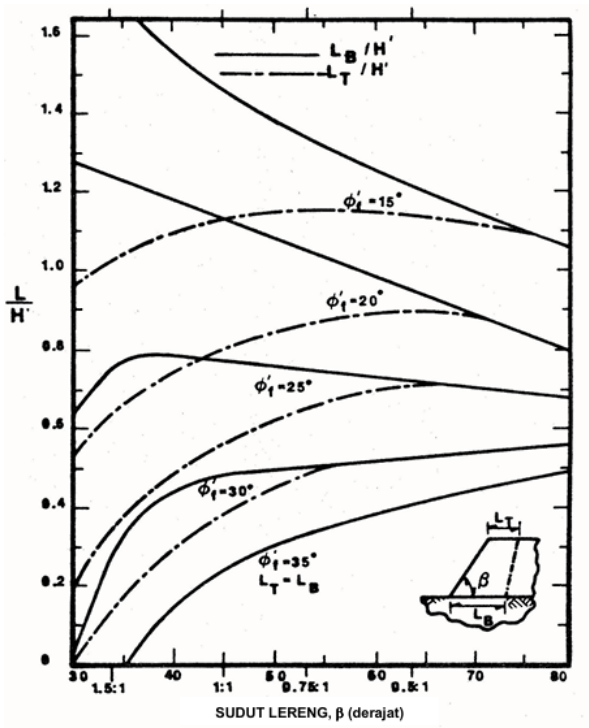
      $\mathrm{FK_U}$ = angka aman perkuatan tanpa perkuatan.

      Selain melalui Persamaan 3.24, dapat dilakukan dengan metode grafik melalui kurva perencanaan untuk menentukan besarnya perkuatan (Schmertmann dkk dalam Elias dkk, 2001). Grafik tersebut terdapat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Penentuan Koefisian Gaya, K

(Sumber: Schmertmann dkk dalam Elias dkk, 2001)



Gambar 3.7 Penentuan Perbandingan Panjang Perkuatan, L/H'

(Sumber: Schmertmann dkk dalam Elias dkk, 2001)

dengan,

K = koefisien gaya

φ'f = $\tan^{-1}\left(\frac{\tan \varphi_r}{FK_R}\right)$

LT = panjang geosintetik lapisan teratas (m)

LB = panjang geosintetik lapisan terbawah (m)

H' = tinggi timbunan efektif (m)

b. Distribusi perkuatan

Pada lereng dengan ketinggian lebih dari 6 m, perkuatan harus didistribusikan pada dua atau tiga zona dengan ketinggian yang sama. Sedangkan untuk lereng dengan ketinggian kurang dari 6 m, perkuatan cukup didistribusikan pada satu zona.

c. Spasi vertikal (Sv)

Spasi vertikal dihitung berdasarkan gaya tarik maksimum tiap tulangan (Ts) yang terjadi. Kemudian Ts harus memenuhi kuat tarik geosintetik. Persamaan 3.25 adalah persamaan untuk menentukan Ts dan Persamaan 3.26 untuk menghitung kuat tarik izin.

$$Ts = \frac{T_{zona}\, S_V}{H_{zona}} \tag{3.25}$$

$$Tall = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \text{ X } RF_{ID} \text{ X } RF_D} \tag{3.26}$$

dengan,

Ts = Tmax = kuat tarik di setiap lapis (kN/m)

Sv = spasi vertikal (m)

Tzona = kuat tarik yang dibutuhkan tiap zona (kN/m)

Hzona = ketinggian zona (m)

Tult = kuat tarik ultimit geosintetik (kN/m)

Tall = kuat tarik geosintetik yang diizinkan (kN/m)

RF_{CD} = faktor reduksi rangkak

RF_{ID} = faktor reduksi kerusakan saat instalasi

RF_D = faktor reduksi ketahanan terhadap mikroorganisme.

d. Panjang tulangan geosintetik

Panjang tulangan geosintetik adalah panjang total dari panjang tertanam (Le) dan panjang di sepanjang bidang runtuh. Panjang Le minimum yang disyaratkan adalah 1 m (BM, 2009)Persamaan 3.27 merupakan perhitungan panjang tertanam.

$$Le = \frac{T_{max}\, FK_{PO}}{F*.\alpha.\sigma'_v.C} \quad (3.27)$$

dengan,

Le = panjang tertanam di belakang bidang runtuh (m)

Tmax = kuat tarik di setiap lapis (kN/m)

FKpo = faktor keamanan cabut

F* = faktor tahanan cabut

α = faktor koreksi skala

C = keliling efektif perkuatan, untuk *geogrid* dan geotekstil = 2

σ'_v = tegangan vertikal efektif antara tanah dengan geosintetik (kN/m^2)

Tabel 3.7 merupakan nilai F* dan α oleh Elias dkk. dalam BM (2019).

Tabel 3.7 Nilai F* dan α

Tipe Perkuatan	Nilai F*	Nilai α
Geogrid	2/3 tanϕ	0,8
Geotekstil	2/3 tanϕ	0,6

(Sumber: Elias dkk, 2001)

Panjang yang telah diperoleh perlu dilakukan pengecakan terhadap tahanan cabut menggunakan Persamaan 3.28 sebagai berikut.

$$FKcabut = \frac{Le\,.\,2F*.\alpha\,.\,\sigma v}{Tmax} \quad (3.28)$$

dengan,

FKcabut = angka aman terhadap cabut (minimal 1,5)

Le = panjang penjangkaran geosintetik (m)

F* = faktor tahanan cabut

α = faktor koreksi skala

Tmax = kuat tarik di setiap lapis (kN/m)

σ_v = tegangan vertikal antara tanah dengan geosintetik (kN/m^2)

2. Stabilitas eksternal dan penurunan

a. Tahanan gelincir

Massa tanah yang diperkuat di setiap tingkat harus mampu menahan gelincir di sepanjang perkuatan. Tahanan gelincir yang disyaratkan adalah lebih dari atau sama dengan 1,3. Persamaan 3.29 merupakan persamaan untuk pengecekan stabilitas terhadap tahanan gelincir.

$$(W + Pa \sin\phi_b) \tan\phi_{min} = FK\ Pa \cos\phi_b \quad (3.29)$$

dengan,

$$W = \tfrac{1}{2} L^2 \gamma r (\tan\beta) \quad \text{, untuk } L \leq H \quad (3.30)$$

$$W = \left[LH - \frac{H^2}{2 \tan\beta}\right] \gamma r \quad \text{, untuk } L > H \quad (3.31)$$

$$Pa = \tfrac{1}{2} \gamma b\ H^2\ Ka \quad (3.32)$$

dengan pengertian,

L = panjang perkuatan terbawah di tiap lapisan (m)

H = tinggi lereng (m)

FK = faktor keamanan terhadap gelincir ($\geq$ 1,3)

Pa = tekanan tanah aktif (kN)

Ka = koefisien tekanan tanah aktif

ϕ_{min} = sudut geser minimum dari tanah yang diperkuat atau tanah dasar

β = sudut kemiringan lereng (°)

γr = berat isi tanah timbunan yang diperkuat (kN/m^3)

γb = berat isi tanah timbunan yang ditahan (kN/m^3)

ϕ_b = sudut geser tanah timbunan yang ditahan (°).

b. Keruntuhan global

Analisis keruntuhan global dapat dilakukan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS. Syarat minimum stabilitas global adalah lebih dari atau sama dengan 1,3 (≥ 1,3).

c. Keruntuhan daya dukung lokal (peremasan)

Angka aman terhadap peremasan dihitung apabila tebal lapisan tanah lunak di bawah timbunan kurang dari panjang lereng. Syarat minum angka aman terhadap peremasan adalah 1,3. Angka aman ini dihitung dengan Persamaan 3.33 berikut.

$$FK_{peremasan} = \frac{2\,c_u}{\gamma\,D_s\tan\beta} + \frac{4{,}14\,c_u}{H\gamma} \geq 1{,}3 \qquad (3.33)$$

dengan,

c_u = kohesi tak terdrainase (kN/m^2)

γ = berat isi tanah timbunan (kN/m^3)

D_s = tebal tanah lunak di bawah timbunan (m)

β = sudut kemiringan lereng (°)

H = tinggi timbunan (m)

d. Penurunan

Angka penurunan diperoleh dari analisis stabilitas global dengan perangkat *PLAXIS.* Angka yang dilihat adalah *total displacement*. *total displacement* merupakan pergerakan tanah searah sumbu x dan sumbu y akibat beban yang bekerja di atas tanah.

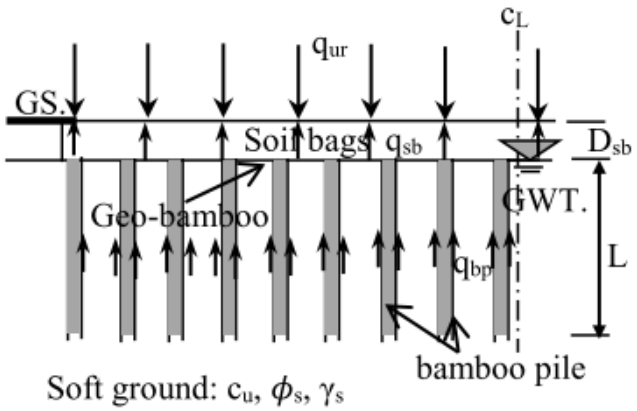
3.7 Parameter Pembebanan

BSN (2017) menyatakan bahwa dalam analisis stabilitas lereng perlu mempertimbangkan beban hidup, beban mati, dan beban gempa. Pembebanan dalam analisis sebesar 10 kN/m^2 sebagai beban yang bekerja di atas lereng. Angka tersebut sebagai asumsi beban alat berat yang akan bekerja di atas lereng.

3.8 Perkuatan Tanah Dasar

Konstruksi di atas tanah lempung atau berkohesi sering kali menimbulkan permasalahan karena nilainya yang rendah. Upaya peningkatan daya dukung tanah lempung sering dilakukan pada praktik di lapangan, seperti penggunaan cerucuk atau tiang pancang bambu di bawah tanah dasar timbunan. Perkuatan dengan cerucuk merupakan metode perkuatan tanah tradisional yang sering digunakan masyarakat Indonesia.

Suyuti dkk. (2020) melakukan perancangan tanggul di pesisir Maluku Utara yang memiliki risiko terhadap erosi menggunakan kombinasi kantung pasir (*soil-bags)*, geo komposit bambu (*geo-bambo*), dan cerucuk bambu. Pada kasus tersebut, timbunan kantung pasir berada pada tanah lunak sehingga diperlukan cerucuk bambu untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar. Terjadi peningkatan daya dukung yang signifikan pada tanah dasar dengan nilai CBR sebesar 4,86%. Nilai tersebut cukup mendekati angka minimum CBR untuk tanah dasar. Gambar 3.8 merupakan skema perkuatan tanah dasar atau pondasi dengan cerucuk bambu.



Gambar 3.8 Perkuatan Tanah Dasar dengan Cerucuk Bambu

(Sumber: Suyuti dkk., 2020)

Persamaan 3.34 merupakan persamaan untuk memperoleh daya dukung ultimit tanah dasar dengan perkuatan cerucuk bambu (Suyuti et al., 2020). Persamaan 3.35, 3.36, 3.37, dan 3.38 adalah persamaan untuk memperoleh daya dukung masing – masing komponen perkuatan tanah dasar, seperi daya dukung bangunan perkuatan dan cerucuk bambu.

$$q_u = q_{sb} + q_{gb} + q_{bp} \quad (3.34)$$

$$q_{sb} = c_u.Nc + q.Nq + 0{,}5.\ \gamma.B.N\gamma \quad (3.35)$$

$$q_{bp} = \alpha_{bp}\left(\frac{B\prime}{S}\right)c_u \quad (3.36)$$

$$\alpha_{bp} = \left(\frac{0{,}5L}{d}\right)^{-0{,}2}\left(\frac{c_u}{P\prime_o}\right)^{-0{,}3} \quad (3.37)$$

$$\frac{c_u}{P\prime_o} = 0{,}11 + 0{,}0037.PI(\%) \quad (3.38)$$

dengan,

q_u = daya dukung ultimit (kN/m^2)

q_{sb} = daya dukung *soil-bags* / bangunan perkuatan (kN/m^2)

q_{gb} = daya dukung *geo-bamboo* (kN/m^2)

q_{bp} = daya dukung friksi *bamboo-pile* / cerucuk bambu (kN/m^2)

cu = kohesi tanah *undrained* (kN/m^2)

q = beban tanah dan bangunan (kN/m^2)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

B = lebar dasar pondasi (kN/m^2)

Nc = faktor daya dukung tanah akibat kohesi tanah

Nq = faktor daya dukung tanah akibat beban terbagi rata

Nγ = faktor daya dukung tanah akibat berat tanah

α_{bp} = koefisien daya dukung friksi cerucuk bambu

S = jarak antar cerucuk bambu (m)

B’ = panjang dasar timbunan (m)

L = panjang cerucuk bambu (m)

d = diameter cerucuk bambu (m)

$\frac{c_u}{P\prime_o}$ = rasio *undrained shear strength*

PI = indeks plastis (%)

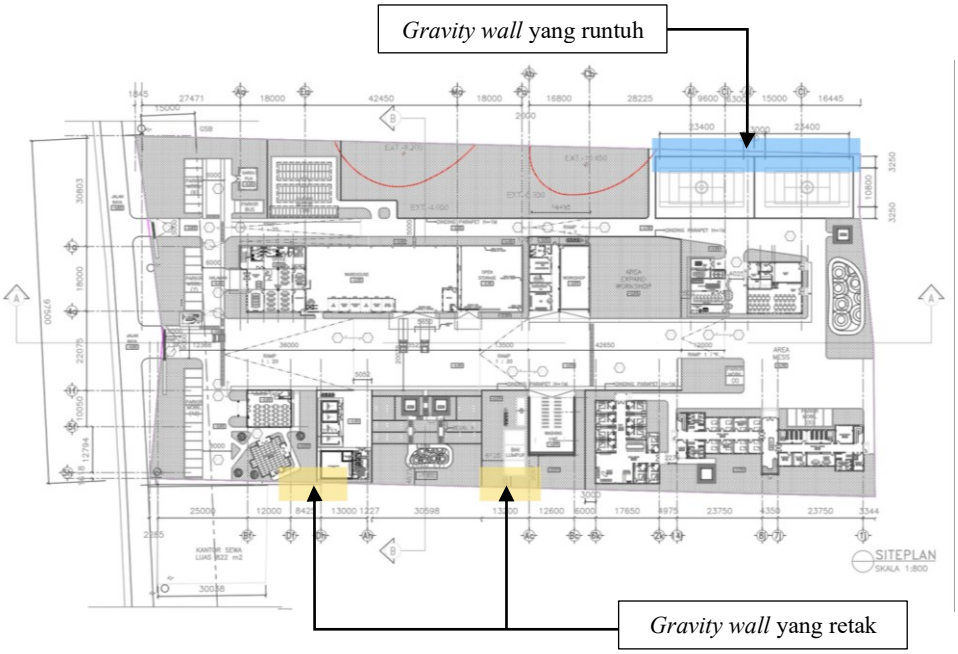
BAB IV
METODE PERANCANGAN

4.1 Tinjauan Umum

Perancangan alternatif perkuatan dirancang sebagai upaya perbaikan dinding penahan yang runtuh. Perancangan yang dilakukan dengan analisis stabilitas lereng pada dua jenis perkuatan lereng, yaitu dengan perancangan ulang dinding penahan tanah tipe gravitasi (*gravity wall redesign*) dan lereng dengan perkuatan geosintetik untuk alternatif 1 dan alternatif 2 secara berurutan. Analisis stabilitas menggunakan 2 metode, yaitu perhitungan manual dengan metode *Rankine* untuk analisis stabilitas internal dinding penahan dan metode elemen hingga (FEM) dengan perangkat PLAXIS 2D untuk analisis stabilitas global dan pengecekan penurunan. Peracangan ulang kedua alternatif perkuatan sesuai dengan acuan yang berlaku, yaitu SNI 8460 tahun 2019 tentang Persayaratan Peracangan Geoteknik dan peraturan Bina Marga 2009 tentang Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah Dengan Geosintetik. Hasil penelitian yang diperoleh merupakan perbandingan angka aman dari rancangan ulang dinding penahan tanah dan lereng yang diperkuat dengan geosintetik. Angka aman tersebut harus sesuai dengan syarat minimal angka aman di setiap tinjauan stabilitas yang dianalisis. Analisis pada perancangan adalah kondisi paling kritis, yaitu kondisi muka air tanah pada elevasi -1m.

4.2 Lokasi Penelitian

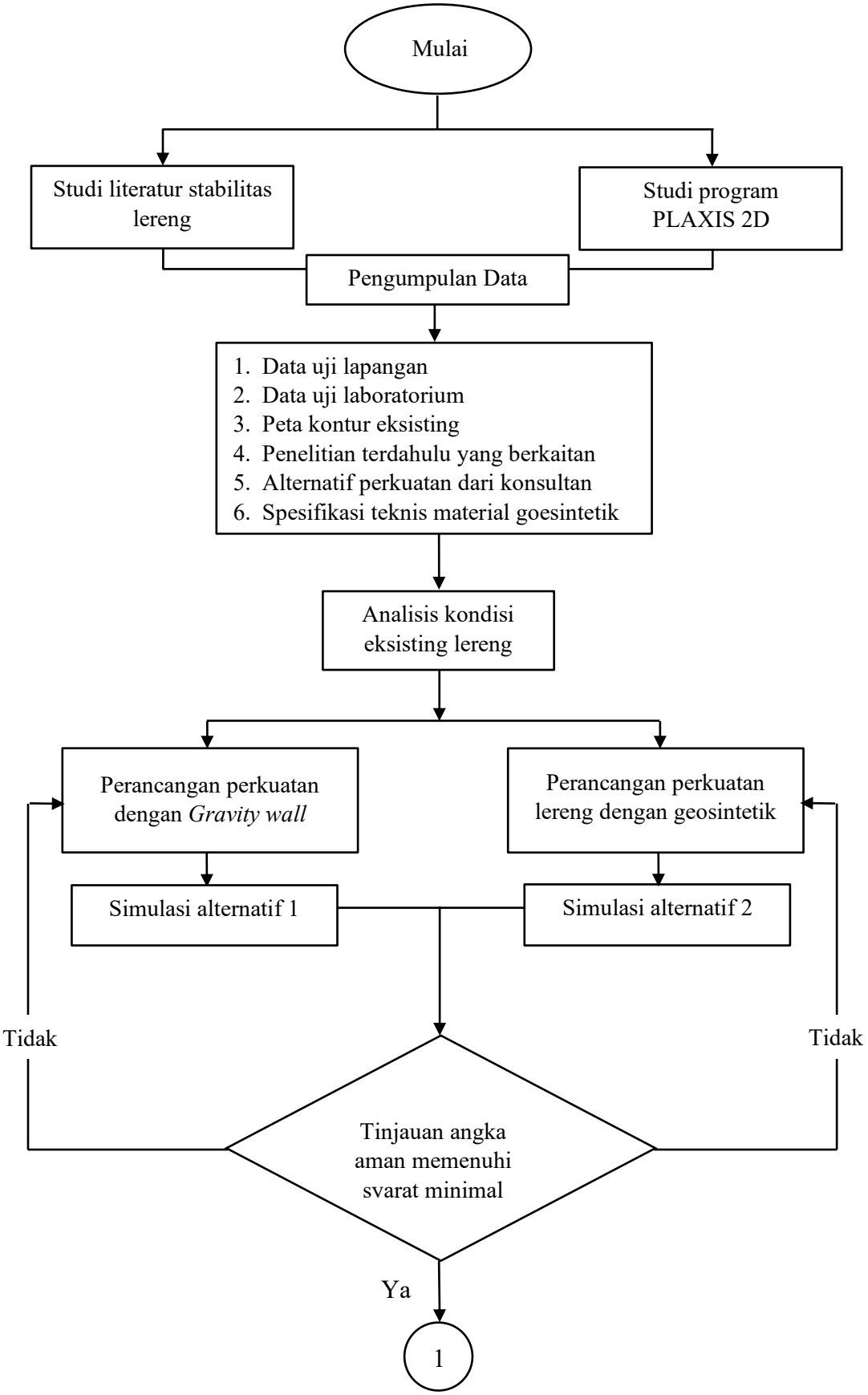
Objek penelitian ini merupakan segmen dinding penahan tanah eksisting yang mengalami keruntuhan dan retakan pada wilayah cabang United Tractors di Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Gambar 4.1 adalah *site plan* kawasan United Tractors Satui dengan segmen *gravity wall* yang runtuh dan retak telah ditandai. Segmen *gravity wall* yang akan ditinjau pada perancangan ini adalah *gravity wall* yang runtuh.

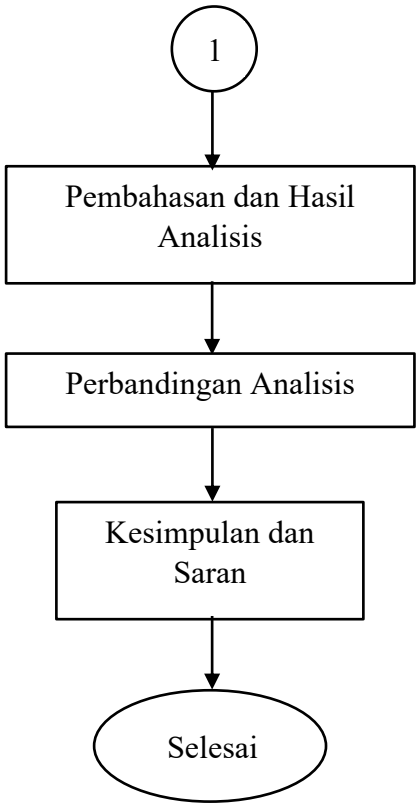


Gambar 4.1 Segmen DPT yang Runtuh dan Retak
(Sumber: *Shop Drawing* Konsultan Perencana)

4.3 Alur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur tentang stabilitas lereng dan studi program PLAXIS 2D. Kemudian dilakukan pengumpulan data sekunder, yang meliputi data uji lapangan, laboratorium, peta kontur eksisting, peta zona gempa, penelitian terdahulu, dan alternatif penanganan dari konsultan yang ada. Analisis kondisi eksiting dinding perkuatan yang rusak menggunakan program PLAXIS 2D untuk mendapatkan angka aman dengan pemodalan yang lebih komplek. Selanjutnya adalah mendesain alternatif perkuatan dengan *gravity wall* dan desain perkuatan dengan geosintetik. Perancangan meliputi analisis stabilitas eksternal dan internal dengan perhitungan manual dengan metode *Rankine* serta pemodelan dengan program PLAXIS 2D. Hasil analisis kedua alternatif perkuatan dibandingkan dan diambil kesimpulan terkait alternatif perkuatan yang memberikan angka aman yang lebih besar. Alur penelitian digambarkan dalam bagan alir pada Gambar 4.2.


Mulai
Studi literatur stabilitas lereng
Studi program PLAXIS 2D
Pengumpulan Data
1. Data uji lapangan
2. Data uji laboratorium
3. Peta kontur eksisting
4. Penelitian terdahulu yang berkaitan
5. Alternatif perkuatan dari konsultan
6. Spesifikasi teknis material goesintetik
Analisis kondisi eksisting lereng
Perancangan perkuatan dengan *Gravity wall*
Perancangan perkuatan lereng dengan geosintetik
Simulasi alternatif 1
Simulasi alternatif 2
Tidak
Tidak
Tinjauan angka aman memenuhi svarat minimal
Ya
1



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

4.4 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder. Data sekunder meliputi data tanah dan peta kontur eksisting diperoleh dari Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Proyek United Tractors Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan serta data literatur lainnya yang berkaitan. Adapun data tanah eksisting yang digunakan dalam analisis sebagai berikut.

1. Hasil pengujian SPT (*Standard Penetration Test*).
2. Uji laboratorium sampel tanah, yang meliputi sifat fisik dan mekanis tanah.
3. *Shop drawing* dinding penahan tanah United Tractors Satui, Kalimantan Selatan dari konsultan.

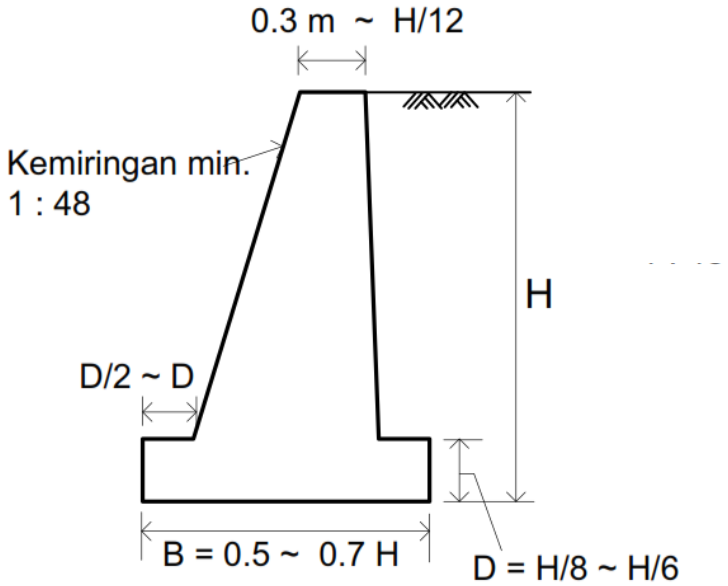
Adapun data literatur lainnya yang berkaitan dengan perancangan alternatif perkuatan. Berikut adalah peraturan standar yang digunakan dalam perancangan.

1. SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik (BSN, 2017).

2. Pedoman Konstruksi dan Bangunan No.003/BM/2009 tentang Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik (BM, 2009).
3. Spesifikasi teknis goesintetik.

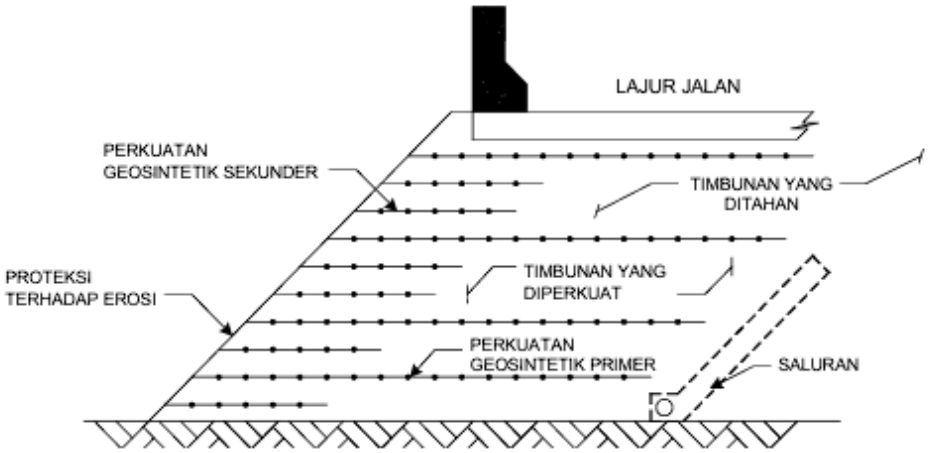
4.5 Perancangan dan Analisis Perkuatan

Alternatif 1 yang dirancang berupa *gravity wall redesign* dan Alternatif 2 merupakan lereng yang diperkuat dengan geosintetik. Perancangan kedua alternatif perkuatan dianalisis mengunakan perhitungan rumus empiris untuk stabilitas internal dan eksternalnya. Analisis stabilitas global, stabilitas terhadap gempa, dan penurunan menggunakan program *PLAXIS 2D*. Hasil yang diperoleh adalah nilai angka aman dari stabilitas lereng yang telah diperkuat. Gambar 4.3 adalah tipikal dimensi *gravity wall* dan Gambar 4.4 adalah gambaran umum lereng yang diperkuat dengan geosintetik.



Gambar 4.3 Tipikal dimensi *Gravity Wall*

(Sumber: BSN, 2017)



Gambar 4.4 Lereng yang Diperkuat Dengan Geosintetik

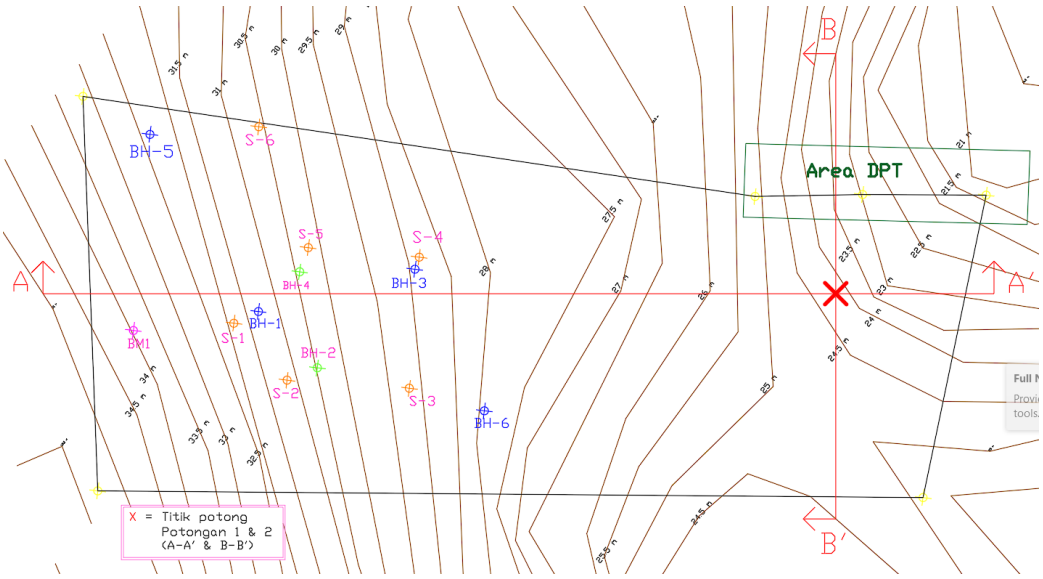
(Sumber: BM, 2009)

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5. 1 Stratigrafi Tanah

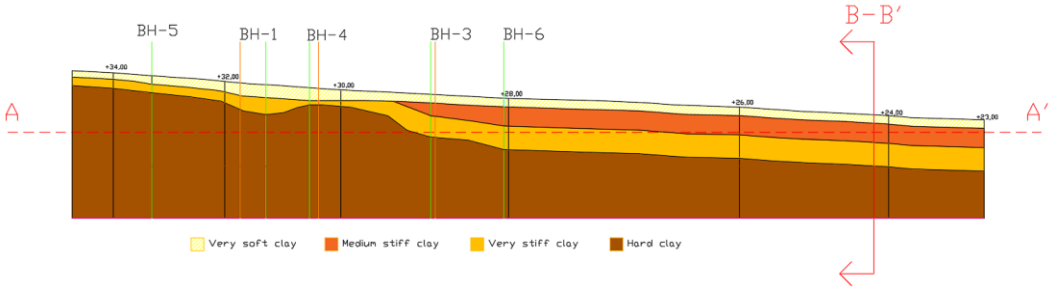
Stratigrafi tanah menunjukkan jenis setiap lapisan tanah pada potongan yang telah ditentukan. Stratigrafi tanah digunakan untuk memodelkan potongan lereng pada PLAXIS 2D. Identifikasi lapisan tanah berdasarkan pengujian SPT dan pengujian laboratorium pada sampel untuk menentukan profil tanah.

Penentuan potongan lereng menggunakan peta kontur yang diperoleh dari perangkat lunak *Global Mapper* untuk memperoleh data Sistem Informasi Geografis (SIG) melalui citra satelit. Hal ini dilakukan untuk memperjelas garis kontur pada bagian lereng dengan perkuatan DPT eksisting yang akan ditinjau. Gambar 5.1 merupakan potongan pada peta kontur.

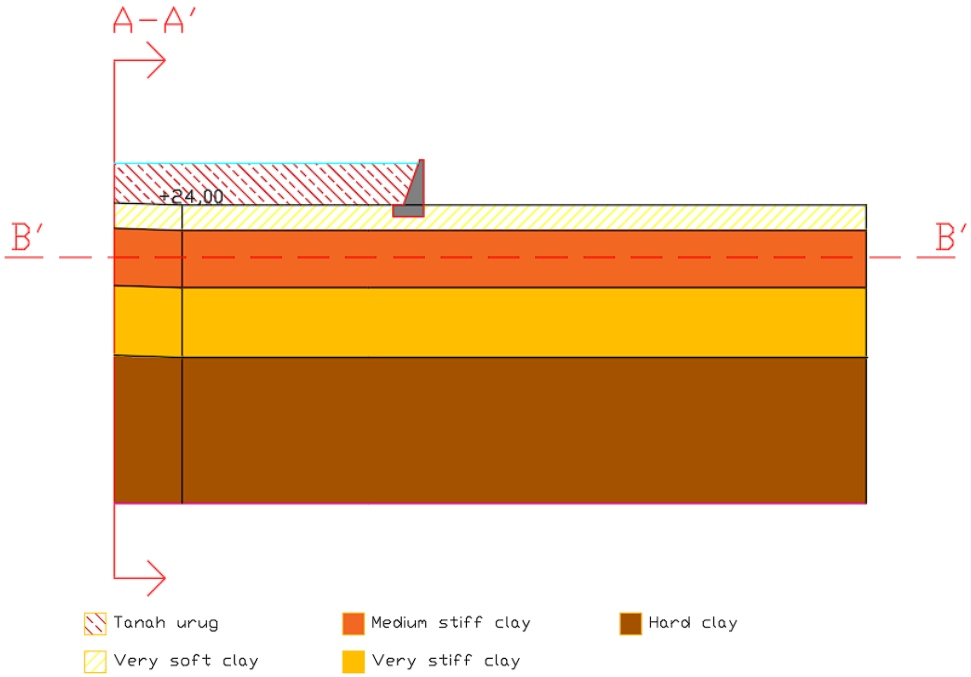


Gambar 5.1 Peta Kontur Kawasan United Tractors Satui

Tanda X merah pada gambar merupakan titik potong atau titik temu dari garis potongan 1 (A-A') dan potongan 2 (B-B'). Titik tersebut digunakan sebagai acuan penetapan stratigrafi tanah pada potongan 2 sesuai titik *borehole.* Gambar 5.2 dan 5.3 merupakan potongan 1 dan potongan 2 secara berurutan.



Gambar 5.2 Stratigrafi Tanah Potongan 1 (A-A')



Gambar 5.3 Stratigrafi Tanah Potongan 2 (B-B')

Stratigrafi tanah yang digunakan untuk analisis adalah potongan 2. Parameter profil tanah potongan 2 diambil sesuai jenis tanahnya berdasarkan titik potong yang diasumsikan memiliki stratigrafi sama dengan potongan 1. Pada potongan 2, terdapat material tanah timbunan. Adapun parameter tanah yang ditetapkan menggunakan pendekatan dari nilai N-SPT, yaitu parameter nilai kohesi (c) dan modulus elastisitas (Es). Nilai c diambil dengan Persamaan 3.8 dan nilai Es diambil dengan Persamaan 3.9. Berikut adalah contoh penetapan parameter tanah berdasarkan Persamaan 3.8 dan Persamaan 3.9.

1. Kedalaman 3,3 – 5,3 m

   a. Nilai c

      c = 6 x N

      = 6 x 5

      = 30 kN/m^2

   b. Nilai Es

      Es = 300 (N + 6)

      = 300 (5+6)

      = 3300 kN/m^2

Tabel 5.1 merupakan data profil tanah pada potongan 2 setelah dilakukan pendekatan parameter tanah.

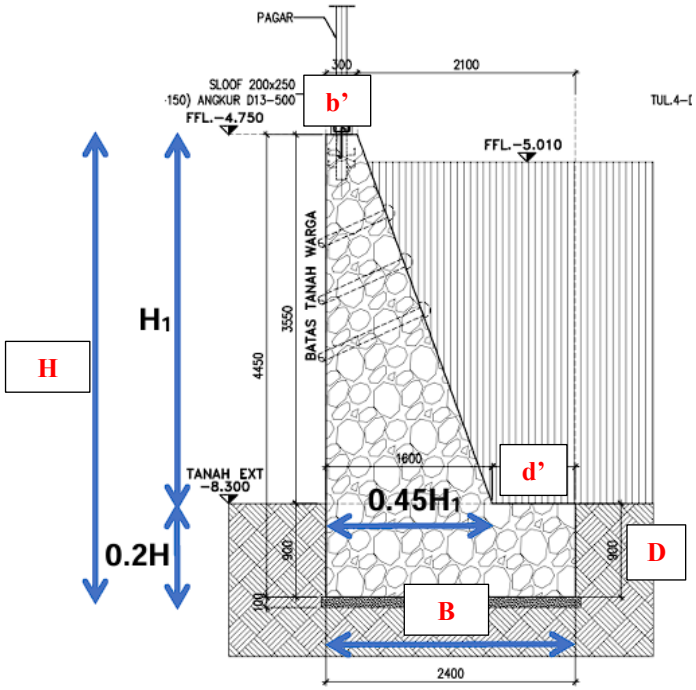
Tabel 5.1 Profil Tanah Potongan 2

Kedalaman (m)	Data Lapangan	Jenis Tanah	N-SPT	γ_{unsat} (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	Es (kN/m^2)	*Direct shear test*		PI (%)
							c (kN/m^2)	φ (°)	
0 – 3,3	Tanah timbunan	*Sand*	-	17	18	10000	0,3	25	21,873
3,3 – 5,3	BH – 5	*Very soft clay*	5	17,270	18,270	3300	30	14,821	21,873
5,3 – 9,8	BH – 6	*Medium stiff clay*	7	16,103	17,103	3900	42	10,282	20,122
9,8 – 15,3	BH – 3	*Very Stiff clay*	17	17,152	18,152	6900	102	12,134	15,046
15,3 -26,8	BH – 1	*Hard clay*	58	18,045	19,045	19200	348	11,849	27,685

Pada pemodelan PLAXIS 2D, keruntahan lereng dimodelkan dengan model *Mohr Coulumb*. Tipe drainase dipilih sesuai dengan jenis tanahnya, untuk tanah pasir menggunakan tipe *Drained* dan tanah lempung menggunakan tipe *Undrained A*.

5. 2 Dinding Penahan Tanah Eksisting

Tipe dinding penahan tanah pada kondisi eksisting adalah dinding penahan tanah gravitasi dengan material pasangan batu. Dinding ini menahan tanah timbunan setinggi 3,3 m. Gambar 5.4 merupakan potongan dinding penahan yang mengalami kerusakan. Geometri dinding penahan pada potongan ini menjadi acuan analisis kondisi eksisting.



Gambar 5.4 Dinding Penahan Tanah Eksisting

(Sumber: PT. Arsitek Arupadatu)

Berdasarkan Gambar 5.4, dapat diketahui detail dimensi geometri dinding penahan tanah sebagai berikut.

H = 4,45 m

B = 2,40 m

b' = 0,30 m

d' = 0,80 m

5. 3 Analisis Kondisi Eksisting

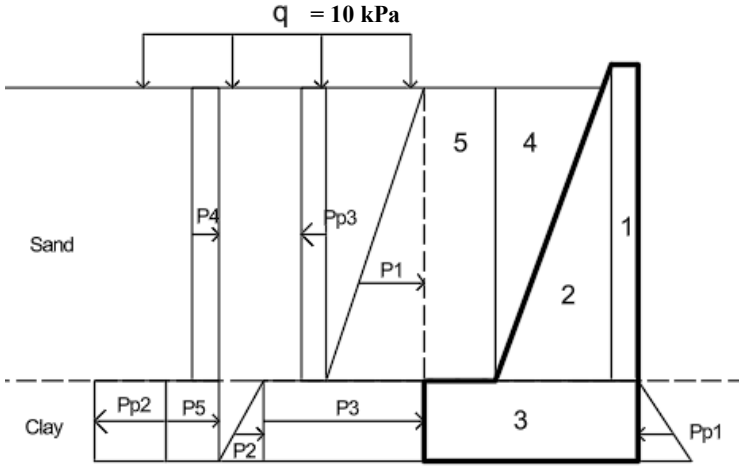
Analisis kondisi eksisting dilakukan pada potongan 2 dengan parameter tanah dan geometri dinding penahan yang telah ditetapkan. Terdapat dua kondisi dalam analisis ini, yaitu kondisi tanah kering dan kondisi muka air tanah pada elevasi -1m.

5.3.1 Analisis Dalam Kondisi Tanah Kering

Kondisi tanah kering berarti tidak ada muka air tanah yang mempengaruhi dinding penahan. Berikut adalah perhitungan kondisi eksisting dalam kondisi tanah kering.

1. Identifikasi kasus

Identifikasi kasus pada potongan dinding penahan tanah berupa identifikasi lapisan tanah dan diagram tekanan aktif dan pasif. Gambar 5.5 merupakan gambar diagram tekanan aktif dan pasif.



Gambar 5.5 Identifikasi Diagram Tekanan Aktif dan Pasif Kondisi Kering

a. Lapisan Tanah 1 (timbunan)

ϕ' = 25°

c' = 0,3 kPa

Perhitungan koefisien tanah aktif dan pasif menggunakan Persamaan 3.15 dan 3.17 secara berurutan sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

K_{a-1} = 0,406

K_{p-1} = 2,464

Pada lapisan 1, terdapat tekanan aktif akibat tanah sendiri (P_1), beban merata (P_4), dan tekanan pasif dari kohesi tanah (P_{p3}).

1) P_1

Tegangan vertikal (σ_{h-1}) = γ . h . K_{a-1}

= 17 . 3,3 . 0,406

= 22,769 kPa

P_1 = 0,5 . σ_{h-1} . h

= 0,5 . 22,769 . 3,3

= 37,568 kN

2) P_4

Tegangan vertikal (σ_{hq-1}) = q . K_{a-1}

= 10 . 0,406

= 4,059 kPa

P_4 = σ_{hq-1} . h

= 4,059. 3,3

= 13,393 kN

3) P_{p3}

Tegangan pasif ($2\ c'\sqrt{K_p}$) = 0,382 kPa

P_{p-3} = $2\ c'\sqrt{K_p}$ h

= 0,382 . 3,3

= 1,261 kN

b. Lapisan Tanah 2 (tanah dasar)

ϕ' = 14,821°

c’ = 30 kPa

Perhitungan koefisien tanah aktif dan pasif menggunakan Persamaan 3.15 dan 3.17 secara berurutan sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

K_{a-2} = 0,593

K_{p-2} = 1,687

Pada lapisan 2, terdapat tekanan aktif akibat tanah sendiri (P_2), beban berata timbunan (P_3), beban merata (P_5), tekanan tanah lempung di depan dinding (P_{p1}), dan tekanan pasif dari kohesi tanah (P_{p2}). Perhitungan dilakukan seperti pada lapisan tanah 2 sesuai dengan diagram pada Gambar 5.5. berikut adalah data yang diperoleh

P_2 = 4,145 kN

P_3 = 29,921 kN

P_5 = 5,333 kN

P_{p1} = 11,803 kN

P_{p2} = 41,570 kN

2. Resultan tekanan aktif (P)

Tabel 5.2 adalah rekapitulasi tekanan aktif dan momen aktif yang terjadi sesuai Gambar 5.5.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Aktif

	Tekanan Total (ΣP)	Jarak tinjau (y)	Momen (P.y)
	kN	m	kNm
P_1	37,568	2,000	75,137
P_2	4,145	0,300	1,243
P_3	29,921	0,450	13,464
P_4	13,393	2,550	34,153
P_5	5,333	0,450	2,400
ΣP =	90,361	ΣP.y =	126,398

Resultan momen tersebut terjadi pada titik berat yang dapat diketahui dengan perhitungan berikut.

$$\bar{y} = \frac{\Sigma P.y}{\Sigma P}$$

$$= \frac{126,398}{90,361}$$

= 1,399 m

Dari Tabel 5.2 dan perhitungan tersebut dapat diperoleh resultan momen aktif sebesar 126,398 kNm, tekanan total sebesar 90,361 kN dengan titik berat resultan pada ketinggian 1,399 m dari dasar dinding.

3. Resultan tekanan pasif (P_p)

Tekanan pasif yang terjadi meliputi tekanan pasif pada tanah dan berat dinding penahan. Tabel 5.3 merupakan rekapitulasi tekanan pasif akibat kohesi tanah.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Kohesi

	Tekanan Total (ΣP)	Jarak tinjau (y)	Momen (P.y)
	kN	m	kNm
P_{p1}	11,803	0,300	3,541
P_{p2}	41,570	0,450	18,706
P_{p3}	1,261	2,550	3,217
ΣP =	54,634	ΣP.y =	25,464

Resultan momen tersebut terjadi pada titik berat yang dapat diketahui dengan perhitungan seperti pada tekanan aktif. Titik berat resultan tekanan pasif terjadi pada ketinggian 0,466 m. Tabel 5.4 merupakan tekanan pasif akibat berat dinding penahan dengan penomoran bagian mengacu pada Gambar 5.5.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Dinding Penahan

Bagian	Luas	Berat volume (γ)	Berat (w_i)	Jarak tinjau (x)	Momen
	m^2	kN/m^3	kN/m	m	kNm
1	1,065	24,000	25,560	0,150	3,834
2	2,308	24,000	55,380	0,733	40,612
3	2,160	24,000	51,840	1,200	62,208
4	1,980	17,000	33,660	1,100	37,026
5	2,640	17,000	44,880	2,000	89,760
		Σ V =	211,320	Σ M =	233,440

Berdasarkan Tabel 5.3 dan Tabel 5.4, dapat diperoleh total momen pasif (MR) yang terjadi adalah sebesar 258,904 kNm.

4. Stabilitas geser

Perhitungan stabilitas geser diperoleh dengan Persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$FS_{sliding} = \frac{\sum(wi)\tan\emptyset + B\,c' + Pp}{P_a}$$

$$= \frac{211{,}320 \,.\, \tan(14{,}821) + 2{,}4 \,.\, 30 + 54{,}634}{90{,}361}$$

$$= 2{,}020 \qquad > 1{,}5$$

Angka aman kondisi eksisting dinding penahan terhadap stabilitas geser telah memenuhi syarat minimal, yaitu 1,5. Dengan demikian, dinding eksisting dapat dikatakan aman terhadap stabilitas geser.

5. Stabilitas guling

Perhitungan stabilitas guling diperoleh dengan Persamaan 3.19 sebagai berikut.

$$FS_{guling} = \frac{\sum Mr}{\sum Mo}$$

$$= \frac{126{,}398}{258{,}904}$$

$$= 2{,}048 \qquad > 2$$

Angka aman kondisi eksisting dinding penahan terhadap stabilitas guling telah memenuhi syarat minimal, yaitu 2. Dengan demikian, dinding eksisting dapat dikatakan aman terhadap stabilitas guling.

6. Stabilitas daya dukung tanah

Stabilitas daya dukung tanah dapat dihitung apabila memenuhi syarat eksentrisitas beban, yaitu e ≤ B/6. Berikut adalah perhitungan cek eksentrisitas dengan Persamaan 3.23.

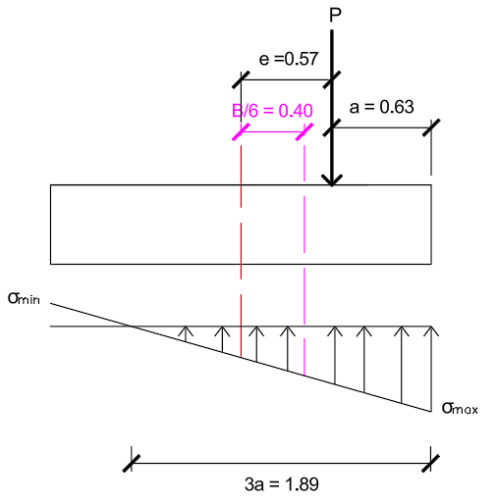
$$B/6 = 0{,}4 \text{ m}$$

$$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{\Sigma \text{Mtotal}}{\Sigma \text{V}}\right)$$

$$= \frac{2{,}4}{2} - \left(\frac{258{,}904 - 126{,}398}{211{,}32}\right)$$

$$= 0{,}573 \text{ m} \quad \rightarrow e > B/6 \text{ , eksentrisitas tidak memenuhi syarat}$$

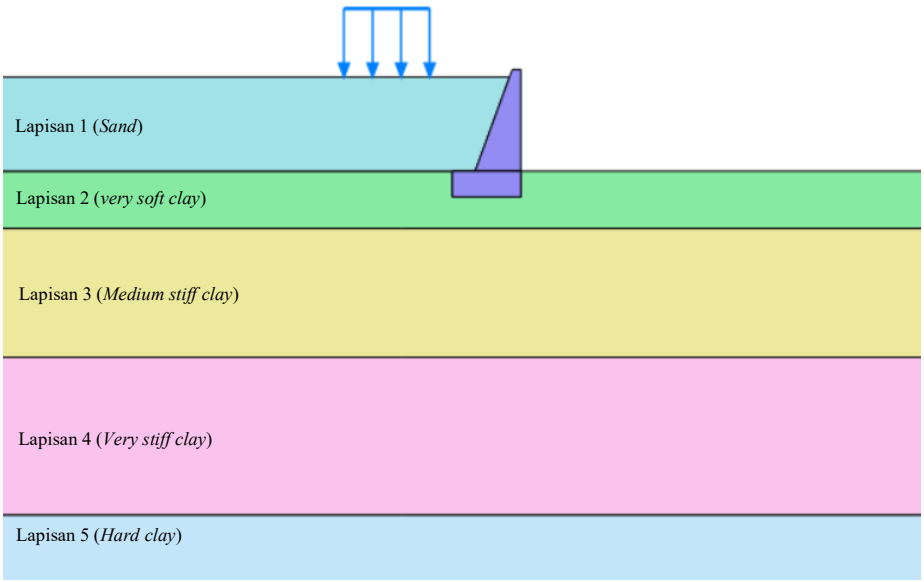
Berdasarkan perhitungan tersebut, eksentrisitas tidak memenuhi syarat sehingga dinding penahan mengalami tarik dan terjadi pada kegagalan daya dukung tanah. Gambar 5.6 adalah letak eksentrisitas yang terjadi pada dasar dinding penahan selebar 2,4 m.



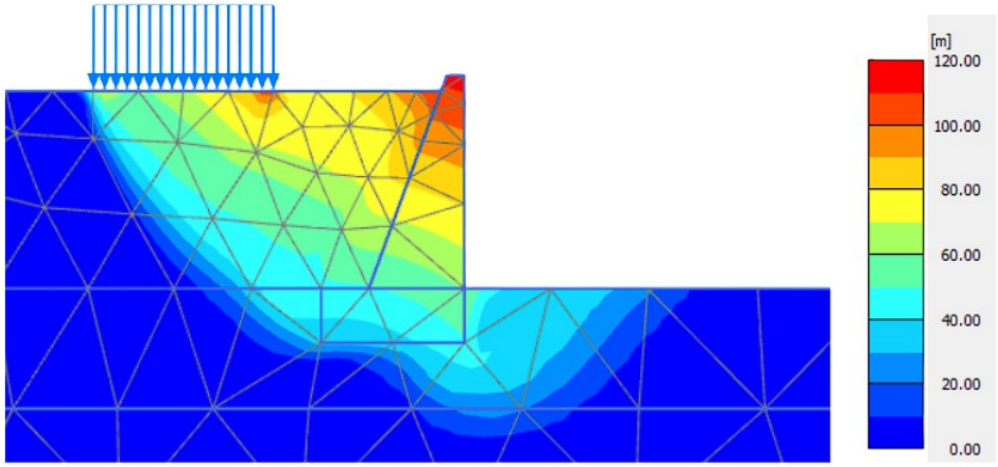
Gambar 5.6 Eksentrisitas Dasar DPT Eksesting Kondisi Kering

7. Stabilitas global

Nilai stabilitas global diperoleh dengan pemodelan pada perangkat lunak PLAXIS. Gambar 5.7 merupakan gambar potongan lereng pada pemodelan PLAXIS dengan lapisan tanah mengacu Tabel 5.1. Berdasarkan hasil analisis pemodelan, diperolah angka aman terhadap stabilitas global adalah 1,892 dari yang disyaratkan 1,5. Hasil analisis berupa bidang longsor terhadap analisis FS global Gambar 5.8.



Gambar 5.7 Potongan Lereng Kondisi Kering pada PLAXIS



Gambar 5.8 Bidang Longsor Analisis FS Global pada Kondisi Kering

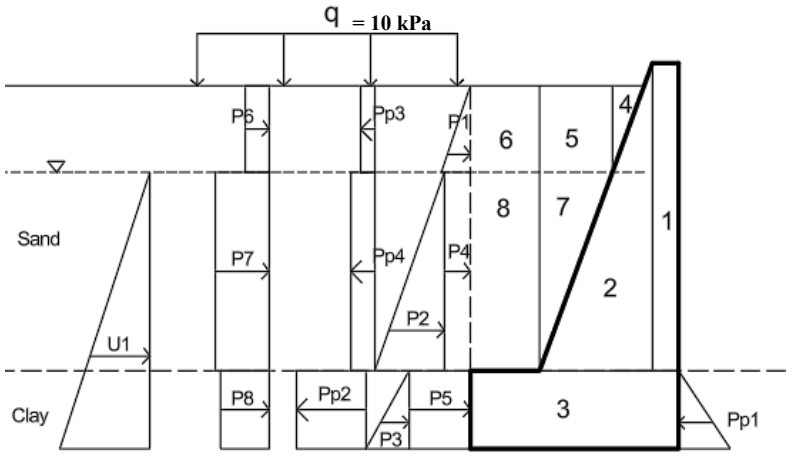
Hasil analisis perhitungan stabilitas dinding penahan eksisting pada kondisi kering mengalami kegagalan pada stabilitas daya dukung tanah. Artinya tanah dasar pada dinding penahan dan dimensi dinding yang demikian tidak mampu menahan tekanan aktif yang terjadi. Di sisi lain, angka aman terhadap stabilitas geser, guling, dan global telah memenuhi syarat minimum.

5.3.2 Analisis Dalam Kondisi Elevasi Muka Air Tanah pada Elevasi -1m

Kondisi ini merupakan asumsi bahwa lokasi tinjau mengalami genangan atau peningkatan muka air tanah (MAT) pada tanah timbunan. Berikut adalah analisis perhitungan pada kondisi terjadi kenaikan MAT.

1. Identifikasi kasus

   Identifikasi kasus pada potongan dinding penahan tanah berupa identifikasi lapisan tanah dan diagram tekanan aktif dan pasif. Adanya muka air tanah menambah tekanan air pada pori tanah. Gambar 5.9 merupakan gambar diagram tekanan aktif dan pasif.



Gambar 5.9 Identifikasi Diagram Tekanan Aktif dan Pasif dengan MAT

a. Lapisan Tanah 1 (timbunan kering)

Perhitungan koefisien tanah aktif dan pasif menggunakan Persamaan 3.15 dan 3.17 secara berurutan sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

K_{a-1} = 0,406

K_{p-1} = 2,464

Pada lapisan 1, terdapat tekanan aktif akibat tanah sendiri (P_1), beban merata (P_6), dan tekanan pasif dari kohesi tanah (P_{p3}). Perhitungan tekanan aktif dan pasif dilakukan sama seperti kondisi kering dengan ketinggian tanah (h) adalah 1 m. Berikut adalah hasil yang diperoleh.

P_1 = 3,450 kN

P_6 = 4,059 kN

P_{p3} = 0,382 kN

b. Lapisan Tanah 2 (timbunan jenuh)

Lapisan tanah 2 merupakan tanah timbunan pasir yang terendam air. Perhitungan koefisien tanah aktif dan pasif sama seperti lapisan 1 yang memiliki jenis tanah sama. Sehingga diperoleh nilai yang sama. Pada lapisan ini, terdapat tekanan aktif akibat tanah sendiri (P_2), beban merata timbunan (P_4), beban merata (P_7), dan tekanan pasif dari kohesi tanah (P_{p4}).

1) P_2

Tegangan vertikal ($\sigma_{h\text{-}2}$) $= (\gamma_{sat} - \gamma_w)$. h . $K_{a\text{-}2}$

$= (18\text{-}10)$. 2,3 . 0,406

$= 7{,}468$ kPa

P_2 $= 0{,}5$. $\sigma_{h\text{-}2}$. h

$= 0{,}5$. 7,468 . 2,3

$= 8{,}588$ kN

2) P_4

Tegangan vertikal ($\sigma_{h\text{-}lap1}$) $= \gamma_{unsat}$. h . $K_{a\text{-}2}$

$= 17$. 1. 0,406

$= 6{,}900$ kPa

P_4 $= \sigma_{h\text{-}lap1}$. h

$= 6{,}900$. 2,3

$= 15{,}869$ kN

3) P_7

Tegangan vertikal ($\sigma_{hq\text{-}2}$) $= q$. $K_{a\text{-}2}$

$= 10$. 0,406

$= 4{,}059$ kPa

P_7 $= \sigma_{hq\text{-}1}$. h

$= 4{,}059$. 2,3

$= 9{,}335$ kN

4) P_{p4}

Tegangan pasif ($2\, c'\sqrt{K_p}$) $= 0{,}382$ kPa

P_{p4} $= 2\, c'\sqrt{K_p}$ h

$= 0{,}382$. 2,3

$= 0{,}879$ kN

c. Lapisan Tanah 3 (timbunan dasar jenuh)

Lapisan tanah ini merupakan tanah lempung pada kondisi jenuh. Perhitungan koefisien tanah aktif dan pasif menggunakan Persamaan 3.15 dan 3.17 secara berurutan sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

$K_{a\text{-}3} = 0{,}593$

$K_{p\text{-}3}$ = 1,687

Pada lapisan 3, terdapat tekanan aktif akibat tanah sendiri (P_3), beban merata timbunan (P_5), beban merata (P_8), tekanan tanah lempung di depan dinding (P_{p1}), dan tekanan pasif dari kohesi tanah (P_{p2}). Perhitungan tekanan aktif dan pasif dilakukan sama seperti kondisi kering. Berikut adalah hasil yang diperoleh

P_3 = 1,985 kN

P_5 = 9,814 kN

P_8 = 5,333 kN

P_{p1} = 5,652 kN

P_{p2} = 41,570 kN

d. Tekanan air

Tekanan air pada kondisi ini diperhitungkan sesuai ketinggian MAT, yaitu 3,2 m. Berikut adalah perhitungan tekanan air (U).

$u = z_w \cdot \gamma_w$

$= 3{,}2 \cdot 10$

$= 32$ kPa

$U = 0{,}5 \cdot u \cdot z_w$

$= 0{,}5 \cdot 32 \cdot 3{,}2$

$= 51{,}2$ kN

2. Resultan tekanan aktif (P)

Tabel 5.5 adalah rekapitulasi tekanan aktif dan momen aktif yang terjadi sesuai Gambar 5.9.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Aktif

	Tekanan Total (ΣP)	Jarak tinjau (y)	Momen (P.y)
	kN	m	kNm
P_1	3,450	3,533	12,189
P_2	8,588	1,667	14,313
P_3	1,985	0,300	0,595
P_4	15,869	2,050	32,532
P_5	9,814	0,450	4,416
P_6	4,059	3,700	15,017

Lanjutan Tabel 5.5 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Aktif

	Tekanan Total (ΣP)	Jarak tinjau (y)	Momen (P.y)
	kN	m	kNm
P_7	9,335	2,050	19,136
P_8	5,333	0,450	2,400
U	51,200	1,067	54,613
ΣP =	109,632	ΣP.y =	155,212

Resultan momen tersebut terjadi pada titik berat yang dapat diketahui dengan perhitungan berikut.

$$\bar{y} = \frac{\Sigma P.y}{\Sigma P}$$

$$= \frac{155,212}{109,632}$$

$$= 1,416 \text{ m}$$

Dari Tabel 5.5 dan perhitungan tersebut dapat diperoleh resultan momen aktif sebesar 155,212 kNm, tekanan total sebesar 109,632 kN dengan titik berat resultan pada ketinggian 1,416 m dari dasar dinding.

3. Resultan tekanan pasif (P_p)

Tekanan pasif yang terjadi meliputi tekanan pasif pada tanah dan berat dinding penahan. Tabel 5.6 merupakan rekapitulasi tekanan pasif akibat kohesi tanah.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Kohesi

	Tekanan Total (ΣP)	Jarak tinjau (y)	Momen (P.y)
	kN	m	kNm
P_{p1}	5,652	0,300	1,696
P_{p2}	41,570	0,450	18,706
P_{p3}	0,382	3,700	1,414
P_{p4}	0,879	2,050	1,802
ΣP =	48,483	ΣP.y =	23,619

Resultan momen tersebut terjadi pada titik berat yang dapat diketahui dengan perhitungan seperti pada tekanan aktif. Titik berat resultan tekanan pasif terjadi pada ketinggian 0,487 m. Tabel 5.7 merupakan tekanan pasif akibat berat dinding penahan dengan penomoran bagian mengacu pada Gambar 5.9.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Dinding Penahan

Bagian	Luas	Berat volume (γ)	Berat (wi)	Jarak tinjau (x)	Momen
	m^2	kN/m^3	kN/m	m	kNm
1	1,065	24,000	25,560	0,150	3,834
2	2,308	24,000	55,380	0,733	40,612
3	2,160	24,000	51,840	1,200	62,208
4	0,200	17,000	3,400	0,647	2,199
5	0,840	17,000	14,280	1,190	16,993
6	0,800	17,000	13,600	2,000	27,200
7	0,966	8,000	7,728	1,330	10,278
8	1,840	8,000	14,720	2,000	29,440
		Σ V =	186,508	Σ M =	192,764

Berdasarkan Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 dapat diperoleh total momen pasif (MR) yang terjadi adalah sebesar 216,383 kNm.

4. Stabilitas geser

Perhitungan stabilitas geser diperoleh dengan Persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$FS_{sliding} = \frac{\sum(wi)\tan\emptyset + B\,c' + Pp}{P_a}$$

$$= \frac{186{,}508 \cdot \tan(14{,}821) + 2{,}4 \cdot 30 + 48{,}483}{109{,}632}$$

$$= 1{,}549 \quad > 1{,}5$$

Angka aman kondisi eksisting dinding penahan terhadap stabilitas geser telah memenuhi syarat minimal, yaitu 1,5. Dengan demikian, dinding eksisting dapat dikatakan aman terhadap stabilitas geser.

5. Stabilitas guling

Perhitungan stabilitas guling diperoleh dengan Persamaan 3.19 sebagai berikut.

$$FS_{guling} = \frac{\sum Mr}{\sum Mo}$$

$$= \frac{216{,}383}{155{,}212}$$

$$= 1{,}394 \quad < 2$$

Angka aman kondisi eksisting dinding penahan terhadap stabilitas guling tidak memenuhi syarat minimal, yaitu 2. Dengan demikian, dinding eksisting belum dikatakan aman terhadap stabilitas guling.

6. Stabilitas daya dukung tanah

Stabilitas daya dukung tanah dapat dihitung apabila memenuhi syarat eksentrisitas beban, yaitu e ≤ B/6. Berikut adalah perhitungan cek eksentrisitas dengan Persamaan 3.23.

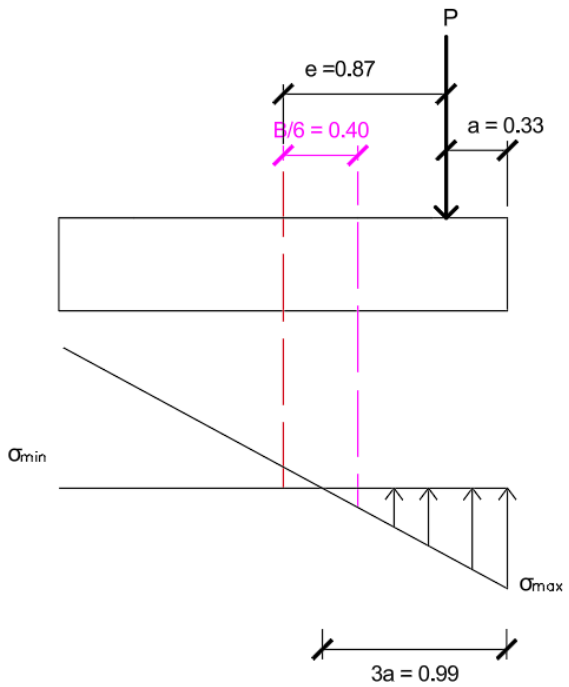
B/6 = 0,4 m

$$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{\Sigma \text{Mtotal}}{\Sigma \text{V}}\right)$$

$$= \frac{2{,}4}{2} - \left(\frac{216{,}383 - 155{,}212}{186{,}508}\right)$$

= 0,872 m → e > B/6 , eksentrisitas tidak memenuhi syarat

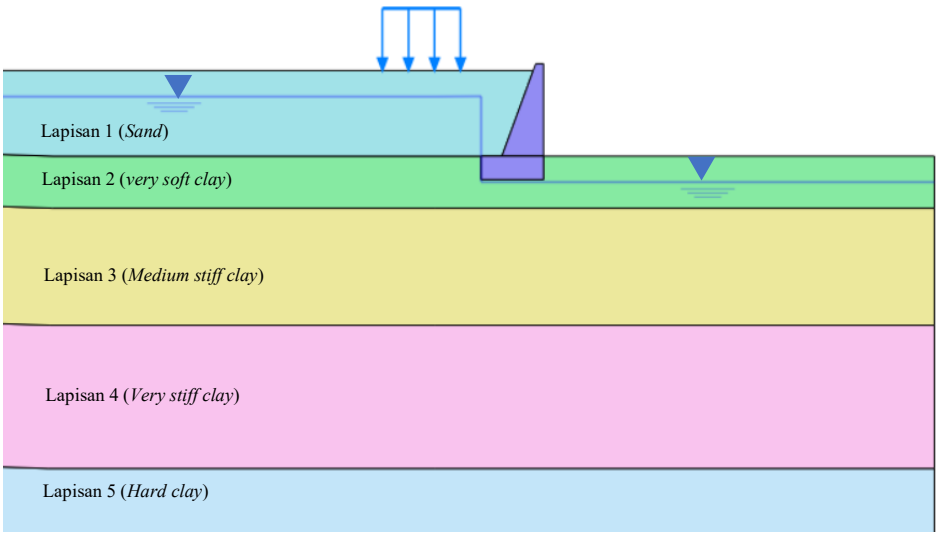
Berdasarkan perhitungan tersebut, eksentrisitas tidak memenuhi syarat sehingga dinding penahan mengalami tarik dan terjadi pada kegagalan daya dukung tanah. Gambar 5.10 adalah letak eksentrisitas yang terjadi pada dasar dinding penahan selebar 2,4 m.



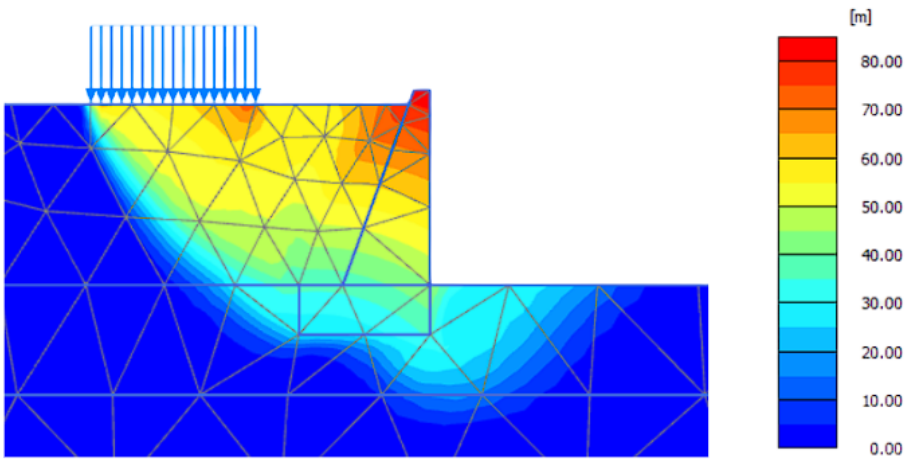
Gambar 5.10 Eksentrisitas DPT Eksisting Kondisi Kenaikan MAT

7. Stabilitas global

Nilai stabilitas global diperoleh dengan pemodelan pada perangkat lunak PLAXIS. Gambar 5.11 merupakan gambar potongan lereng pada pemodelan PLAXIS. Berdasarkan hasil analisis pemodelan, diperolah angka aman terhadap stabilitas global adalah 1,788 dari yang disyaratkan, yaitu 1,5. Area bidang longsor terlihat pada Gambar 5.12. Data lapisan tanah mengacu Tabel 5.1.



Gambar 5.11 Potongan Lereng Kondisi dengan MAT -1m pada PLAXIS



Gambar 5.12 Bidang Longsor Analisis FS Global dengan MAT -1m

Hasil analisis perhitungan stabilitas dinding penahan eksisting pada kondisi dengan kenaikan MAT mengalami kegagalan terhadap stabilitas guling dan daya dukung. Di sisi lain, angka aman terhadap stabilitas geser dan global telah memenuhi syarat minimum.

5.3.3 Rekapitulasi Analisis Dinding Penahan Eksisting

Hasil analisis yang telah diperoleh terdapat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Dinding Penahan Eksisting

Stabilitas	Syarat Angka Aman (FS)	Angka Aman (FS) Kondisi Kering	Status	Angka Aman (FS) Kondisi Kenaikan MAT	Status
Stabilitas geser	1,5	2,020	Aman	1,549	Aman
Stabilitas guling	2,0	2,048	Aman	1,394	Tidak Aman
Stabilitas daya dukung tanah	3	-	Tidak Aman	-	Tidak Aman
Stabilitas global	1,5	1,892	Aman	1,788	Aman

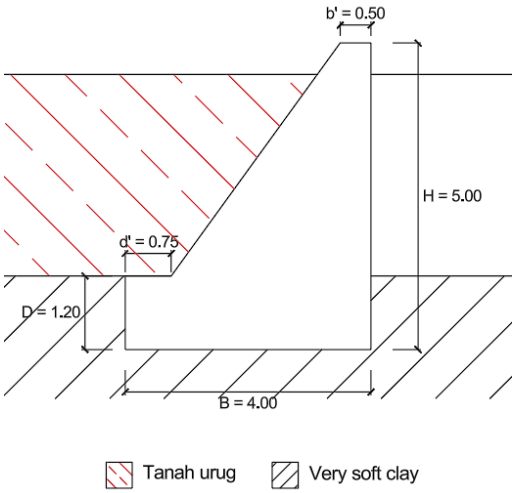
Berdasarkan Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa dinding penahan tanah eksisting mengalami kegagalan pada stabilitas daya dukung tanah dan stabilitas guling pada kondisi kenaikan MAT. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya perbaikan dinding penahan tanah agar memenuhi angka aman yang disyaratkan.

5. 4 Alternatif Perkuatan 1

Alternatif perkuatan 1 merupakan perancangan ulang dinding penahan eksisting. Perancangan ulang tidak mengubah geometri dinding penahan, melainkan mengubah dimensi hingga diperoleh angka aman yang memenuhi syarat di stabilitas tinjau dan penambahan cerucuk bambu sebagai perkuatan tambahan tanah dasar.

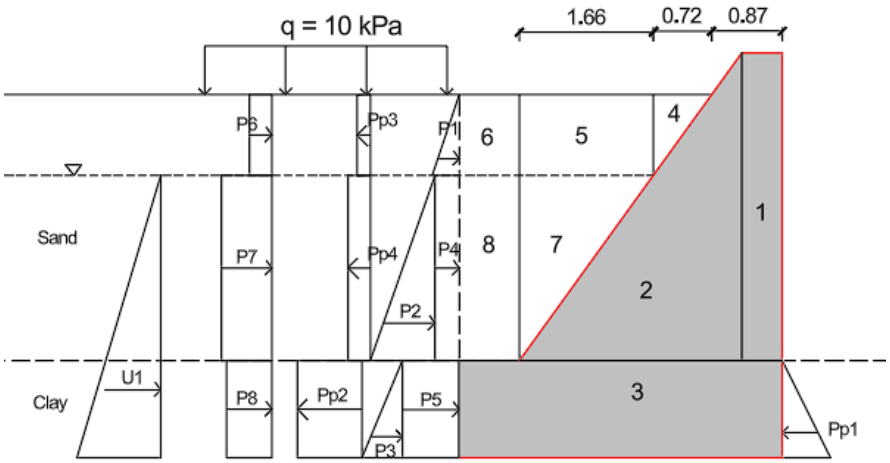
5.4.1 Dimensi *Redesign* dan Identifikasi Kasus

Gambar 5.13 merupakan dimensi DPT yang dirancang ulang beserta keterangannya.



Gambar 5.13 Dimensi DPT *Redesign*

Potongan lereng dengan DPT demikian diidentifikasikan tekanan aktif dan pasifnya. Gambar 5.14 merupakan identifikasi diagram tekanan aktif dan pasif.



Gambar 5.14 Identifikasi Diagram Tekanan Aktif dan Pasif DPT *Redesign*

1. Identifikasi Lapisan tanah
   a. Lapisan Tanah 1 (timbunan kering)

      Pada lapisan 1, terdapat tekanan aktif akibat tanah sendiri (P_1), beban merata (P_6), dan tekanan pasif dari kohesi tanah (P_{p3}) dengan parameter tanah sama dengan kondisi eksisting. Perhitungan tekanan aktif dan pasif dilakukan sama seperti kondisi kering dengan ketinggian tanah (h) adalah 1 m. Berikut adalah hasil yang diperoleh

P_1 = 3,450 kN

P_6 = 4,059 kN

P_{p3} = 0,382 kN

b. Lapisan Tanah 2 (timbunan jenuh)

Lapisan tanah 2 merupakan tanah timbunan pasir yang terendam air. Perhitungan koefisien tanah aktif dan pasif sama seperti lapisan 1 yang memiliki jenis tanah sama. Sehingga diperoleh nilai yang sama. Pada lapisan ini, terdapat tekanan aktif akibat tanah sendiri (P_2), beban merata timbunan (P_4), beban merata (P_7), dan tekanan pasif dari kohesi tanah (P_{p4}). Hasil perhitungan diperoleh sebagai berikut.

P_2 = 8,588 kN

P_4 = 15,869 kN

P_7 = 9,335 kN

P_{p4} = 0,879 kN

c. Lapisan Tanah 3 (timbunan dasar jenuh)

Pada lapisan 3, terdapat tekanan aktif akibat tanah sendiri (P_3), beban merata timbunan (P_5), beban merata (P_8), tekanan tanah lempung di depan dinding (P_{p1}), dan tekanan pasif dari kohesi tanah (P_{p2}). Perhitungan tekanan aktif dan pasif dilakukan sama seperti kondisi kering. Berikut adalah hasil yang diperoleh.

P_3 = 3,529 kN

P_5 = 13,085 kN

P_8 = 7,111 kN

P_{p1} = 10,048 kN

Pp2 = 55,426 kN

d. Tekanan air

Tekanan air pada kondisi ini diperhitungkan sesuai ketinggian MAT, yaitu 3,5 m. Berikut adalah hasil perhitungan tekanan air (U).

U = 61,250 kN

2. Resultan tekanan aktif (P)

Tabel 5.9 adalah rekapitulasi tekanan aktif dan momen aktif yang terjadi sesuai Gambar 5.14.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Aktif

	Tekanan Total (ΣP)	Jarak tinjau (y)	Momen (P.y)
	kN	m	kNm
P_1	3,450	3,833	13,224
P_2	8,588	1,967	16,890
P_3	3,529	0,400	1,411
P_4	15,869	2,350	37,292
P_5	13,085	0,600	7,851
P_6	4,059	4,000	16,234
P_7	9,335	2,350	21,937
P_8	7,111	0,600	4,267
U	61,250	1,167	71,458
ΣP =	126,275	ΣP.y =	190,565

Resultan momen tersebut terjadi pada titik berat yang dapat diketahui dengan perhitungan berikut.

$$\bar{y} = \frac{\Sigma P.y}{\Sigma P}$$

$$= \frac{190,565}{126,275}$$

$$= 1,509 \text{ m}$$

Dari Tabel 5.5 dan perhitungan tersebut dapat diperoleh resultan momen aktif sebesar 190,565 kNm, tekanan total sebesar 126,275 kN dengan titik berat resultan pada ketinggian 1,509 m dari dasar dinding.

3. Resultan tekanan pasif (Pp)

Tekanan pasif yang terjadi meliputi tekanan pasif pada tanah dan berat dinding penahan. Tabel 5.10 merupakan rekapitulasi tekanan pasif akibat kohesi tanah.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Kohesi

	Tekanan Total (ΣP)	Jarak tinjau (y)	Momen (P.y)
	kN	m	kNm
P_{p1}	10,048	0,400	4,019
P_{p2}	55,426	0,600	33,256
P_{p3}	0,382	4,000	1,529
P_{p4}	0,879	2,350	2,066
ΣP =	66,736	ΣP.y =	40,870

Resultan momen tersebut terjadi pada titik berat yang dapat diketahui dengan perhitungan seperti pada tekanan aktif. Titik berat resultan tekanan pasif terjadi pada ketinggian 0,612 m. Tabel 5.11 merupakan tekanan pasif akibat berat dinding penahan dengan penomoran bagian mengacu pada Gambar 5.14.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Tekanan dan Momen Pasif Akibat Dinding Penahan

Bagian	Luas	Berat volume (γ)	Berat (w_i)	Jarak tinjau (x)	Momen
	m^2	kN/m^3	kN/m	m	kNm
1	1,900	24,000	45,600	0,250	11,400
2	5,225	24,000	125,400	1,417	177,650
3	4,800	24,000	115,200	2,000	230,400
4	0,360	17,000	6,120	1,350	8,262
5	1,660	17,000	28,220	2,420	68,292
6	0,750	17,000	12,750	3,625	46,219
7	1,909	8,000	15,272	2,697	41,183
8	1,725	8,000	13,800	3,625	50,025
		Σ V =	362,362	Σ M =	633,432

Berdasarkan Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 dapat diperoleh total momen pasif (MR) yang terjadi adalah sebesar 674,302 kNm.

5.4.2 Analisis Stabilitas Internal dan Eksternal

Berikut adalah analisis stabilitas internal dan eksternal pada DPT *redesign.*

1. Stabilitas geser

Perhitungan stabilitas geser diperoleh dengan Persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$FS_{sliding} = \frac{\sum(wi)\tan\emptyset + B\,c' + Pp}{P_a}$$

$$= \frac{362{,}362 \cdot \tan(14{,}821) + 4 \cdot 30 + 66{,}736}{126{,}275}$$

$$= 2{,}238 \quad > 1{,}5$$

Angka aman dinding penahan terhadap stabilitas geser telah memenuhi syarat minimal, yaitu 1,5. Dengan demikian, dinding penahan dapat dikatakan aman terhadap stabilitas geser.

2. Stabilitas guling

Perhitungan stabilitas guling diperoleh dengan Persamaan 3.19 sebagai berikut.

$$FS_{guling} = \frac{\sum Mr}{\sum Mo}$$

$$= \frac{674{,}302}{190{,}565}$$

$$= 3{,}538 \quad > 2$$

Angka aman dinding penahan terhadap stabilitas guling telah memenuhi syarat minimal, yaitu 2. Dengan demikian, dinding penahan dapat dikatakan aman terhadap stabilitas guling.

3. Stabilitas daya dukung tanah

Stabilitas daya dukung tanah dapat dihitung apabila memenuhi syarat eksentrisitas beban, yaitu e ≤ B/6. Berikut adalah perhitungan cek eksentrisitas dengan Persamaan 3.23.

B/6 = 0,667 m

$$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{\Sigma\,Mtotal}{\Sigma\,V}\right)$$

$$= \frac{4}{2} - \left(\frac{674{,}302 - 190{,}565}{362{,}362}\right)$$

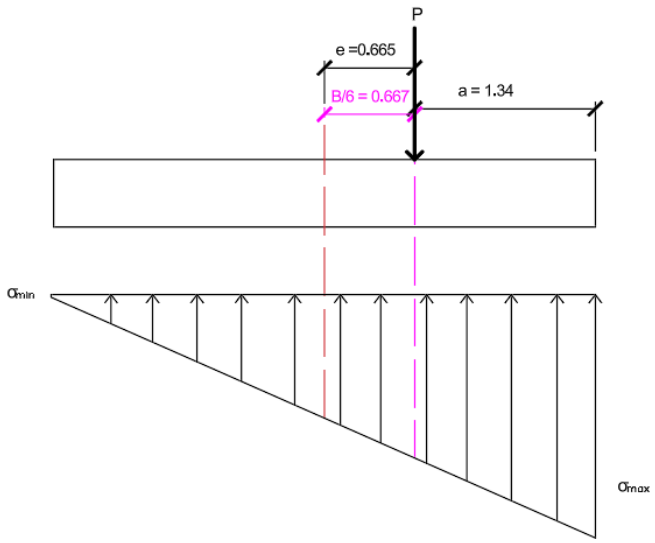
= 0,665 m → e ≤ B/6 , eksentrisitas memenuhi syarat

$$\sigma max = \left(\frac{\sum V}{B}\right)\left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$= \left(\frac{362{,}362}{4}\right)\left(1 + \frac{6\,.\,0{,}665}{4}\right)$$

$$= 180{,}961 \text{ kPa}$$

Gambar 5.15 adalah posisi eksentrisitas yang terjadi pada dasar dinding penahan *redesign.*



Gambar 5.15 Eksentrisitas DPT *Redesign*

Sebagai perkuatan tambahan pada tanah dasar lempung, digunakan cerucuk bambu dengan spesifikasi material bambu berdasarkan penelitian Lima (1995) dalam Mauricio dkk. (2019) dan Kumar (2018) dalam Chakrabortty dkk. (2023). Berikut adalah spesifikasi bambu dan ukuran yang digunakan.

Panjang (L) = 7 m

Diameter (d) = 0,06 m

Jarak (s) = 2 m

Berat isi (γ_{bp}) = 2,5 kN/m^3

Modulus elastisitas (E) = 12 x 10^6 kN/m^2

Kuat Tarik (T) = 218750 kN/m^2

Cerucuk sepanjang demikian telah mencapai tanah *very stiff clay* dengan paremeter tanah lebih kuat. Perhitungan stabilitas daya dukung dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

a. Daya dukung cerucuk (qbp)

Daya dukung cerucuk dihitung dengan Persamaan 3.36, 3.37, dan 3.38.

$\frac{c_u}{P'_o}$ $= 0{,}11 + 0{,}0037\ (15{,}046)$

$= 0{,}166$

α_{bp} $= \left(\frac{0{,}5\ .\ 7}{0.06}\right)^{-0{,}2} (0{,}166)^{-0{,}3}$

$= 0{,}760$

q_{bp} $= 0{,}760. \left(\frac{4}{2}\right). 102$

$= 155{,}122\ kN/m^2$

b. Daya dukung dasar pondasi / bangunan perkuatan (q)

Faktor daya dukung tanah diperoleh dengan cara interpolasi berdasarkan nilai sudut geser (φ) pada tabel persamaan Terzaghi (1943) dalam Das dan Sobhan (2018).

φ = 14,921

Nc = 12,726

Nq = 4,373

Nγ = 1,473

Berikut adalah perhitungan daya dukung dasar bangunan perkuatan.

qult = c.Nc + q.Nq + 0,5.γ.B.Nγ

= (30. 12,726) + (55,324. 4,373) + (0,5. (18,27-10). 4. 1,473)

= 648,078 kPa

c. Daya dukung ultimit

Daya dukung ultimit gabungan dihitung dengan Persamaan 3.34 sebagai berikut.

Qult = qult + q_{bp} + q_{gb}

= 648,078 + 155,122 + 0

= 803,200 kPa

d. Angka aman stabilitas daya dukung

FS $_{\text{daya dukung}}$ $= \frac{\sigma max}{Qult}$

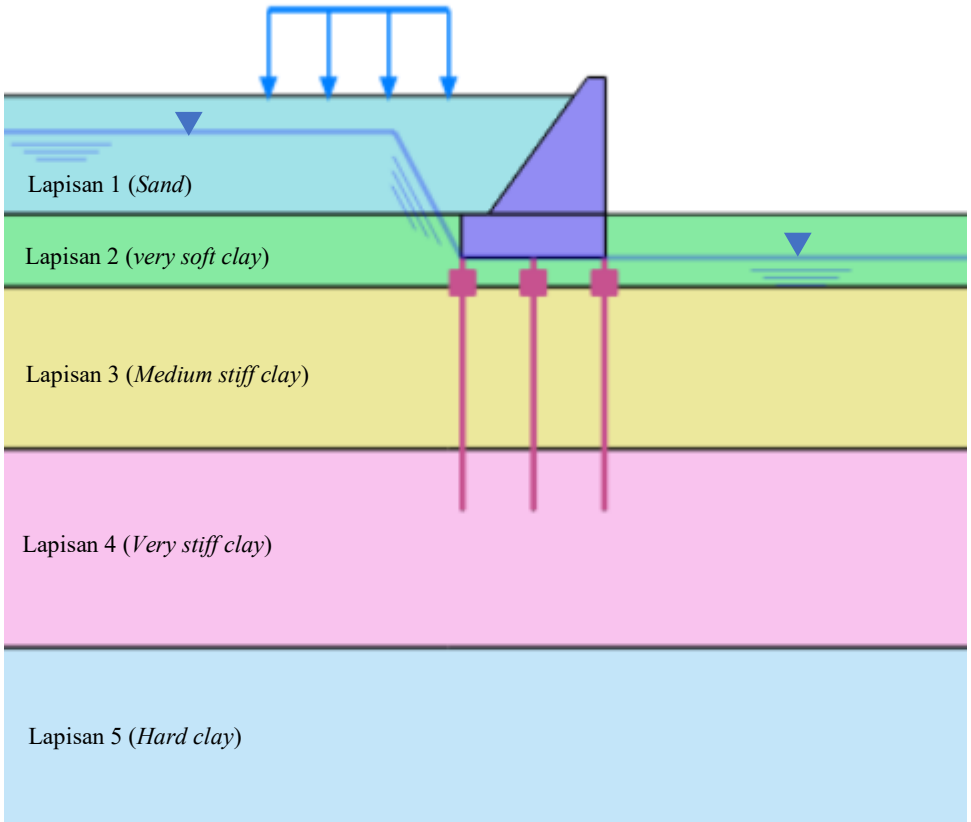
$= \frac{180{,}961}{808{,}057}$

$$= 4{,}465 \qquad > 3$$

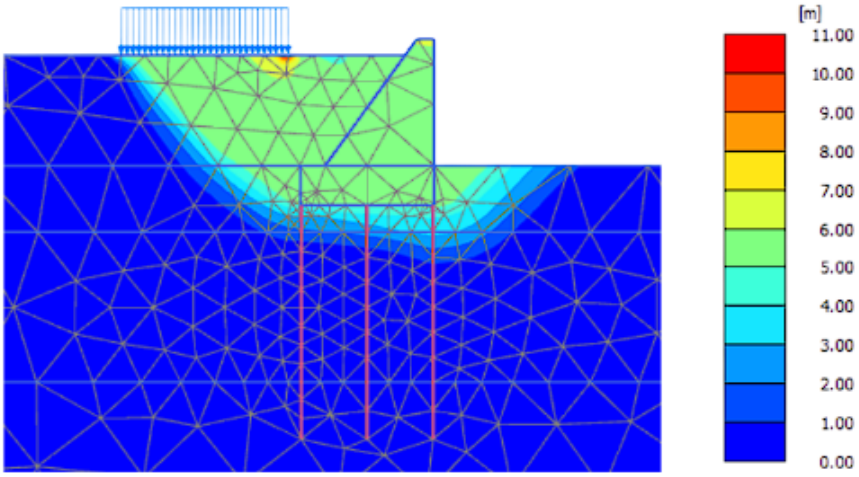
Hasil analisis menunjukan angka aman pada stabilitas daya dukung telah memenuhi syarat minimal, yaitu 3.

4. Stabilitas global

Gambar 5.16 merupakan gambar potongan DPT *redesign* pada lereng dalam pemodelan PLAXIS. Berdasarkan hasil analisis pemodelan, diperolah angka aman terhadap stabilitas global adalah 2,412. Angka ini telah memenuhi syarat minimum, yaitu 1,5 dengan bidang longsor terlihat pada Gambar 5.17. Data lapisan tanah mengacu pada Tabel 5.1.



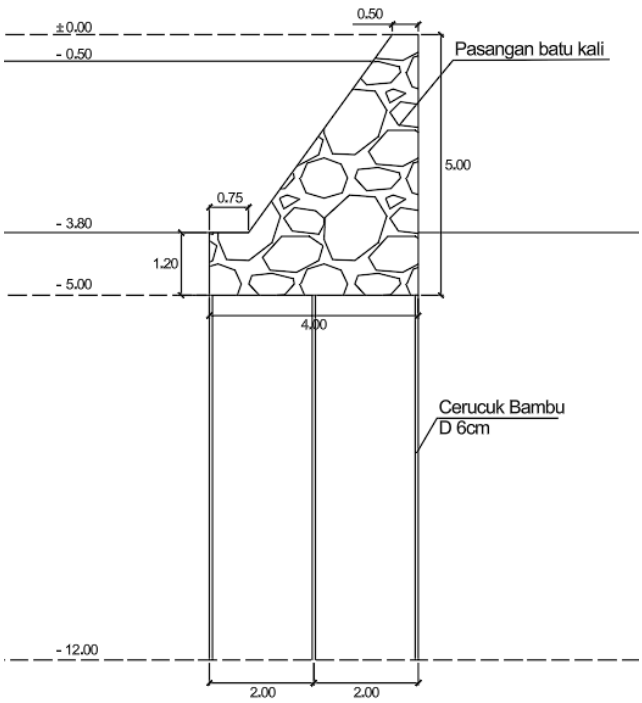
Gambar 5.16 Potongan Lereng DPT *Redesign* pada PLAXIS



Gambar 5.17 Bidang Longsor Analisis FS Global dengan MAT -1m

5.4.3 Gambar Kerja DPT *Redesign*

Berdasarkan hasil analisis, DPT baru telah memenuhi seluruh syarat stabilitas. Gambar 5.18 merupakan gambar kerja DPT baru dengan penambahan cerucuk sepanjang 7 m.



Gambar 5.18 Gambar Kerja DPT *Redesign*

5. 5 Alternatif Perkuatan 2

Alternatif perkuatan 2 merupakan lereng yang diperkuat dengan geosintetik. Permukaan lereng timbunan dibuat miring dengan kemiringan yang ditentukan sesai syarat SNI.

5.5.1 Analisis Tanpa geosintetik

Analisis tanpa geosintetik perlu dilakukan untuk mengetahui bidang longsor lereng. Analisis kondisi ini dilakukan pada pemodelan PLAXIS. Spesifikasi material timbunan dapat ditentukan hingga diperoleh lereng yang tidak *collapse* atau gagal. Selain itu, penambahan cerucuk bambu juga digunakan dalam analisis ini untuk menghindari kegagalan lereng akibat tanah dasar lempung yang lunak. Berikut adalah data material cerucuk yang di gunakan dan daya dukung yang dikerahkan.

Lebar lereng yang diperkuat (B) = 4 m

Panjang (L) = 7 m

Diameter (d) = 0,06 m

Jarak (s) = 2 m

Berat isi (γ_{bp}) = 2,5 kN/m^3

Modulus elastisitas (E) = 12 x 10^6 kN/m^2

Kuat Tarik (T) = 218750 kN/m^2

Daya dukung cerucuk dihitung dengan Persamaan 3.36, 3.37, dan 3.38.

$$\frac{c_u}{P'_o} = 0{,}11 + 0{,}0037\ (15{,}046)$$

$$= 0{,}166$$

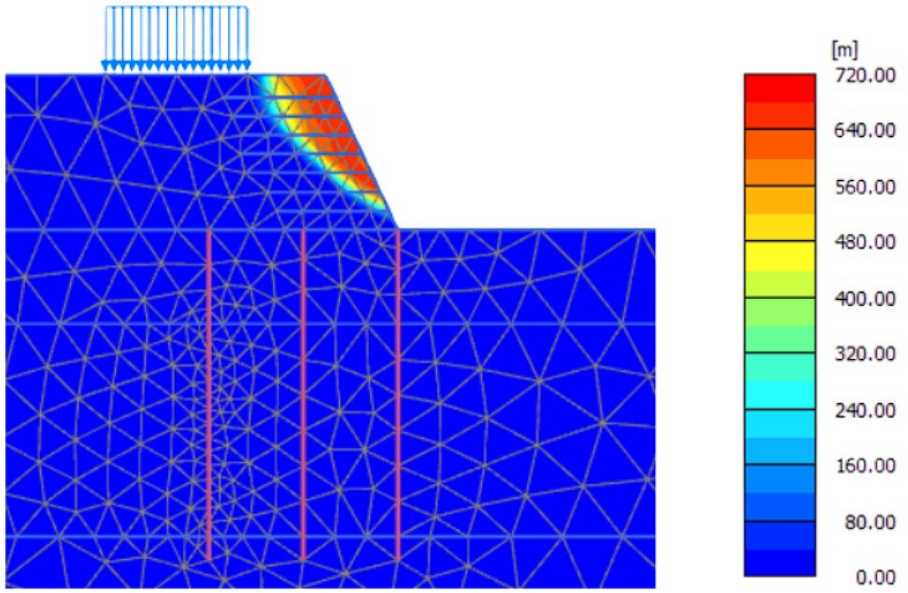
$$\alpha_{bp} = \left(\frac{0{,}5\ .\ 7}{0.06}\right)^{-0{,}2} (0{,}166)^{-0{,}3}$$

$$= 0{,}760$$

$$q_{bp} = 0{,}760\ .\ \left(\frac{4}{2}\right).\ 102$$

$$= 155{,}122 \text{ kN/m}^2$$

Gambar 5.19 merupakan bidang longsor lereng timbunan tanpa perkuatan geosintetik.



Gambar 5.19 Bidang Longsor Lereng Tanpa Geosintetik

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut diperoleh nilai FK tanpa perkuatan geosintetik adalah 0,979. Nilai ini masih di bawah 1,25 sehingga lereng perlu diberi perkuatan. Panjang bidang longsor terpanjang pada kondisi tersebut adalah 1,4 m. Selain itu, diperoleh spesifikasi tanah timbunan terdapat pada Tabel 5.12. Data tersebut mengacu pada Tabel 5.1 dengan nilai kohesi diambil dari pemodelan PLAXIS 2D hingga diperoleh lereng tidak *collapse.*

Tabel 5.12 Spesifikasi Tanah Timbunan Lereng yang Diperkuat

Jenis Tanah	Tanah Pasir
Tipe drainase	*Drained*
γ_{unsat}	17 kN/m^3
γ_{sat}	18 kN/m^3
Es	10000 kN/m^2
c	5 kN/m^2
φ	28 °

5.5.2 Perancangan Geosintetik

Berikut adalah perhitungan kebutuhan geosintetik berdasarkan analisis stabilitas internal.

1. Gaya tarik geosintetik yang dibutuhkan

Penentuan besarnya gaya tarik menggunakan metode grafik untuk memperoleh perbandingan panjang lapisan teratas dan terbawah. Gambar 5.20 dan 5.21 adalah pembacaan grafik Schmertmann dkk dalam Elias dkk, (2001). Nilai φ'f dan H' diperoleh dari perhitungan berikut.

$\varphi'f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\varphi_r}{FK_R}\right)$

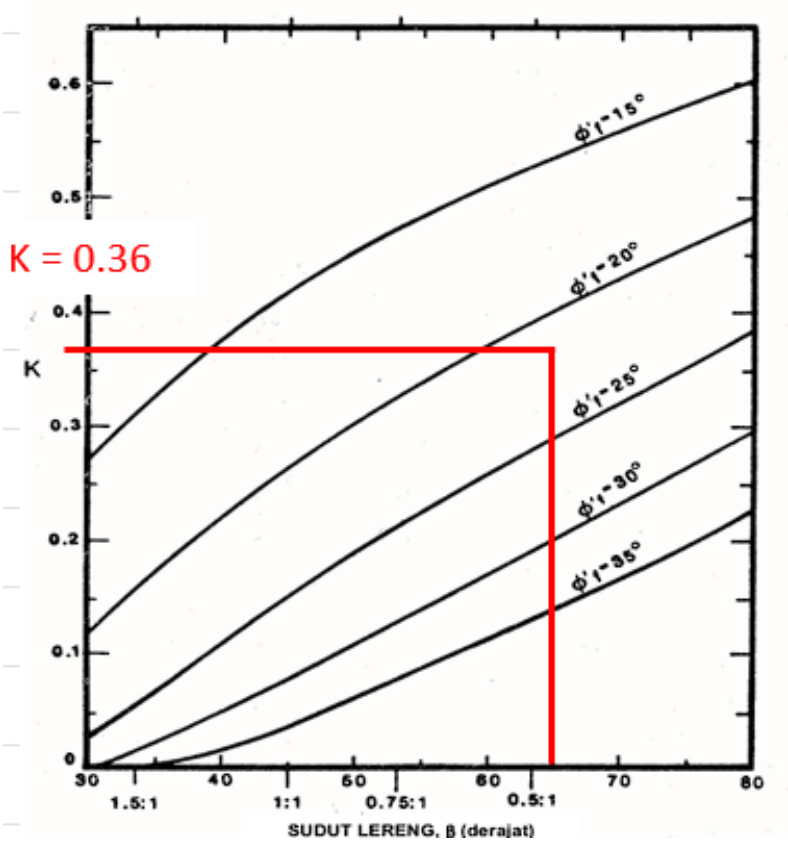
$= \tan^{-1}\left(\frac{\tan 28°}{1{,}3}\right)$

$= 22{,}245\ °$

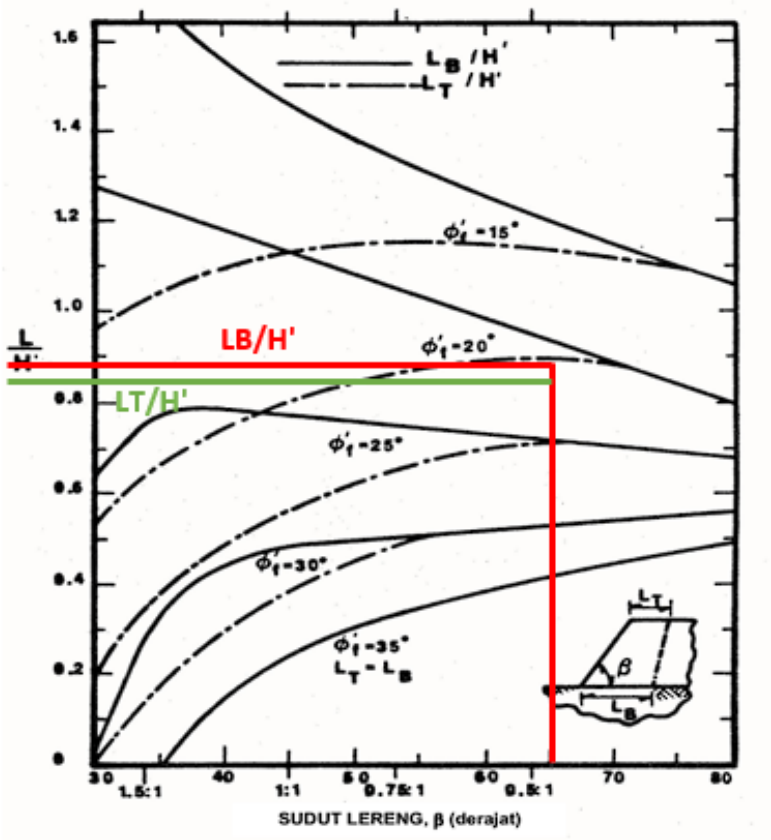
$H' = H + \frac{q}{\gamma}$

$= 3{,}3 + \frac{10}{17}$

$= 3{,}888\ m$



Gambar 5.20 Koefisien Gaya (K)



Gambar 5.21 Perbandingan Panjang Perkuatan

Berdasarkan pembacaan grafik pada Gambar 5.20 dan 5.21 diperoleh hasil sebagai berikut.

K = 0,36

LB/H' = 0,88

LT/H' = 0,84

TS max $= 0{,}5 \cdot K \cdot \gamma \cdot H'^2$

$= 0{,}5 \cdot 0{,}36 \cdot 17 \cdot 3{,}888^2$

= 46,262 kN/m

Gaya tarik geosintetik total yang dibutuhkan pada lereng tersebut adalah 46,262 kN/m.

2. Kuat tarik setiap lapisan

Lereng memiliki tinggi kurang dari 6 m, sehingga perkuatan cukup didistribusikan dalam 1 zona. Jumlah lapisan ditentukan berdasarkan spasi vertikal (sv) sebagai berikut.

sv = 0,4 m

Jumlah lapisan = H_{lereng} / sv

= 3,3 / 0,4

= 8,25 lapis

= 8 lapis

Tipe geosintetik yang digunakan adalah *geogrid* dengan spesifikasi diambil dari katolog PT Geosintetik Mandiri Indonesia. Spesifikasi teknis terdapat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Spesifikasi Teknik *Geogrid*

Unit	GX 40/40
Tult (kN/m)	40 kN/m
RF_{CR}	1,43
RF_{ID}*	1,1
RF_{D}	1,1
F*	1,6
C*	2

*diambil dari BM 2009

Dengan kuat tarik ijin adalah sebagai berikut.

$$\text{Tall} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_{D}}$$

$$= \frac{40}{1{,}43 \times 1{,}1 \times 1.1}$$

= 23,117 kN/m

Kuat tarik setiap lapisan *geogrid* diperoleh dari perhitungan berikut.

$$\text{Ts} = \frac{\text{Ts max}}{\text{n lapis}}$$

$$= \frac{46{,}262}{8}$$

= 5,783 kN/m

Kuat tarik ijin *geogrid* telah memenuhi kuat tarik yang terjadi di setiap lapisan tulangan. *Geogrid* dengan spesifikasi teknik demikian dapat digunakan dalam perancangan ini.

3. Panjang penulangan geosintetik

Estimasi panjang tulangan *geogrid* lapisan terbawah dan teratas diperoleh dari pembacaan grafik pada Gambar 5.21 sebagai berikut.

LB = 0,88 /3,888

= 3,43 m

LT = 0,84 / 3,888

= 3,28 m

Ukuran tersebut digunakan sebagai acuan perbadingan dalam menentukan panjang perlapisannya sesuai dengan bidang longsor. Dengan jumlah lapisan sebanyak 8 lapis, panjang *gogrid* akan berkurang 0,02 m dari lapisan bawah ke atasnya. Panjang ini perlu disesuaikan lagi dengan panjang bidang longsor dan kebutuhan panjang penjangkaran *geogrid*. Berdasarkan hasil analisis tanpa perkuatan, diperoleh panjang bidang longsor terpanjang adalah 1,4 m. Berikut adalah perhitungan panjang total *geogrid* pada lapis pertama.

σ'_{vi} $= h \cdot \gamma$

$= (0{,}4 \cdot 8) \cdot 17$

$= 54{,}4\ kN/m^2$

Le $= \frac{T_{max}\ FK_{PO}}{F*.\alpha.\sigma'_v.C}$

$= \frac{5{,}783 \cdot 1{,}3}{1{,}6 \cdot 0{,}8 .54{,}4 .2}$

$= 0{,}05$ m

= 1 m (syarat minimal Le)

Ltotal = 1,4 + 1

= 2,4 m

Cek FK Cabut

FKcabut $= \frac{Le \cdot 2F* .\alpha \cdot \sigma v}{Tmax}$

$= \frac{1 \cdot 2 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}8 \cdot 54{,}4}{5{,}783}$

= 16,006

$FK_{cabut} \geq FK_{cabut}$ min

16,006 ≥ 1,5 ... Ok!

Penentuan panjang total pada lapisan lain menggunakan cara yang serupa sesuai dengan tinggi tanah di atasnya. Tabel 5.14 merupakan rekapitulasi perhituangan panjang total tiap lapis dan tahanan cabutnya.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Panjang Total *Geogrid* Tiap Lapis

Lapis Tulangan	σ'_{vi} (kN/m2)	Le (m)	Panjang Total (m)	SF cabut	Cek (SF ≥ 1,5)
1	54,4	1,00	2,40	16,006	Ok
2	47,6	1,00	2,38	14,005	Ok
3	40,8	1,00	2,38	12,005	Ok
4	34,0	1,30	2,68	13,005	Ok
5	27,2	1,20	2,58	9,604	Ok
6	20,4	1,00	2,38	6,002	Ok
7	13,6	1,00	2,38	4,002	Ok
8	6,8	1,00	2,38	2,001	Ok

Lapisan ke – 1 merupakan lapisan terbawah dan seterusnya. Tabel 5.14 menunjukan bahwa panjang *geogrid* yang dibutuhkan pada tiap lapisannya berada pada rentang 2,38 – 2,68 m dengan lapisan terpanjang pada lapisan ke – 4.

5.5.3 Analisis Stabilitas Ekternal

Analisis stabilitas eksternal meliputi stabilitas terhadap tahanan gelincir, daya dukung lokal (peremasan), keruntuhan global, dan penurun. Berikut adalah perhitungan dan hasil analisis stabilitas eksternal.

1. Tahanan gelincir

   Analisis tahanan gelincir dilakukan pada lapisan terbawah dan panjang *geogrid* terpanjang, yaitu pada lapisan pertama. Perhitungan ini menggunakan Persamaan 3.29 hingga 3.32 sebagai berikut.

   L = 2,4 m

   H = 3,3 m

   Pa = ½ γb H^2 Ka

$= ½ \cdot 17 \cdot 3{,}3^2 \cdot 0{,}406$

$= 37{,}568$ kN

W $= ½ L^2 \gamma r (\tan\beta)$, untuk $L \leq H$

$= ½ \cdot 2{,}4^2 \cdot 17 (\tan 65°)$

$= 104{,}995$ kN

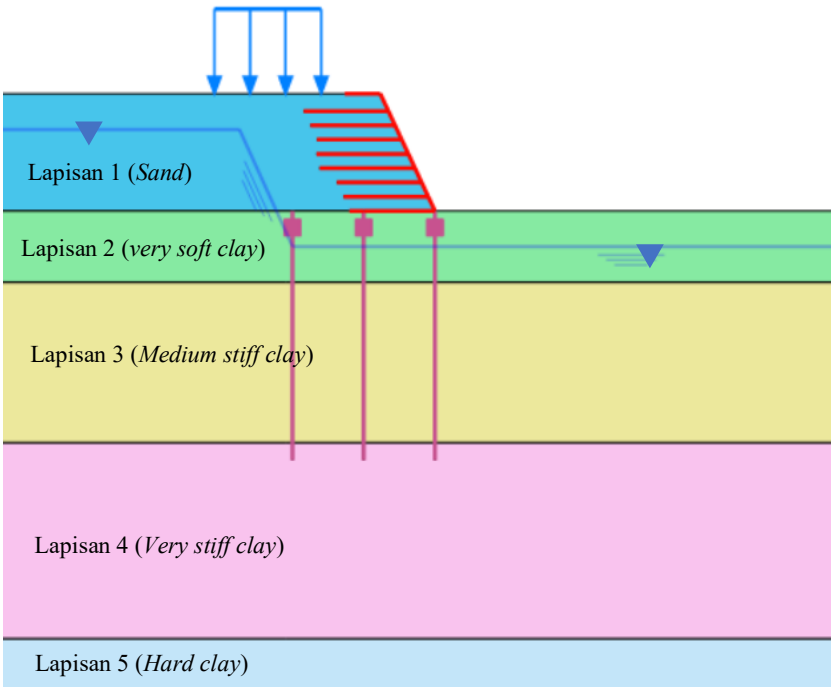
FK $= \frac{(104{,}995 + 37{,}568 \cdot \sin 28°) \tan 28°}{37{,}568 \cdot \cos 28°}$

$= 1{,}966 > 1{,}3$

Hasil analisis tahanan gelincir menunjukkan angka aman sebesar 1,966. Angka ini telah memenuhi angka aman minimum, yaitu 1,3. Perkuatan dengan desain *geogrid* demikian dikatakan aman dari tahanan gelincir.

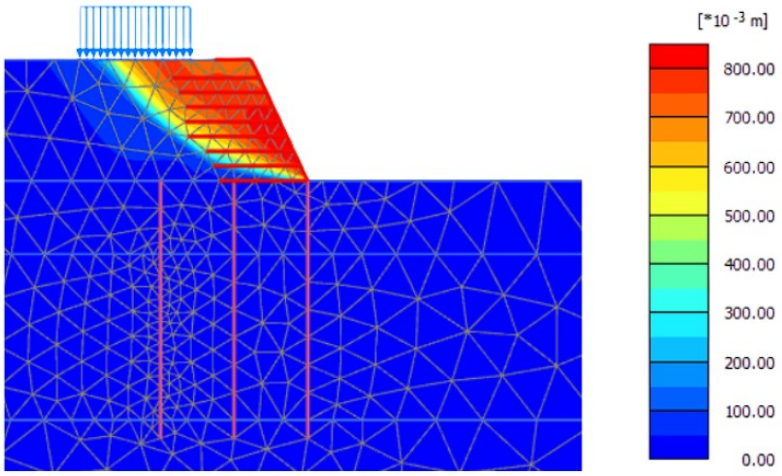
2. Keruntuhan global

Gambar 5.22 merupakan potongan lereng pada pemodelan PLAXIS 2D. Lereng dimodelkan dengan kondisi MAT pada elevasi -1 m dan diasumsikan sistem drainase perkuatan bekerja dengan baik. Data tanah mengacu pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.12.



Gambar 5.22 Perbandingan Panjang Perkuatan

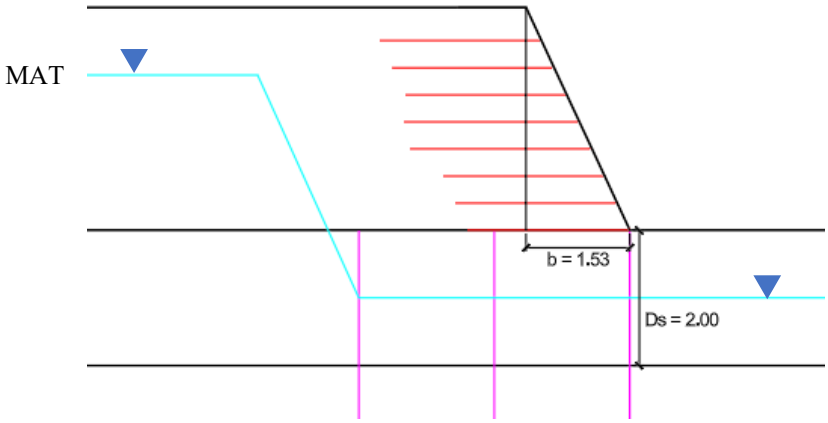
Hasil analisis pada pemodelan menunjukkan angka aman terhadap keruntuhan global sebesar 1,597. Angka tersebut telah memenuhi, syarat minimal keruntuhan global, yaitu 1,3, sehingga dapat dikatakan aman. Gambar 5.23 merupakan bidang longsor hasil analisis.



Gambar 5.23 Bidang Longsor FS Global Perkuatan Lereng *Geogrid*

3. Daya dukung lokal (peremasan)

Pada analisis ini perlu dilakukan pengukuran terhadap tebal tanah lunak di bawah lereng (Ds) dan lebar lereng (b) untuk mengetahui apakah perlu analisis peremasan atau tidak. Gambar 5.24 merupakan hasil pengukuran Ds dan b.

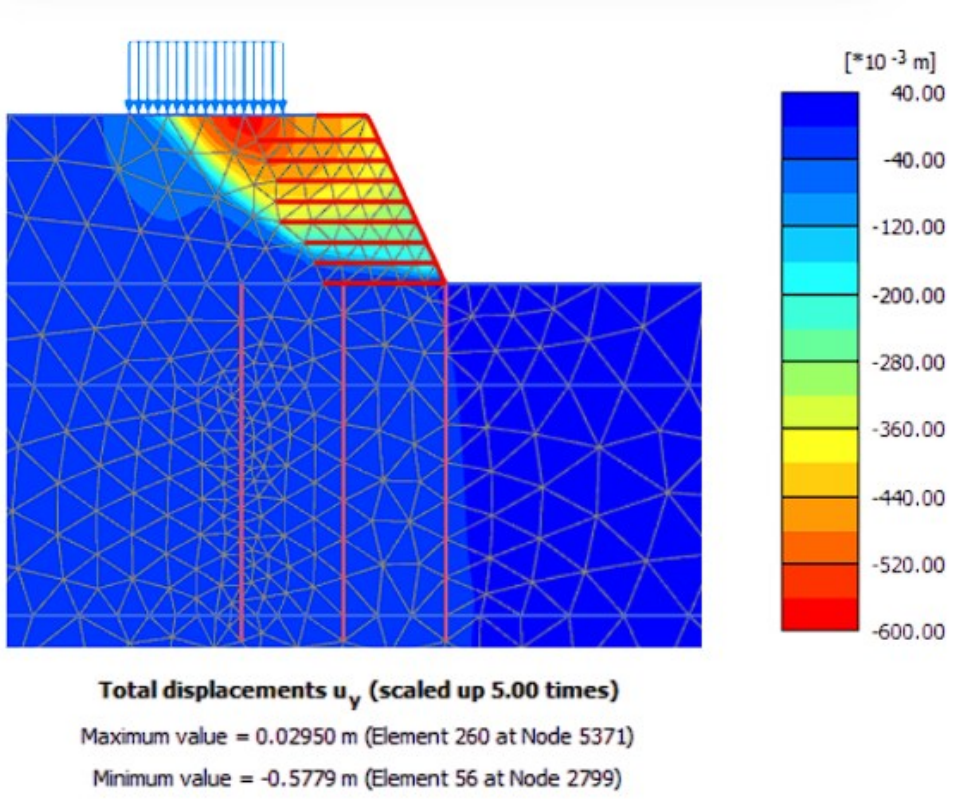


Gambar 5.24 Pengukuran b dan Ds untuk Daya Dukung Lokal

Gambar 5.24 menunjukkan tebal tanah lunak di bawah lereng (Ds) tidak kurang dari lebar lereng (b). Sehingga analisis daya dukung lokal tidak perlu dilakukan.

4. Penurunan tanah dasar

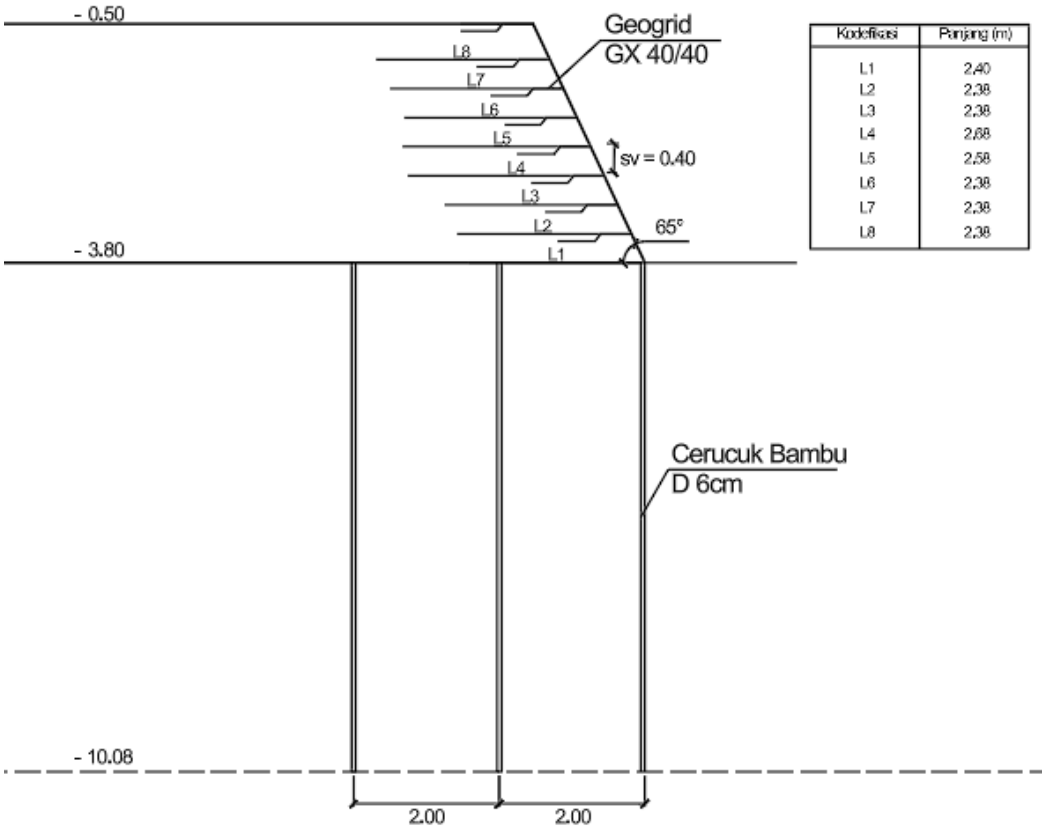
Berdasarkan hasil pemodelan PLAXIS 2D, penurunan tanah dasar terbesar, yaitu tanah lempung sangat lunak, adalah sebesar 0,0295 m. Hasil analisis penurunan pada pemodelan PLAXIS 2D terdapat pada Gambar 5.25.



Gambar 5.25 Hasil Analisis Penurunan Lereng Dengan Perkuatan *Geogrid*

5.5.4 Gambar Kerja Perkuatan Geosintetik

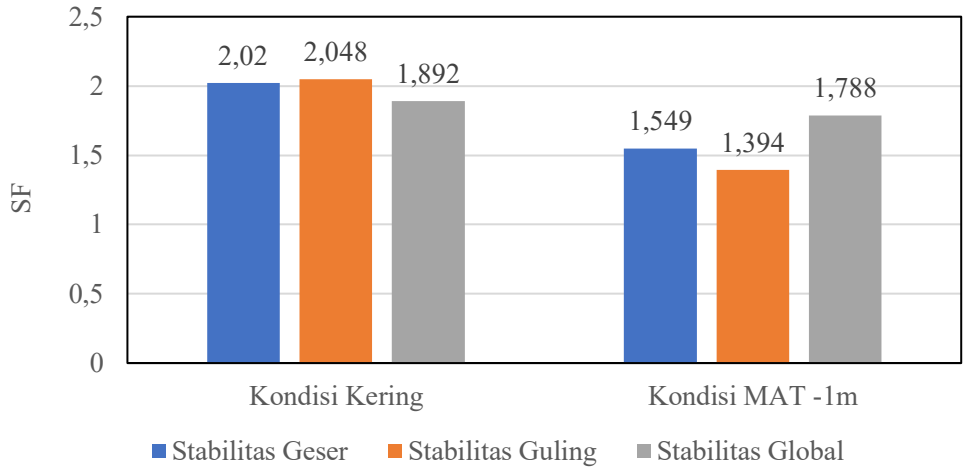
Berdasarkan hasil analisis, perancangan perkuatan dengan geosintetik telah memenuhi seluruh syarat stabilitas. Gambar 5.26 merupakan gambar kerja perkuatan geosintetik dengan penambahan cerucuk sepanjang 7 m.



Gambar 5.26 Gambar Kerja Perkuatan *Goegrid*

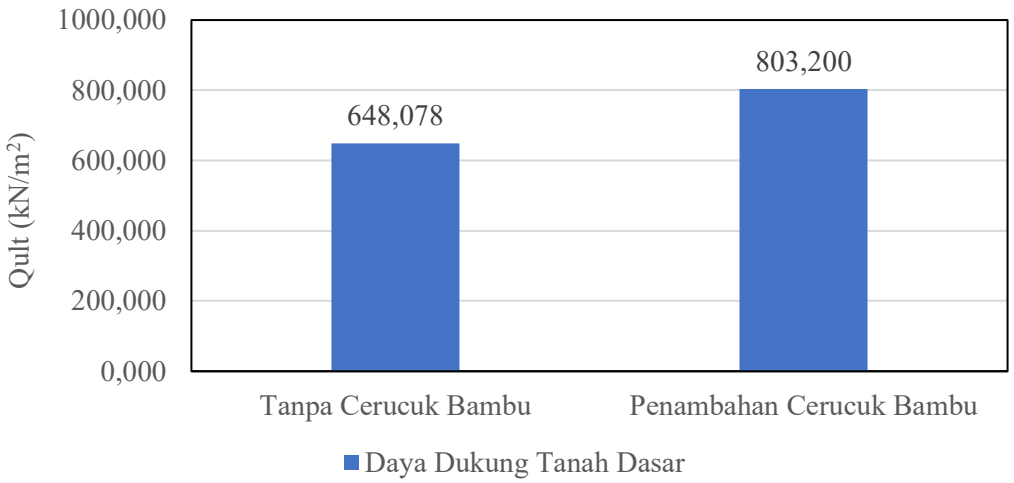
5. 6 Pembahasan Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis dinding penahan eksisting pada 2 kondisi yang berbeda, dapat diketahui bahwa kenaikan muka air mempengaruhi stabilitas lereng. Adanya kenaikan muka air mengurangi angka aman dari berbagai tinjauan stabilitas. Analisis kondisi ini menunjukkan bahwa dinding penahan tidak aman dari stabilitas guling dan daya dukung tanah dengan angka aman yang tidak memenuhi syarat, yaitu 2. Gambar 5.27 adalah grafik perbandingan angka aman pada kondisi kering dan peningkatan muka air.



Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Angka Aman Dinding Penahan Eksisting

Upaya peningkatan daya dukung tanah dasar perlu dilakukan karena stratigrafi lereng menunjukkan bahwa tanah dasar lereng timbunan merupakan tanah lempung sangat lunak. Penambahan cerucuk bambu adalah metode yang digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar. Lebar lereng yang diberi cerucuk adalah 4 m, sesuai dengan dinding penahan pada Alternatif 1 sebagai acuan. Gambar 5.28 merupakan grafik perbandingan daya dukung alternatif 1 sebelum dan sesudah diberi cerucuk bambu.



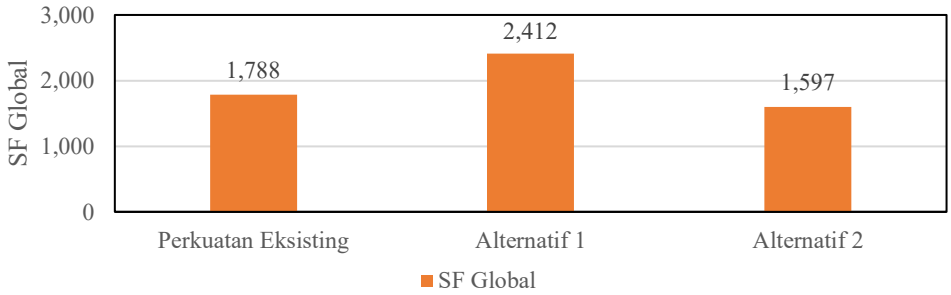
Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Daya Dukung Tanah Alternatif 1 dengan Penambahan Cerucuk

Hasil perancangan kedua alternatif sudah memenuhi syarat minimal sesuai SNI 8460 tahun 2017 dan Bina Marga 2009. Gambar kerja masing – masing alternatif perkuatan terdapat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.22 secara berurutan untuk alternatif 1 dan 2. Pada gambar tersebut telah tercantum ukuran ataupun spesifikasi yang ditetapkan. Tabel 5.15 berikut merupakan rangkuman hasil perancangan alternatif perkuatan yang ditinjau dari angka aman stabilitasnya.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Angka Aman Alternatif Perkuatan

Alternatif 1 Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi		
	Angka Aman Syarat	Angka Aman
Stabilitas geser	1,5	2,238
Stabilitas guling	2,0	3,538
Stabilitas daya dukung tanah	3,0	4,439
Stabilitas global	1,5	2,412
Alternatif 2 Lereng yang Diperkuat dengan Geosintetik		
	Angka Aman Syarat	Angka Aman
Stabilitas internal (tahanan cabut)	1,5	2,000
Stabilitas gelincir	1,3	1,966
Stabilitas global	1,3	1,597

Secara umum stabilitas global untuk seluruh alternatif perkuatan sudah memenuhi persyaratan. Gambar 5.29 adalah grafik perbandingan angka aman stabilitas global perkuatan eksisting dengan kedua alternatif perkuatan.



Gambar 5.29 Grafik Perbandingan Stabilitas Global Perkuatan Eksisting dengan Alternatif Perkuatan

Hasil analisis alternatif 1 dinding penahan tanah tipe gravitasi menunjukkan peningkatan angka aman dari dinding penahan eksisting yang signifikan. Di sisi lain, angka aman stabilitas global pada alternatif 2 lebih rendah dari dinding penahan eksisting, namun telah memenuhi semua aspek stabilitas. Hal ini dapat terjadi karena metode perkuatan alternatif 2 berbeda dengan alternatif 1. Kedua metode tersebut memiliki syarat minimal angka aman yang berbeda. Penggunaan geosintetik pada lereng mampu mendistribusikan beban lebih merata dibandingkan dengan *gravity wall.* Dengan demikian, persyaratan stabilitas dan metode analisis kedua metode tersebut berbeda dengan angka aman perkuatan dengan geosintetik lebih kecil dari *gravity wall*.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6. 1 Kesimpulan

Kesimpulan dari rumusan masalah yang ada pada dinding penahan tanah di kawasan PT United Tractors Satui adalah sebagai berikut.

1. Tanah di kawasan PT United Tractors Satui memiliki jenis lapisan tanah lempung dengan tanah lempung keras terdapat pada kedalaman 15,30 m. Data ini diperoleh berdasarkan *cross section* yang ditentukan pada peta kontur sesuai dengan titik *borelog* pengujian NSPT. Tanah lempung berpotensi menyebabkan genangan pada pori-porinya karena permeabilitasnya yang rendah. Pada potongan lereng yang ditinjau, terdapat kondisi tanah timbunan dengan material pasir untuk meningkatkan elevasi tanah dasar.
2. *Gravity wall* eksisting kawasan PT. United Tractors Satui dilakukan pada potongan dinding yang mengalami kerusakan. Kondisi yang dianalisis meliputi kondisi saat tanah kering dan kondisi dengan kenaikan Muka Air Tanah (MAT) setinggi -1 m di bawah permukaan untuk asumsi kondisi hujan. Analisis stabilitas pada kondisi kering diperoleh angka aman 2,02 untuk stabilitas geser, 2,048 untuk stabilitas guling, dan 1,892 untuk stabilitas global. Angka aman tersebut telah memenuhi syarat minimal angka aman. Sedangkan analisis stabilitas pada kondisi peningkatan MAT diperoleh angka aman 1,549 untuk stabilitas geser, 1,394 untuk stabilitas guling, dan 1,788 untuk stabilitas global. Pada kondisi ini, angka aman yang tidak memenuhi syarat adalah stabilitas terhadap guling. Selain itu, pada kedua kondisi ini sama-sama tidak memenuhi syarat eksentrisitas pada perhitungan stabilitas daya dukung. Artinya, dinding penahan tanah eksisting perlu dilakukan perbaikan agar memenuhi angka aman minimal dan menghindari kegagalan tanah dasar.

3. Alternatif 1 merupakan *gravity wall redesign* yang meliputi penambahan dimensi dinding dan cerucuk bambu di dasar dinding penahan. *Gravity wall redesign* memiliki ketinggian total 5 m dan lebar dasar dinding 4 m. Cerucuk bambu yang ditambahkan berdiameter 6 cm dengan panjang 7 m dan jarak antar cerucuk 2 m. Angka aman yang diperoleh telah memenuhi syarat minimal untuk setiap analisis stabilitas berdasarkan SNI. Berdasarkan hasil analisis diperoleh angka aman 2,238 untuk stabilitas geser, 3,538 untuk stabilitas guling, 4,439 untuk stabilitas daya dukung tanah, dan 2,412 untuk stabilitas global. Alternatif 2 merupakan lereng yang diperkuat dengan geosintetik. Kemiringan lereng timbunan dibuat sebesar 65°. Tanah dasar juga diberi cerucuk dengan spesifikasi yang sama dengan alternatif 1 sebagai peningkatan daya dukung tanah dasar. Tipe geosintetik yang digunakan adalah *geogrid* dengan kapasitas tarik 40 kN/m. Hasil analisis stabilitas telah memenuhi syarat minimum angka aman pada Bina Marga 2009. Berdasarkan hasil analisis diperoleh angka aman terkecil 2 untuk stabilitas terhadap tahanan cabut, 1,966 untuk stabilitas gelincir, dan 1,597 untuk stabilitas global. Hasil perancangan kedua alternatif menunjukkan peningkatan angka aman dari dinding penahan tanah eksisting pada masing – masing tinjauan stabilitas.

6. 2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penulisan Tugas Akhir ini sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan titik pengujian NSPT yang lebih dekat dari lereng yang ditinjau untuk meningkatkan akurasi data stratigrafi tanah.
2. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut perilaku dinding penahan tanah terhadap intensitas hujan dengan data hujan yang sesuai.
3. Hasil perancangan ini dapat dilakukan perancangan lebih lanjut, seperti perancangan pipa drainase dan penutup muka (*facing*) lereng dengan perkuatan geosintetik.

4. Alternatif perkuatan dapat dipilih dengan mempertimbangkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan metode pelaksanaan masing – masing metode, yang masih menjadi batasan dalam Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agusty, S.P., Ardhia Pramesti, T., Karlinasari, R., Rochim, A., 2020. Analisis Perbandingan Koefisien Tanah Lateral Menggunakan Metode Perhitungan Manual (Numerik) Dan Metode Elemen Hingga (PLAXIS). Konferensi Ilmiah Mahasiswa UNISSULA (KIMU) 3 127–135.

Amin, F.N., Kusuma Artati, H., Amalina, A.N., Artati, H.K., 2023. Pemodelan Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geosintetik Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas 3, 279–289.

Annisa, N., 2018. Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil pada Bantaran Sungai Gajah Putih. Yogyakarta.

Bari, F., Repadi, J.A., Ismail, F.A., Andriani, Hakam, A., 2021. Optimum height of the retaining gravity wall, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd. https://doi.org/10.1088/1755-1315/708/1/012020

Berg, R.R., Christopher, B.R., Samtani, M.C., 2009. Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes-Volume I. Federal Highway Administration, United States.

BM, 2009. Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik.

BSN, 2017. SNI 8460 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta.

Chakrabortty, P., Srivastava, L.S., Kumar, P., 2023. A Simple Analytical Model for Bamboo-Reinforced Slopes Using Modified Bishop Method. Front Built Environ 9. https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1080318

Das, B.M., Sobhan, K., 2018. Principals of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning, Boston.

Diantoro, W., 2023. Perbandingan Penggunaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever Dan Gravitasi Dengan Variasi Ketinggian Lereng Gunung Lio Salem Kabupaten Brebes. Jurnal Cahaya Mandalika 4, 213–221.

Fitriansyah, M., Kurniawan, K., Anggarini, E., Muzaidi, I., 2024. Analisis Stabilitas Lereng Pada Tanah Lempung Lunak Kabupaten Kapuas Dengan Perkuatan Geocell Menggunakan Program PLAXIS Dan Metode Fellenius. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil XIII.

Hardiyatmo, H.C., 2017. Mekanika Tanah I, 7th ed. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2010. Mekanika Tanah 2, 5th ed. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Haris, V.T., Yos, J., Km, S., Pekanbaru, R., Lubis, F., 2018. Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah Pada Akses Gerbang Selatan Universitas Lancang Kuning. SIKLUS : Jurnal Teknik Sipil 4.

Kemal, M., Suhendi, C., Saputri, U.S., 2022. Evaluation Of The Design Of Retaining Walls On The Road Sukabumi (Baros)-Sagaranten Km Bdg 115+200 11, 233–240. https://doi.org/10.32832/astonjadro.v11i1

Koerner, R.M., Koerner, G.R., 2011. The Importance of Drainage Control for Geosynthetic Reinforced Mechanically Stabilized Earth Walls 3.

Look, B.G., 2007. Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Taylor & Francis Group, London.

Mauricio, A., Davila, J., Romanel, C., Ghavami, K., 2019. Numerical Analysis of Bamboo Piles for Slope Stability. https://doi.org/10.3233/STAL190144

Rachman, M., 2024. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Mengunakan Metode Keseimbangan Batas Dan Metode Elemen Hingga. Local Government Legal Society Trust in association with the Society of Town Clerks' Education and Research Trust, DI Yogyakarta.

Rahma, R.A., Jamal, M., Sutanto, H., Rahma, R.A., 2020. Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Samarinda-Balikpapan Km.24 Dengan Alternatif Perkuatan Dinding Bronjong Dan Geotekstil. Jurnal Teknologi Sipil.

Ridwan, A., Yusa, M., 2019. Identifikasi Stabilitas Lereng Tanah Longsor Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik 13, 41–51.

Sari, U.C., Sholeh, M.N., Hermanto, I., 2020. The stability analysis study of conventional retaining walls variation design in vertical slope, in: Journal of

Physics: Conference Series. Institute of Physics Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1444/1/012053

Schmertmann, J.H., 1978. Cone Penetration Test (Performance and Design Friction Ratio Profile of Cone Data). Federal Highway Administration, United States.

Setyanto, Zakaria, A., Permana, G.W., 2016. Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga PLAXIS V.8.2 (Studi Kasus : Ruas Jalan Liwa-Simpang Gunung Kemala STA.263+650). Jurnal Rekayasa 20.

Suyuti, Sultan, M.A., Misbah, Z.K., 2020. Bearing Capacity of Soil Bags on Soft Ground Reinforced by Bamboo Pile. International Journal of GEOMATE 16, 32–39. https://doi.org/10.21660/2019.53.09817

Syah, A., Alami, F., 2024. Investigasi geoteknik, studi mekanisme dan penanganan longsor pada jalan di atas tanah lempung lunak-sedang, studi kasus: Longsor di Sukarami, Lahat. Journal of Civil Engineering and Planning 5, 79–88. https://doi.org/10.37253/jcep.v5i1.9373

Tan, C.K., Duncan, J.M., Rojiani, K.B., Barker, R.M., 1991. Engineering Manual for Shallow Foundations.

Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York.

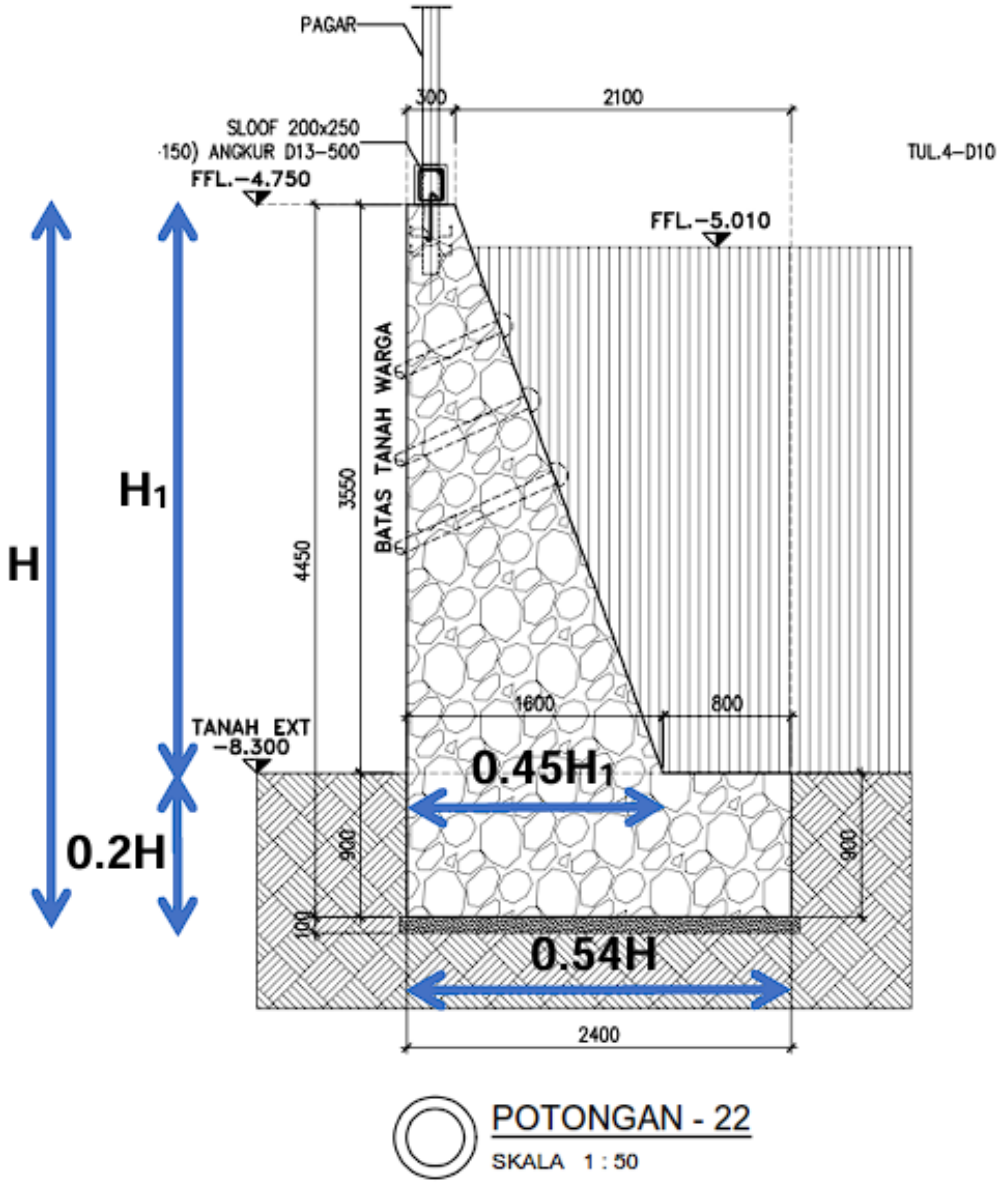
Terzaghi, K., Peck, R., 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. Wiley, New York.

Tini, T., Tohari, A., Iryanti, M., 2017. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Metode SPT (Standar Penetration Test) Dan Cpt (Cone Penetration Test) Di Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Wahana Fisika 2, 8. https://doi.org/10.17509/wafi.v2i1.7022

Warman, R.S., 2019. Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga.

LAMPIRAN 1

SHOP DRAWING POTONGAN DPT



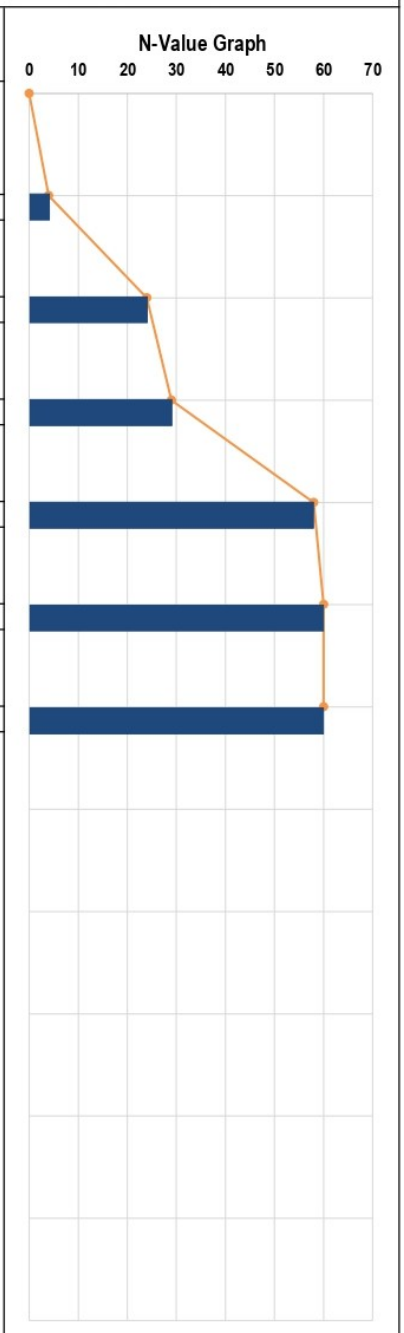
POTONGAN - 22
SKALA 1 : 50

LAMPIRAN 2

CV. SURVEY GEOTEKNIK DAN TRANSPORTASI
Soil Investigation, Topography and Geotechnical Consultant
Komp. Wengga Palam Indah 2 Kelurahan Guntung Manggis Landasan Ulin
Phone : 0812-535-33-873, E-mail : dimassugetra@gmail.com

Project	**: Pekerjaan Soil Investigation - PT. United Tractors Site Satui**		
Location	**: Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan**		
Borehole	**: BH - 1**	**Bor Type**	**: XY-1**
Beginning Date	**: 16 November 2019**	**Driller**	**: Supriansyah**
Ending Date	**: 18 November 2019**	**Logger**	**: Supriansyah**
Depth of Drill	**: -00.00 m s.d -12.00 m**	**Coordinat**	**: X = 320200**
G.W.L	**: -**		**: Y = 9580339**

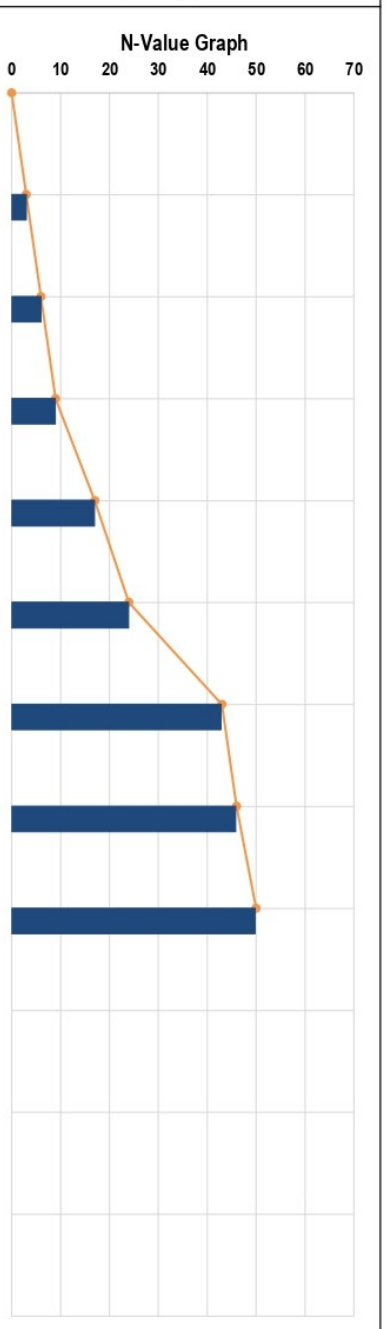
DEPTH (m)	G.W.L	SYMBOL	SOIL OF ROCK MATERIAL DESCRIPTION	Type of Test: Sampel	Type of Test: SPT	Blows Penetration N-1	Blows Penetration N-2	Blows Penetration N-3	N-Blows 30 cm
0									
1			**SILTY CLAYS** : Lempung lanau sedikit berpasir berkerikil coklat kemerahan konsistensi teguh (±00.00 m s.d -03.00 m)						
2						2	2	2	**4**
3						15	15	15	
4			**CLAY** : Lempung abu-abu konsistensi sangat kaku (-03.00 m s.d -07.00 m)	UDS		4	9	15	**24**
5						15	15	15	
6						6	12	17	**29**
7						15	15	15	
8						13	26	32	**58**
9			**SANDY CLAYS** : Lempung berpasir abu-abu konsistensi keras (-07.00 m s.d -12.00 m)			15	15	15	
10						18	60		**>60**
11						15	5		
12			**End of Boring**			21	60		**>60**
13						15	5		
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									



CV. SURVEY GEOTEKNIK DAN TRANSPORTASI
Soil Investigation, Topography and Geotechnical Consultant
Komp. Wengga Palam Indah 2 Kelurahan Guntung Manggis Landasan Ulin
Phone : 0812-535-33-873, E-mail : dimassugetra@gmail.com

Project	: Pekerjaan Soil Investigation - PT. United Tractors Site Satui		
Location	: Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan		
Borehole	: BH - 3	**Bor Type**	: XY-1
Beginning Date	: 07 November 2019	**Driller**	: Supriansyah
Ending Date	: 09 November 2019	**Logger**	: Supriansyah
Depth of Drill	: -00.00 m s.d -16.00 m	**Coordinat**	: X = 320232
G.W.L	: -		: Y = 9580315

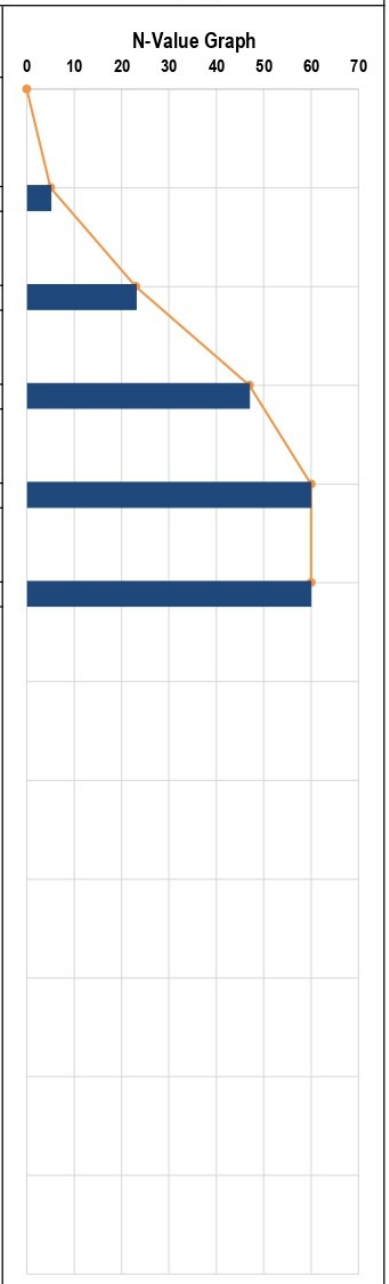
DEPTH (m)	G.W.L	SYMBOL	SOIL OF ROCK MATERIAL DESCRIPTION	Type of Test: Sampel	Type of Test: SPT	STANDART PENETRATION TEST (SPT): Blows Penetration N-1	N-2	N-3	N-Blows 30 cm
0									
1									
2			**SILTY CLAYS** : Lempung lanau merah kecoklatan sedikit berpasir konsistensi lunak hingga teguh (±00.00 m s.d -05.00 m)			1	1	2	3
3						15	15	15	
4						3	3	3	6
5						15	15	15	
6			**SANDY CLAYS** : Lempung abu-abu berpasir halus konsistensi kaku (-05.00 m s.d -08.00 m)			3	4	5	9
7						15	15	15	
8						2	4	13	17
9						15	15	15	
10				UDS		7	12	12	24
11						15	15	15	
12			**CLAY** : Lempung abu-abu tua konsistensi sangat kaku hingga keras (-08.00 m s.d -16.00 m)			12	19	24	43
13						15	15	15	
14						12	20	26	46
15						15	15	15	
16			**End of Boring**			14	22	28	50
17						15	15	15	
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									



CV. SURVEY GEOTEKNIK DAN TRANSPORTASI
Soil Investigation, Topography and Geotechnical Consultant
Komp. Wengga Palam Indah 2 Kelurahan Guntung Manggis Landasan Ulin
Phone : 0812-535-33-873, E-mail : dimassugetra@gmail.com

Project	**: Pekerjaan Soil Investigation - PT. United Tractors Site Satui**		
Location	**: Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan**		
Borehole	**: BH - 5**	**Bor Type**	**: XY-1**
Beginning Date	**: 14 November 2019**	**Driller**	**: Supriansyah**
Ending Date	**: 15 November 2019**	**Logger**	**: Supriansyah**
Depth of Drill	**: -00.00 m s.d -10.00 m**	**Coordinat**	**: X = 320218**
G.W.L	**: -**		**: Y = 9580387**

DEPTH (m)	G.W.L	SYMBOL	SOIL OF ROCK MATERIAL DESCRIPTION	Type of Test: Sampel	Type of Test: SPT	STANDART PENETRATION TEST (SPT): Blows Penetration N-1	N-2	N-3	N-Blows 30 cm
0			**SILTY CLAYS** : Lempung lanau sedikit berpasir merah kecoklatan (±00.00 m s.d -01.50 m)						
1									
2				UDS					
						2	2	3	**5**
3						15	15	15	
4						5	9	14	**23**
5			**SANDY CLAYS** : Lempung berpasir abu-abu konsistensi teguh hingga keras (-01.50 m s.d -10.00 m)			15	15	15	
6						16	20	27	**47**
7						15	15	15	
8						21	60		**>60**
9						15	5		
10			**End of Boring**			23	60		**>60**
11						15	5		
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									

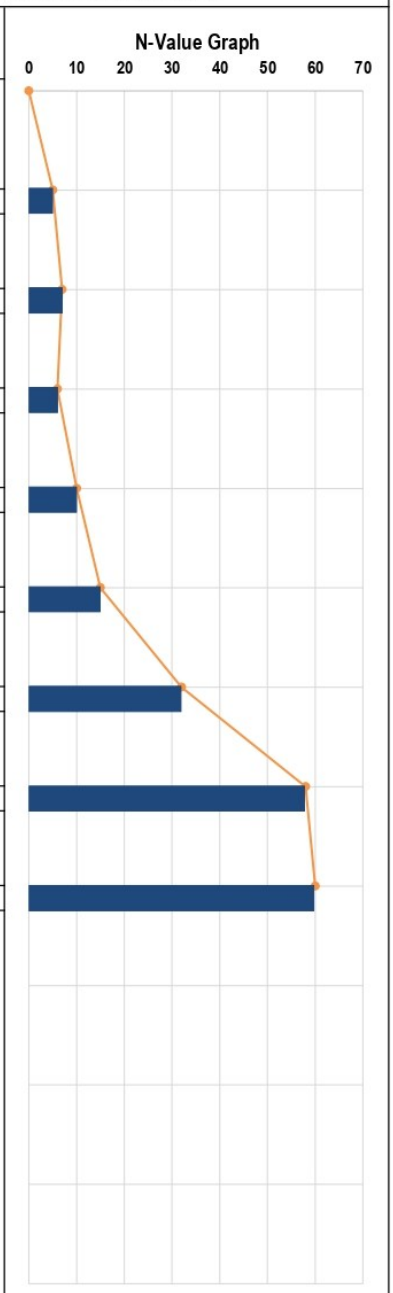


CV. SURVEY GEOTEKNIK DAN TRANSPORTASI
Soil Investigation, Topography and Geotechnical Consultant
Komp. Wengga Palam Indah 2 Kelurahan Guntung Manggis Landasan Ulin
Phone : 0812-535-33-873, E-mail : dimassugetra@gmail.com

Project	: Pekerjaan Soil Investigation - PT. United Tractors Site Satui		
Location	: Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan		
Borehole	: BH - 6	**Bor Type**	: XY-1
Beginning Date	: 19 November 2019	**Driller**	: Supriansyah
Ending Date	: 21 November 2019	**Logger**	: Supriansyah
Depth of Drill	: -00.00 m s.d -16.00 m	**Coordinat**	: X = 320215
G.W.L	: -		: Y = 9580280

DEPTH (m)	G.W.L	SYMBOL	SOIL OF ROCK MATERIAL DESCRIPTION	Type of Test: Sampel	Type of Test: SPT	Blows Penetration N-1	Blows Penetration N-2	Blows Penetration N-3	N-Blows 30 cm
0									
1			**SILTY CLAYS** : Lempung lanau coklat kemerahan sedikit berpasir (±00.00 m s.d -02.00 m)						
2					X	1	2	3	5
3			**CLAY** : Lempung abu-abu muda konsistensi teguh (-02.00 m s.d -04.50 m)			15	15	15	
4				UDS	X	2	2	5	7
5			**SILTY CLAYS** : Lanau lempung kuning keabuan sedikit bersisipan pasir konsistensi teguh (-04.50 m s.d -06.50 m)			15	15	15	
6					X	1	3	3	6
7			**SILTY CLAYS** : Lempung lanau abu-abu muda sedikit berpasir konsistensi kaku (-06.50 m s.d -08.50 m)			15	15	15	
8					X	4	4	6	10
9			**CLAYEY SANDS** : Pasir halus berlempung abu-abu kepadatan agak padat (-08.50 m s.d -10.00 m)			15	15	15	
10			**SANDY CLAYS** : Lempung abu-abu sedikit berpasir konsistensi kaku (-10.00 m s.d -11.00 m)		X	3	5	10	15
11						15	15	15	
12			**CLAYEY SANDS** : Pasir halus berlempung abu-abu kepadatan agak padat (-11.00 m s.d -12.00 m)		X	8	13	19	32
13			**CLAY** : Lempung abu-abu konsistensi keras (-12.00 m s.d -14.00 m)			15	15	15	
14					X	20	25	33	58
15			**CLAYEY SANDS** : Pasir halus berlempung abu-abu kepadatan sangat padat (-14.00 m s.d -16.00 m)			15	15	15	
16			**End of Boring**		X	23	60		>60
17						15	8		
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									

STANDART PENETRATION TEST (SPT)



CV. SURVEY GEOTEKNIK DAN TRANSPORTASI
Soil Investigation, Topography and Geotechnical Consultant
Komp. Wengga Palam Indah 2 Kelurahan Guntung Manggis Landasan Ulin
Phone : 0812-535-33-873, E-mail : dimassugetra@gmail.com

Pekerjaan : **Pekerjaan Soil Investigation - PT. United Tractors Site Satui**
Lokasi Pekerjaan : Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan

1. Summary Sifat Fisik Tanah

Bor No.	Depth	Sample	Kadar Air	Berat Isi Tanah	Berat Jenis Tanah	Grain Distribution						Plasticity Test			Klasifikasi USCS
						Clay	Silt & Clay	Fine Sand	Medium Sand	Course Sand	Gravel	LL	PL	PI	
						<0.002 mm	0.002 - 0.05 mm	0.05 - 0.2 mm	0.2 - 0.6 mm	0.6 - 2 mm	>2 mm				
	(m)		ω (%)	γ (gr/cm³)	(Gs)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
BH-1	-03,50 m s.d -04,00 m	UDS	21,733	1,840	2,715	58,082	39,720	1,560	0,587	0,052	0,000	61,030	33,345	27,685	OH & MH

2. Summary Sifat Mekanis Tanah

Bor No.	Depth	Sample	Unconfined Compression Test			Direct Shear Test		Consolidation		
			qu	ε	St	c	ϕ	Cc	Cs	Cv
	(m)		(kg/cm²)	(%)		(kg/cm²)	(°)			(cm²/sec)
BH-1	-03,50 m s.d -04,00 m	UDS	1,044	10,515	1,421	0,477	11,849	0,250	0,038	0,00034

Banjarbaru, 30 November 2019

DIMAS DWI WISMOYO, S.T.
Geotechnical Engineer

CV. SURVEY GEOTEKNIK DAN TRANSPORTASI
Soil Investigation, Topography and Geotechnical Consultant
Komp. Wengga Palam Indah 2 Kelurahan Guntung Manggis Landasan Ulin
Phone : 0812-535-33-873, E-mail : dimassugetra@gmail.com

Pekerjaan : **Pekerjaan Soil Investigation - PT. United Tractors Site Satui**
Lokasi Pekerjaan : Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan

1. Summary Sifat Fisik Tanah

Bor No.	Depth	Sample	Kadar Air	Berat Isi Tanah	Berat Jenis Tanah	Grain Distribution						Plasticity Test			Klasifikasi USCS
						Clay	Silt & Clay	Fine Sand	Medium Sand	Course Sand	Gravel	LL	PL	PI	
						<0.002 mm	0.002 - 0.05 mm	0.05 - 0.2 mm	0.2 - 0.6 mm	0.6 - 2 mm	>2 mm				
	(m)		ω (%)	γ (gr/cm³)	(Gs)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
BH-3	-09,50 m s.d -10,00 m	UDS	36,668	1,749	2,704	58,665	39,142	1,143	0,628	0,375	0,047	41,950	26,904	15,046	ML & OL

2. Summary Sifat Mekanis Tanah

Bor No.	Depth	Sample	Unconfined Compression Test			Direct Shear Test		Consolidation		
			qu	ε	St	c	ϕ	Cc	Cs	Cv
	(m)		(kg/cm²)	(%)		(kg/cm²)	(°)			(cm²/sec)
BH-3	-09,50 m s.d -10,00 m	UDS	1,057	9,464	1,989	0,421	12,134	0,306	0,054	0,00025

Banjarbaru, 18 November 2019

DIMAS DWI WISMOYO, S.T.
Geotechnical Engineer

CV. SURVEY GEOTEKNIK DAN TRANSPORTASI
Soil Investigation, Topography and Geotechnical Consultant
Komp. Wengga Palam Indah 2 Kelurahan Guntung Manggis Landasan Ulin
Phone : 0812-535-33-873, E-mail : dimassugetra@gmail.com

Pekerjaan : **Pekerjaan Soil Investigation - PT. United Tractors Site Satui**
Lokasi Pekerjaan : Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan

1. Summary Sifat Fisik Tanah

Bor No.	Depth	Sample	Kadar Air	Berat Isi Tanah	Berat Jenis Tanah	Grain Distribution						Plasticity Test			Klasifikasi USCS
						Clay	Silt & Clay	Fine Sand	Medium Sand	Course Sand	Gravel	LL	PL	PI	
						<0.002 mm	0.002 - 0.05 mm	0.05 - 0.2 mm	0.2 - 0.6 mm	0.6 - 2 mm	>2 mm				
	(m)		ω (%)	γ (gr/cm³)	(Gs)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
BH-5	-01,50 m s.d -02,00 m	UDS	25,070	1,761	2,681	42,079	34,761	8,119	7,923	3,328	3,790	34,500	21,873	12,627	CL

2. Summary Sifat Mekanis Tanah

Bor No.	Depth	Sample	Unconfined Compression Test			Direct Shear Test		Consolidation		
			qu	ε	St	c	ϕ	Cc	Cs	Cv
	(m)		(kg/cm²)	(%)		(kg/cm²)	(°)			(cm²/sec)
BH-5	-01,50 m s.d -02,00 m	UDS	0,956	11,567	1,254	0,220	14,821	0,285	0,047	0,00028

Banjarbaru, 24 November 2019

DIMAS DWI WISMOYO, S.T.
Geotechnical Engineer

CV. SURVEY GEOTEKNIK DAN TRANSPORTASI
Soil Investigation, Topography and Geotechnical Consultant
Komp. Wengga Palam Indah 2 Kelurahan Guntung Manggis Landasan Ulin
Phone : 0812-535-33-873, E-mail : dimassugetra@gmail.com

Pekerjaan : **Pekerjaan Soil Investigation - PT. United Tractors Site Satui**
Lokasi Pekerjaan : Kecamatan Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan

1. Summary Sifat Fisik Tanah

Bor No.	Depth	Sample	Kadar Air	Berat Isi Tanah	Berat Jenis Tanah	Grain Distribution						Plasticity Test			Klasifikasi USCS
						Clay	Silt & Clay	Fine Sand	Medium Sand	Course Sand	Gravel	LL	PL	PI	
						<0.002 mm	0.002 - 0.05 mm	0.05 - 0.2 mm	0.2 - 0.6 mm	0.6 - 2 mm	>2 mm				
	(m)		ω (%)	γ (gr/cm³)	(Gs)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
BH-6	-03,50 m s.d -04,00 m	UDS	38,919	1,642	2,703	53,814	42,318	1,378	1,150	1,147	0,193	53,080	32,958	20,122	OH & MH

2. Summary Sifat Mekanis Tanah

Bor No.	Depth	Sample	Unconfined Compression Test			Direct Shear Test		Consolidation		
			qu	ε	St	c	ϕ	Cc	Cs	Cv
	(m)		(kg/cm²)	(%)		(kg/cm²)	(°)			(cm²/sec)
BH-6	-03,50 m s.d -04,00 m	UDS	1,174	13,670	1,504	0,371	10,282	0,357	0,057	0,00033

Banjarbaru, 30 November 2019

DIMAS DWI WISMOYO, S.T.
Geotechnical Engineer