TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN *PLAXIS* PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL RUAS SIGLI – BANDA ACEH SEKSI 6 STA 72+600

(ANALYSIS OF ROAD STABILITY EMBANKMENT SLOPE WITH REINFORCEMENT OF GEOTEXTILES USING PLAXIS IN THE SIGLI – BANDA ACEH TOLL ROAD CONSTRUCTION PROJECT SECTION 6 STA 72+600)

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

Agusty Bayu Murizky
17 511 080

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

2022

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN *PLAXIS* PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL RUAS SIGLI – BANDA ACEH SEKSI 6 STA 72+600

(ANALYSIS OF ROAD STABILITY EMBANKMENT SLOPE WITH REINFORCEMENT OF GEOTEXTILES USING PLAXIS IN THE SIGLI – BANDA ACEH TOLL ROAD CONSTRUCTION PROJECT SECTION 6 STA 72+600)

Disusun oleh

Agusty Bayu Murizky
17 511 080

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

Diuji pada tanggal 30 Desember 2022

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Hanindya Kusuma A., S.T., M.T.	**Ir. Akhmad Marzuko, M.T.**	**Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.**
NIK : 045110407	**NIK :885110107**	**NIK :885110106**

Mengesahkan:
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng).
NIK: 095110101

PERYATAAN 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, 29 November 2022

Yang membuat pernyataan,



Agusty Bayu Murizky

(17511080)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahi rabbil 'alamin. Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT tuhan semesta alam, yang mana atas segala rahmat dan hidayahnya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan *Plaxis* Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh Seksi 6 Sta 72+600. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi oleh 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:

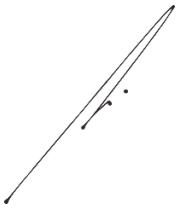
1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan dan dukungan demi terselesaikanya penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, M.T. dan bapak Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T., selaku dosen penguji Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
3. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Kedua orang tua saya bapak Mukhlis, A. Md., S.H., dan ibu Sadriah, S. KM., M. KM., yang selalu memberikan motivasi, dukungan, doa serta pelajaran hidup selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Saudara M. Affandi, A. Md., Almaida, S.T., Jauna Rizki, S.T., selaku staff pelaksana PT. Adhi Karya proyek Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

6. Saudara Annisya Rizqia W., yang sudah senantiasa memberikan dukungan serta motivasi dan tidak lupa selalu mengingatkan, menemani dalam susah maupun senang, mendoakan dan menuntun selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Saudara Nuzullul Aghniya, Tara Niate Guntara, Martha Dika Isyahputri, S.T., Iqron Hillayat A., S.T., Rival Jeneri, Alfi Ghufran, S.H., Ihsan Refandri, Alfian Ihsanul Q., S.T., Kintan Amanda, S.T., Fiondy Anfifa, S.T., Irfan Munadhil dan Munawar Maskurian yang sudah memberikan motivasi, semangat, mendoakan, menuntut untuk selesai dan cepat pulang selama pengerjaan Tugas Akhir.
8. Saudara M. Abiyyu Syauqi, M. Alif Syauqan, Tanisha Gelsy Hasti, Samhati dan Nadhif Tuffail Azzufar yang selalu mendukung serta mendoakan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Teman – teman Teknik Sipil angkatan 2017 yang sudah memberikan bantuan selama proses perkuliahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 29 November 2022

Penulis,



Agusty Bayu Murizky

(17511080)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
TUGAS AKHIR ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xix
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xx
ABSTRAK xxii
ABSTRACT xxiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 3
1.3. Tujuan Penelitian 3
1.4. Manfaat Penelitian 4
1.5. Batasan Penelitian 4
1.6. Studi Kasus 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1. Umum 7
2.2. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil 7
2.3. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil 8
2.4. Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan 10
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1. Tanah 13
3.1.1. Pengertian Umum 13
3.1.2. Klasifikasi Tanah 13
3.1.3. Parameter Kuat Geser Tanah 15

3.1.4. Permeabilitas 19
3.1.5. Kohesi 20
3.1.6. Sudut Geser Dalam 20
3.1.7. Modulus Elastis Tanah 21
3.1.8. Poisson's Ratio 21
3.1.9. Sudut Dilantasi 22
3.1.10. *Standard Penetration Test* (SPT) 22
3.2. Lereng 25
3.2.1. Pengertian Umum 25
3.2.2. Penyebab Longsor 25
3.2.3. Pengaruh Kelongsoran 25
3.2.4. Jenis Longsor 27
3.2.5. Penanggulangan Kelongsoran Lereng 29
3.3. Analisis Stabilitas Lereng 32
3.3.1. Pengertian Umum 32
3.3.2. Teori Analisis Stabilitas Lereng 32
3.3.3. Metode Analisis Stabilitas Lereng 33
3.4. Metode Perkuatan Tanah 36
3.4.1. Geotekstil 37
3.5. Program Plaxis 8.6 44
BAB IV METODE PENELITIAN 47
4.1. Tinjauan Umum 47
4.2. Data Penelitian 47
4.3. Tahapan Penelitian 48
4.4. Analisis Data 48
4.4.1. Parameter Tanah 48
4.4.2. Geotekstil 49
4.4.3. Beban Perkerasan dan Lalu Lintas 50
4.4.4. Beban Gempa 50
4.5. Pengoperasian Program *Plaxis* 51
4.5.1. Plaxis Input 52

4.5.2. Plaxis Calculation 56
4.5.3. Plaxis Output 57
4.6. Bagan Alir Penelitian 58
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 60
5.1. Gambaran Umum Analisis 60
5.1.1. Data Analisis Program Plaxis 8.6 60
5.2. Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan 63
5.2.1. Analisis Menggunakan Program Plaxis 64
5.2.2. Analisis Menggunakan Metode Fellenius 72
5.3. Lereng Timbunan dengan Tanah Replacement Tanpa Perkuatan 77
5.3.1. Analisis Menggunakan Program Plaxis 8.6 77
5.4. Perhitungan Kebutuhan Geotekstil 89
5.4.1. Data Perhitungan Geotekstil 89
5.4.2. Analisis Stabilitas Eksternal 91
5.4.3. Analisis Stabilitas Internal 96
5.4.4. Analisis Gaya Tarik Tanah Geotekstil 97
5.5. Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Woven 98
5.5.1. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Plaxis 8.6 98
5.5.2. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Tanah Replacement Menggunakan Plaxis 8.6 110
5.6. Pembahasan 122
5.6.1. Perbandingan Stabilitas Lereng Timbunan dengan Parameter Tanah Asli 122
5.6.2. Perbandingan Stabilitas Lereng Timbunan dengan Parameter Tanah *Replacement* 123
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 125
6.1. Kesimpulan 125
6.2. Saran 126
DAFTAR PUSTAKA 128
LAMPIRAN 131

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	11
Tabel 3.1	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS	14
Tabel 3.2	Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO	15
Tabel 3.3	Nilai Permeabilitas Tanah	20
Tabel 3.4	Nilai Kohesi	20
Tabel 3.5	Nilai Sudut Geser Dalam	20
Tabel 3.6	Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	21
Tabel 3.7	Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson’s Ratio	22
Tabel 3.8	Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	33
Tabel 3.9	Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor	33
Tabel 3.10	Nilai Interface Tanah Kohesif dengan Geotekstil	40
Tabel 4.1	Data Parameter Tanah Lereng Timbunan	49
Tabel 4.2	Data Parameter Geotekstil Woven UW – 250	49
Tabel 4.3	Data Parameter Beban Lalu Lintas	50
Tabel 5.1	Data Parameter Tanah	61
Tabel 5.2	Data Parameter Beban Lalu Lintas	62
Tabel 5.3	Data Parameter Geotekstil Woven UW 250	63
Tabel 5.4	Rekapitulasi Nilai Safety Factor	72
Tabel 5.5	Rekapitulasi Nilai Consolidation Analysis	72
Tabel 5.6	Rekapitulasi Perhitungan Metode Fellenius	75
Tabel 5.7	Rekapitulasi Nilai Safety Factor	89
Tabel 5.8	Rekapitulasi Nilai Consolidation Analysis	89
Tabel 5.9	Data Parameter Geotekstil Woven	90
Tabel 5.10	Data Koefisien Daya Dukung Tanah	91
Tabel 5.11	Rekapitulasi Analisis Kebutuhan Panjang Geotekstil	95
Tabel 5.12	Rekapitulasi Nilai Safety Factor	110
Tabel 5.13	Rekapitulasi Nilai Consolidation Analysis	110

Tabel 5.14 Rekapitulasi Nilai Safety Factor 122
Tabel 5.15 Rekpitulasi Nilai Consolidation Analysis 122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Jalan Tol Ruas Sigli Banda Aceh Sta 72+600	3
Gambar 1.2	Lokasi Pelaksanaan Penelitian Pada Sta 72+600	5
Gambar 1.3	Geometri Potongan Melintang Pada Sta 72+600	6
Gambar 3.1	Lingkaran Mohr Saat Kegagalan	18
Gambar 3.2	Penetrasi dengan SPT	23
Gambar 3.3	Skema Pengujian Standard Penetration Test (SPT)	24
Gambar 3.4	Contoh Hasil Pengujian Standard Penetration Test (SPT)	24
Gambar 3.5	Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkak (Creep)	27
Gambar 3.6	Kelongsoran Lereng	28
Gambar 3.7	Longsoran Translasi	29
Gambar 3.8	Longsoran Rotasi	29
Gambar 3.9	Gaya – Gaya yang Bekerja Pada Irisan	34
Gambar 3.10	(a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli (b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Diperkuat	36
Gambar 3.11	Geotekstil Woven	38
Gambar 3.12	Geotekstil Non – Woven	38
Gambar 3.13	Geotekstil Sebagai Pemisah (Separator)	39
Gambar 3.14	Geotekstil Sebagai Perkuatan (Reinforcement)	39
Gambar 3.15	Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	41
Gambar 4.1	Peta Zonasi Gempa	51
Gambar 4.2	Grafik Respon Spektrum	51
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa	51
Gambar 4.4	Kotak Dialog Create/Open Project	52
Gambar 4.5	Tab Project dari Jendela General Setting	52
Gambar 4.6	Tab Dimension dari Jendela General Setting	53
Gambar 4.7	Lembar Tab General dari Jendela Material Sets	55
Gambar 4.8	Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets	55
Gambar 4.9	Jaringan Elemen Hingga (Meshing)	55

Gambar 4.10	Tegangan Awal Pada Geometri	56
Gambar 4.11	Jendela Calculations dengan Lembar Tab General	57
Gambar 4.12	Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	57
Gambar 4.13	Flowchart Penelitian	58
Gambar 4.14	Flowchart Pemodelan Lereng	59
Gambar 5.1	Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa	62
Gambar 5.2	Geometri Kondisi Eksisting Lereng	63
Gambar 5.3	Permodelan Lereng Timbunan 10m Tanpa Perkuatan	64
Gambar 5.4	Meshing Lereng Timbunan 10m Tanpa Perkuatan	64
Gambar 5.5	Generate Water Pressures Lereng Timbunan 10m Tanpa Perkuatan	65
Gambar 5.6	Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 10m Tanpa Perkuatan	65
Gambar 5.7	Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	66
Gambar 5.8	Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	66
Gambar 5.9	Effective Stresses Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	67
Gambar 5.10	Effective Stresses Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	67
Gambar 5.11	Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	68
Gambar 5.12	Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	68
Gambar 5.13	Total Displacement Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	69
Gambar 5.14	Total Displacement Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	69
Gambar 5.15	Total Displacement Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	69

Gambar 5.16	Total Displacement Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	70
Gambar 5.17	Total Displacement Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	70
Gambar 5.18	Total Displacement Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	70
Gambar 5.19	Total Displacement Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	71
Gambar 5.20	Total Displacement Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	71
Gambar 5.21	Geometri Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Asli dengan Metode Fellenius	73
Gambar 5.22	Pemodelan Pias Analisis Stabilitas dengan Metode Fellenius	73
Gambar 5.23	Pemodelan Lereng Timbunan 10m Replacement Tanpa Perkuatan	78
Gambar 5.24	Meshing Lereng Timbunan 10m Replacement Tanpa Perkuatan	78
Gambar 5.25	Generate Water Pressures Lereng Timbunan 10m Replacement Tanpa Perkuatan	79
Gambar 5.26	Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 10m Replacement Tanpa Perkuatan	79
Gambar 5.27	Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	80
Gambar 5.28	Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	80
Gambar 5.29	Effective Stresses Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	81
Gambar 5.30	Effective Stresses Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	81
Gambar 5.31	Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	82

Gambar 5.32	Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	82
Gambar 5.33	Total Displacement Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	83
Gambar 5.34	Total Displacement Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	83
Gambar 5.35	Total Displacement Lereng Timbunan 2,5m Replacement Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	84
Gambar 5.36	Total Displacement Lereng Timbunan 5m Replacement Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	84
Gambar 5.37	Total Displacement Lereng Timbunan 7,5m Replacement Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan	84
Gambar 5.38	Total Displacement Lereng Timbunan 2,5m Replacement Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	85
Gambar 5.39	Total Displacement Lereng Timbunan 5m Replacement Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	85
Gambar 5.40	Total Displacement Lereng Timbunan 7,5m Replacement Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	85
Gambar 5.41	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Replacement Akibat Beban Merata	86
Gambar 5.42	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Replacement Akibat Beban Merata	86
Gambar 5.43	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Replacement Akibat Beban Merata	86
Gambar 5.44	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata	87
Gambar 5.45	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Replacement Akibat Beban Gempa	87
Gambar 5.46	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Replacement Akibat Beban Gempa	87

Gambar 5.47	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Replacement Akibat Beban Gempa	88
Gambar 5.48	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa	88
Gambar 5.49	Gaya yang Bekerja Pada Lereng Timbunan	92
Gambar 5.50	Transfer Tegangan Geser	97
Gambar 5.51	Permodelan Lereng Timbunan 10m Dengan Perkuatan	98
Gambar 5.52	Meshing Lereng Timbunan 10m Dengan Perkuatan	99
Gambar 5.53	Generate Water Pressures Lereng Timbunan 10m Dengan Perkuatan	99
Gambar 5.54	Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 10m Dengan Perkuatan	100
Gambar 5.55	Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	100
Gambar 5.56	Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	101
Gambar 5.57	Effective Stresses Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	101
Gambar 5.58	Effective Stresses Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	102
Gambar 5.59	Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	102
Gambar 5.60	Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	103
Gambar 5.61	Total Displacement Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	103
Gambar 5.62	Total Displacement Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	104
Gambar 5.63	Total Displacement Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	104
Gambar 5.64	Total Displacement Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	105

Gambar 5.65	Total Displacement Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	105
Gambar 5.66	Total Displacement Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	106
Gambar 5.67	Total Displacement Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	106
Gambar 5.68	Total Displacement Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	106
Gambar 5.69	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	107
Gambar 5.70	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	107
Gambar 5.71	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	108
Gambar 5.72	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	108
Gambar 5.73	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	108
Gambar 5.74	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	109
Gambar 5.75	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	109
Gambar 5.76	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	109
Gambar 5.77	Permodelan Lereng Timbunan 10m Replacement Dengan Perkuatan	111
Gambar 5.78	Meshing Lereng Timbunan 10m Replacement Dengan Perkuatan	111
Gambar 5.79	Generate Water Pressures Lereng Timbunan 10m Replacement Dengan Perkuatan	112

Gambar 5.80	Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 10m Replacement Dengan Perkuatan	112
Gambar 5.81	Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	113
Gambar 5.82	Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	113
Gambar 5.83	Effective Stresses Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	114
Gambar 5.84	Effective Stresses Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	114
Gambar 5.85	Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	115
Gambar 5.86	Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	115
Gambar 5.87	Total Displacement Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	116
Gambar 5.88	Total Displacement Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	116
Gambar 5.89	Total Displacement Lereng Timbunan 2,5m Replacement Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	117
Gambar 5.90	Total Displacement Lereng Timbunan 5m Replacement Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	117
Gambar 5.91	Total Displacement Lereng Timbunan 7,5m Replacement Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan	117
Gambar 5.92	Total Displacement Lereng Timbunan 2,5m Replacement Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	118
Gambar 5.93	Total Displacement Lereng Timbunan 5m Replacement Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	118
Gambar 5.94	Total Displacement Lereng Timbunan 7,5m Replacement Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	118

Gambar 5.95 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan 119
Gambar 5.96 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan 119
Gambar 5.97 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan 120
Gambar 5.98 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan 120
Gambar 5.99 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan 120
Gambar 5.100 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan 121
Gambar 5.101 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan 121
Gambar 5.102 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan 121
Gambar 5.103 Perbandingan Safety Factor Dengan Variasi Tinggi Timbunan Kondisi Lereng Tanah Asli 123
Gambar 5.104 Perbandingan Nilai Konsolidasi Dengan Variasi Tinggi Timbunan Kondisi Lereng Tanah Asli 123
Gambar 5.105 Perbandingan Safety Factor Dengan Variasi Tinggi Timbunan Kondisi Lereng Tanah Replacement 124
Gambar 5.106 Perbandingan Nilai Konsolidasi Dengan Variasi Tinggi Timbunan Kondisi Lereng Tanah Replacement 124

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Geometri Potongan Melintang	132
Lampiran 2	Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah	133
Lampiran 3	Data Grafik Sondir pada Sta 0+000 R/S – 0+025 L/S	134
Lampiran 4	Data Grafik Sondir pada Sta 3+550	135
Lampiran 5	Data Technical Spesification Geotextile Woven	136

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm = Centimeter

m = Meter

mm = Milimeter

γb = Berat Volume Tanah (kN/m^3)

γ sat = Berat Volume Tanah jenuh (kN/m^3)

FK = Faktor Keamanan

N = Newton

kN = Kilo Newton

Mpa = Mega Pascal

% = Persen

D = Diameter (m)

S = Jarak (m)

L = Panjang (m)

SF = *Safety Factor*

τf = Kuat Geser Tanah (kN/m^2)

τd = Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m^2)

m^2 = Meter persegi

c = Kohesi (kN/m^2)

φ = Sudut geser dalam (°)

v = *Poissons ratio*

e = Modulus young (kN/m^2)

k = Koefisien permeabilitas (cm/sec)

g = Modulus geser (N/m^2)

σ = Tegangan normal (kN/m^2)

$\sigma'f$ = Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m^2)

$\tau'f$ = Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m^2)

u = Tekanan air pori

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)

n = Jumlah irisan

W_i = Berat massa tanah irisan ke-$_i$

N_i = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

θ_i = Sudut yang didefinisikan (°)

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan

α = Sudut geser singgung masing-masing irisan

N’ = Gaya normal efektif (N)

σ_v = Tegangan normal pada bidang kontak (kN/m^2)

Ka = Koefisien tanah aktif

H = Tinggi lapisan tanah (m)

q = Beban merata (kN/m)

ABSTRAK

Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh yang dibangun melintasi 3 kabupaten di Aceh ini bertujuan untuk meningkatkan aksebilitas dan kapasitas dalam melayani lalu lintas di sektor industri yang berguna dalam meningkatkan produktivitas. Pada jalan tol ini terdapat banyak lereng yang terbuat dari timbunan tanah untuk jalan. Timbunan lereng yang dilakukan penelitian dikhususkan pada ruas tol Sigli – Banda Aceh Seksi 6 Sta 72+600 dengan tinggi lereng yang bervariasi mulai dari 2,5m sampai dengan 10m. Tanah *replacement* digunakan sebagai parameter untuk mengetahui pengaruh terhadap timbunan lereng. Tujuan dari penilitian ini adalah mendapatkan nilai angka aman (SF), dan konsolidasi yang terjadi selama satu tahun.

Analisis stabilitas lereng dilakukan perhitungan dengan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 8.6. Penelitian ini menggunakan variasi analisis tinggi timbunan lereng 2,5m, 5m, 7,5m dan 10m. Untuk perencanaan perkuatan pada timbunan lereng yang tidak aman digunakan perkuatan geotekstil *woven* UW-250 produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul.

Nilai angka aman untuk timbunan 2m dengan tanah asli 1,5833 pada tanah *replacement* 1,6283. Untuk timbunan 5m didapatkan nilai angka aman pada tanah asli 1,2508 pada tanah *replacement* 1,3012. Pada timbunan 7,5m dengan tanah asli 1,1443 pada tanah *replacement* 1,2142. Untuk timbunan 10m angka aman dengan tanah asli 1,0033 pada tanah *replacement* 1,1157. Kemudian tanah timbunan 7,5m sampai 10m diperkuat menggunakan geotekstil. Hasil analisis dengan perkuatan pada semua timbunan 7,5m dan 10m yang diperkuat menghasilkan angka aman yang lebih besar dari yang disyaratkan sebesar 1,25.

Kata Kunci: Timbunan, Angka Aman (SF), Konsolidasi, Geotekstil, Plaxis

ABSTRACT

The Sigli - Banda Aceh Toll Road, which was built across 3 districts in Aceh, aims to increase accessibility and capacity to serve traffic in the industrial sector which is useful in increasing productivity. On this toll road, there are many slopes made of heaps of earth for roads. The slope embankment that was carried out by the study was specifically on the Sigli - Banda Aceh toll road Section 6 Sta 72+600 with slope heights varying from 2.5m to 10m. Replacement soil is used as a parameter to determine the effect on slope embankment. The purpose of this research is to get the value of the safe number (SF), and consolidation that occurs for one year.

Slope stability analysis was calculated using the finite element method using the Plaxis 8.6 program. This study used a variation of the slope embankment height analysis of 2.5m, 5m, 7.5m, and 10m. For reinforcement planning on unsafe slope embankments used UW-250 woven geotextile reinforcement produced by PT. Teknindo Geosystem Superior.

The safety factor value for embankment 2m with original soil is 1.5833 on the replacement land is 1.6283. For the 5m embankments, the safety factor value for the original soil is 1.2508 and 1.3012 on replacement land. The safety factor value On the 7.5m embankment with original soil is 1.1443 and 1.2142 on replacement land. For a 10m embankment, the safety factor value with original soil is 1.0033 and on the replacement land is 1.1157. Then the 7.5m to 10m embankments were reinforced using geotextiles. The results of the analysis with reinforcement on all reinforced embankments 7.5m and 10m resulted in a safety score that was greater than required at 1.25.

Keywords: *Embankments, Safety Factor (SF), Consolidation, Geotextile.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan sebuah negara yang masih disebut sebagai negara berkembang oleh karena itu banyaknya pembangunan yang dilakukan di negara ini. Salah satu pembangunan yang sedang dilakukan yaitu pelaksanaan Proyek Strategis Nasional sampai dengan tahun 2024 yang didalam perencanaan proyek tersebut juga terdapat proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan akses transportasi darat serta juga untuk meningkatkan fasilitas berkendara bagi masyarakat di daerah tersebut yang nantinya dapat menunjang ekonomi daripada masyarakat sekitar area pembangunan tol tersebut.

Dalam pembangunan sebuah proyek konstruksi, tidak dapat dipungkiri bahwa setiap pekerjaannya dilakukan diatas tanah. Kondisi pondasi dan tanah yang baik diperlukan dalam pembangunan untuk menunjang aspek penting dalam menjaga keamanan serta stabilitas konstruksi bangunan tersebut. Pentingnya penyelidikan tanah pada suatu pembangunan dikarenakan tanah dasar merupakan komponen yang penting untuk mendistribusikan beban yang diterima bangunan maupun beban mati dari bangunan itu sendiri.

Indonesia juga merupakan salah satu negara yang memiliki kondisi tanah yang tergolong banyak serta berbeda–beda di setiap daerahnya. Hal ini dikarenakan Indonesia memiliki banyak wilayah pegunungan, tanah perbukitan yang menyebabkan kondisi tanah yang beragam. Oleh karena itu diperlukan beberapa modifikasi dan rekayasa sipil agar proyek konstruksi tetap dapat dilakukan dengan baik di beberapa daerah yang sangat tidak memungkinkan untuk dilaksanakannya proyek konstruksi. Beberapa modifikasi tersebut adalah perkuatan dari tanah/*subgrade* itu sendiri.

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka diperlukan kondisi tanah yang stabil dalam pembangunan konstruksi sehingga nantinya bangunan dapat berfungsi dengan baik sesuai umur yang telah direncanakan. Dalam proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli–Banda Aceh terdapat beberapa jenis–jenis tanah . Pada daerah Kota Banda Aceh memiliki jenis tanah *Podzolik* dan tekstur tanah sedang sampai kasar. Pada daerah Aceh Besar memiliki kondisi tanah yang berjenis lempung berdebu, liat, sampai lempung berliat dan struktur tanahnya tergolong remah, gempal, sampai massif. Pada daerah Kabupaten Pidie tanahnya berjenis gambut karena berada pada daerah persawahan. Salah satu rekayasa sipil yang dilakukan pada proyek ini berupa perkuatan tanah menggunakan pondasi tiang bor dan geomembrane guna memperkuat struktur jalan di atasnya dan menstabilkan tanah dibawahnya serta pada beberapa lokasi juga dilakukan proses penggalian dan penimbunan ulang atau *replacement.*

Pondasi tiang bor merupakan salah satu jenis pondasi yang digunakan dalam proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh. Pondasi tiang bor digunakan untuk menopang struktur yang memiliki beban yang cukup besar dan diperlukan dalam perencanaan kedalaman pondasi yang cukup dalam. Dalam pengerjaannya menggunakan metode pengeboran tanah sesuai dengan kedalaman rencana. Geomembran merupakan salah satu jenis perkuatan tanah yang sering digunakan pada proyek konstruksi seperti pembangunan jalan, tanggul, bendung maupun bendungan, pada proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh geomembran yang digunakan adalah geotekstil jenis *woven*.

Berdasarkan hal di atas, penulis melakukan penelitian bertujuan untuk mengetahui angka aman (SF) dan besar konsolidasi dengan metode penambahan perkuatan geotekstil. Penulis akan menganalisis pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh dengan menggunakan *software* analisa geoteknik *Plaxis.* Hasil tersebut yang kemudian akan dianalisis sehingga dapat mengetahui angka aman (SF) dan besar konsolidasinya. Sehingga memperoleh nilai yang dapat direkomendasikan paling aman untuk diaplikasikan pada pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh tersebut.



Gambar 1.1 Lokasi Jalan Tol Ruas Sigli Banda Aceh Sta 72+600
(Sumber: PT. Adhi Karya (Persero) Tbk, 2020)

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang diteliti, adapun secara khusus pada penilitian ini dirumuskan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana hubungan angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng asli tanpa perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 8.6*?
2. Bagaimana hubungan angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 8.6*?
3. Bagaimana perbandingan angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi antara lereng timbunan tanah asli dengan lereng timbunan yang diberikan *replacement* dari tanah timbunan menggunakan program Plaxis 8.6?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng asli tanpa perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 8.6.*

2. Mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 8.6.*
3. Mengetahui perbandingan angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi antara lereng timbunan tanah asli dengan lereng timbunan yang diberikan *replacement* dari tanah timbunan menggunakan program *Plaxis 8.6.*

1.4. Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan mengenai desain tinggi timbunan paling efektif dan aman dengan bahan perkuatan geotekstil pada proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh
2. Mengenal serta dapat mengoperasikan program *Plaxis 8.6* dalam menganalisis kestabilan lereng.
3. Menjembatani penelitian – penelitian sejenis sebagai bahan masukan dan inovasi teknologi dalam rekayasa geoteknik yang dapat mempengaruhi perkembangan yang terjadi pada konstruksi di indonesia.

1.5. Batasan Penelitian

Permasalahan – permasalahan seperti diatas perlu adanya batasan agar penelitian ini dapat berjalan secara efisien dan sistematis, Adapun batasan – batasan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Timbunan lereng pada proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh Sta 72+600.
2. Data tanah timbunan yang digunakan dari Laporan Analisa Geoteknikal proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh Sta 72+600.
3. Tinggi lereng adalah bervariasi dari 2,5m, 5m, 7,5m, 10m.
4. Perencanaan geosintetik yang digunakan adalah jenis geotekstil yang di tenun *(woven)* produksi PT. Teknindo Geosistem, dengan kuat Tarik ultimit 52 kN/m²
5. Metode perhitungan menggunakan program bantu dengan Plaxis 8.6.

6. Tanah *replacement* yang digunakan adalah data tanah timbunan dengan ketebalan *replacement* 2 meter.
7. Beban merata yang digunakan adalah beban struktur dan beban lalu lintas standar untuk Jalan Tol.
8. Besar konsolidasi diperhitungkan pada timbunan lereng kondisi pasca konstruksi dengan asumsi waktu selama 365 hari (1 tahun).
9. Beban gempa dinamik diperhitungkan sesuai dengan kondisi gempa daerah Baitussalam, Aceh Besar.

1.6. Studi Kasus

Adapun studi kasus yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi Proyek

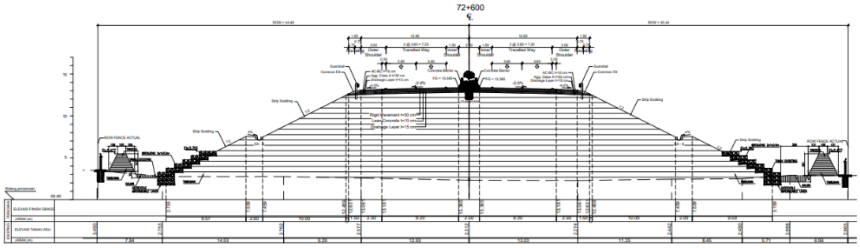
   Lokasi terletak di kecamatan Baitussalam, Kabupaten Aceh Besar. Lokasi pelaksanaan pada STA 72+600 dapat dilihat pada Gambar 1.2 di bawah ini.



Gambar 1.2 Lokasi Pelaksanaan Penelitian Pada Sta 72+600
(Sumber: *Google Earth*, 2022)

2. Potongan Melintang

   Potongan melintang pada lokasi penelitian yaitu STA 72+600 merupakan geometri tanah timbunan yang digunakan. Geometri potongan melintang akan dianalisis dengan variasi ketinggian timbunan mulai dari 2,5m sampai 10m. Potongan melintang pada STA 72+600 dapat dilihat pada Gambar 1.3 di bawah ini.



Gambar 1.3 Geometri Potongan Melintang Pada Sta 72+600
(Sumber: PT. Adhi Karya (Persero) Tbk, 2020)

3. Data Tanah

   Data tanah yang digunakan yaitu hasil dari uji laboratorium dari sampel tanah untuk desain yang diperoleh dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh. Data tanah yang diambil dari Data Borlog pada titik BH – 75 STA 72+600.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan dengan topik yang sama digunakan oleh peneliti sebagai referensi dari penelitian yang dilakukan. Referensi penelitian yang dikutip dikategorikan menjadi 3 bagian. Pada bagian pertama membahas mengenai analisis stabilitas lereng pada tanah timbunan, kemudian pada bagian kedua membahas tentang analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil dan penambahan dinding penahan tanah tipe kantilever, lalu pada bagian ketiga membahas tentang analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tanpa perkuatan geotekstil.

2.2. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil

1. Gati (2018) melakukan penelitian terkait analisis stabilitas lereng timbunan badan jalan dan prediksi timbunan yang terjadi menggunakan program *Plaxis* pada studi kasus Jalan Tol Cimanggis – Cibitung STA 36+200 – STA 37+700. Penilitian ini sendiri bertujuan untuk mengetahui angka aman dan besarnya penurunan konsolidasi yang terjadi pada tanah timbunan dengan timbunan yang bervariasi yaitu pada 3 meter, 5 meter, dan 8 meter menggunakan program *Plaxis* 8.5. Kesimpulan dari penelitian tersebut didapatkan bahwa pada kondisi tanah asli terjadi keruntuhan, pada timbunan 3 meter didapatkan angka aman sebesar 0,203, pada 5 meter didapatkan sebesar 0,1608, dan pada timbunan dengan kegtinggian 8 meter didapatkan sebesar 0,1383. Sedangkan pada saat diberikan perkuatan geotekstil dengan *replacement* didapatkan angka aman pada timbunan 3 meter sebesar 1,5573 tanpa adanya beban gempa dan dengan beban gempa didapatkan sebesar 1,5276, pada saat paska konstruksi tanpa beban gempa didapatkan sebesar 1,3251 dengan beban gempa 1,3198. Pada timbunan 5 meter dan 8 meter tanpa adanya beban gempa didapatkan berturut sebesar 1,4280 dan 1,4045 dengan beban gempa berturut sebesar

1,4278 dan 1,3251. Pada kondisi paska konstruksi didapatkan berturut tanpa beban gempa sebesar 1,2631 dan 1,2943 dengan beban gempa berturut sebesar 1,2618 dan 1,2893.

2. Qayyim (2021) melakukan penelitian tentang pemakaian geotekstil pada analisis stabilitas timbunan lereng jalan menggunakan program *Plaxis 8.6* pada lokasi proyek jalan Tol Cibitung – Cilincing. Tujuan penelitian tersebut adalah mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng timbunan dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng asli menggunakan program *Plaxis 8.6* dan Mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 8.6.* Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut adalah didapatkan bahwa angka aman untuk lereng timbunan asli dengan ketinggian 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, dan dan 12,5m akibat beban struktur secara berturut didapat angka aman sebesar 2,154; 1,559; 1,324; 1,2751; 1,1928; dan 1,116, sedangkan akibat beban gempa sebesar 2,134; 1,555; 1,324; 1,275; 1,1925; dan 1,113. Selanjutnya angka aman yang didapat pada analisis stabilitas lereng masa konstruksi dengan perkuatan geotekstil satu lapis pada timbunan 8m, 10m, dan 12,5m akibat beban struktur secara berturut sebesar 2,044; 1,780; dan 1,459, sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,998; 1,751; dan 1,421.

2.3. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

1. Hediyanto (2018) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding kantilever dan *sheetpile* pada Bantaran Sungai Code. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan *sheet pile* menggunakan program *Geoslope/w* dan mengetahui pergerakan tanah pada kedua variasi perkuatan tersebut dengan pembanding pada saat terjadi gempa dan non gempa menggunakan program *Sigma/w.* Berdasarkan hasil penelitian diperoleh faktor aman (SF) lereng eksisting akibat berat sendiri sebesar 1,118 akibat gempa sebesar 0,565. Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan kantilever akibat

berat sendiri sebesar 2,639 akibat gempa sebesar 1,789. Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan *sheet pile* kantilever akibat berat sendiri sebesar 2,726 akibat gempa sebesar 1,846. Dari perencanaan dua variasi perkuatan tersebut faktor aman (SF) > 1,5 maka lereng stabil. Diperoleh hasil terbesar pergerakan tanah perkuatan kantilever pada saat non gempa pada potongan A – A sebesar 0,7, potongan B – B sebesar 1,01m dan potongan C – C sebesar 0,1m. Hasil terbesar pergereakan tanah perkuatan *sheet pile* pada saat non gempa pada potongan A – A sebesar 0,44, potongan B – B sebesar 1,03m dan potongan C – C sebesar 0,088m.

2. Sekarti (2018) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas timbunan di jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga – Kartasura. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan (SF) lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program *Slope/W* dengan metode *Fellenius, Janbu Simplified* dan *Morgenstern Price.* Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode *Fellenius, Janbu Simplified* dan *Morgenstern Price* terjadi peningkatan SF bertutur – turut sebesar 9,72%, 9,36% dan 10,8%, sedangkan dengan pengaruh beban gempa sebesar 1,86%, 1,94% dan 2%. Hasil SD yang paling kritis jika dibandingkan dengan metode kesetimbangan lainnya adalah pada metode *Janbu Simplified.* Beban gempa dapat mempengaruhi kestabilan timbunan secara signifikan dengan rata – rata sebesar 44,4062% menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan.
3. Kurniawan (2019) melakukan peneletian tentang analisis stabilitas dinding penahan tanah dan *sheet pile* baja pada lereng jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+850 – 3+050. Penilitian ini bertujuan untuk mengetahui angka aman pada lereng timbunan asli, mengetahui angka aman pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah, dan mengetahui angka aman pada lereng dengan perkuatan *sheet pile* baja. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah pada lereng timbunan asli terjadi *collapse* dengan nilai angka aman sebesar 0,351, sedangkan hasil penelitian dengan menggunakan

perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever atau *sheet pile* didapatkan masing – masing nilai angka aman sebesar 1,5927 dan 1,8022 pada kondisi tanpa beban gempa dan pada saat diberikan beban gempa nilai angka aman yang didapatkan sebesar 1,5862 dan 1,7964.

2.4. Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan

Perbandingan penelitian, jurnal atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian diatas disajikan dalam bentuk table, perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sekarti (2018)	Gati (2018)	Hediyanto (2018)	Kurniawan (2019)	Qayyim (2021)	Murizky (2022)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga – Kartasura.	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan Dan Prediksi Timbunan Yang Terjadi Menggunakan Program *Plaxis.*	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan *Sheetpile* pada Bantaran Sungai Code.	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan S*heet Pile* Baja pada Lereng Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+850 – 3+050.	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *PLAXIS* Pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA 3+550.	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan *Plaxis* Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh Seksi 6 Sta 72+600
Tujuan Penelitian	Mengetahui nilai faktor keamanan lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program *Slope/W.*	Mengetahui angka aman dan besarnya penurunan konsolidasi yang terjadi pada tanah timbunan dengan timbunan yang bervariasi yaitu pada 3 meter, 5 meter, dan 8 meter menggunakan program *Plaxis* 8.5.	Mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan *sheetpile* menggunakan program *Geoslope/W.*	Mengetahui nilai faktor aman pada lereng asli, lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan *sheet pile*	Mengetahui hubungan analisis stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *PLAXIS.*	Mengetahui hubungan angka aman stabilitas dan penurunan konsolidasi lereng dengan perkuatan maupun tanpa perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS.
Metode Penelitian	Analisa menggunakan pengujian tanah langsung dilaboratorium dan faktor aman dengan program *Slope/W.*	analisis dilakukan menggunakan software *plaxis* untuk tanah yang diberikan beban lalu lintas dan beban gempa dengan variasi tinggi timbunan 3 meter, 5 meter, 8 meter.	Analisa menggunakan program *Geoslope* untuk kestabilan lereng dengan perkuatan kantilever dan *Sheet pile.*	Analisa menggunakan program *Plaxis* untuk kestabilan angka aman lereng dan konsolidasi yang terjadi.	Analisa menggunakan program *Plaxis* untuk kestabilan angka aman lereng dan konsolidasi yang terjadi.	Analisa menggunakan program *Plaxis* untuk kestabilan angka aman lereng dan konsolidasi yang terjadi.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sekarti (2018)	Gati (2018)	Hediyanto (2018)	Kurniawan (2019)	Qayyim (2021)	Murizky (2022)
Hasil Penelitian	Timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan *Fellenius* terjadi peningkatan SF sebesar 9,72%.	Kesimpulan dari penelitian tersebut didapatkan bahwa pada kondisi tanah asli terjadi keruntuhan, pada timbunan 3 meter didapatkan angka aman sebesar 0,203, pada 5 meter didapatkan sebesar 0,1608, dan pada timbunan dengan kegtinggian 8 meter didapatkan sebesar 0,1383.	Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan *Sheet pile* akibat berat sendiri sebesar 2,726 dan akibat beban gempa sebesar 1,846.	Faktor angka aman yang didapat pada lereng asli 0,351, pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah didapat 1,5682 dan *sheet pile* sebesar 1,7964.	Angka aman yang didapat pada analisis stabilitas lereng masa konstruksi dengan perkuatan geotekstil satu lapis pada timbunan 8m, 10m, dan 12,5m akibat beban struktur secara berturut sebesar 2,044; 1,780; dan 1,459, sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,998; 1,751; dan 1,421.	-

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Tanah

3.1.1. Pengertian Umum

Dalam pandangan ilmu teknik sipil, tanah merupakan sebuah himpunan mineral dari berbagai bahan organic dan endapan – endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak pada bagian atas batuan dasar (*bedrock*). Tanah juga merupakan sebuah bahan bangunan yang berasal dari alam. Proses pelapukan batuan yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Pada umumnya pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutam yang mengandung asam atau alkali) dan proses – proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat misalnya , maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkat (*transported soil*) (Hardiyatmo, 2010).

3.1.2. Klasifikasi Tanah

Ketika ingin merencanakan sebuah proyek terkait struktur bangunan Gedung, jalan raya, dan lain – lain, langkah awal yang harus dilakukan adalah melakukan pengecekan tahap awal terhadap kondisi tanah. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui apakah tanah tersebut sudah sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Klasifikasi tanah merupakan penggolongan sistematis dari jenis – jenis tanah yang mempunyai sifat – sifat yang sama dalam kelompok dan sub kelompok yang sesuai dengan pemakaiannya (Das, 1998).

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan dari beberapa jenis tanah yang berbeda – beda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok dan subkelompok sesuai pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah sangat

membantu perancangan dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah telah berkembang dan bertujuan agar rekayasa didasarkan pada sifat – sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisnya.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang ada. Sistem tersebut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Unifed Soil Clasification System*) dan sistem klasifikasi berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*).

1. Klasifikasi Tanah Sistem USCS *(Unifed Soil Classification System)*

   Dalam sistem USCS, tanah di klasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Kemudian klasifikasi tanah menurut sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS

Prosedur Klasifikasi			Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / Ø 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm	Kerikil Murni (Tanpa – sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = D60/D10 =1 – 4 CC = D30²/D10 = 1-3
			GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejum;lah butiran halus)	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung mengandung pasir – lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit biutiran halus)	SW	Pasir bergaradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D60/D10 ≥ 6 CC = D30²/D10 = 1-3
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2. Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO *(Unified Soil Classification System)*

   Sistem klasifikasi tanah AASHTO pada awalnya diperkenalkan oleh Hoentogler dan Tarzaghi yang akhirnya diambil oleh *Burean Of Public Roads.* Pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis saringan. Sistem klasifikasi tanah ini dapat membagi tanah ke dalam 8 kelompok yang diberi nama dari A – 1 sampai A – 8. Tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan dapat diberi nama A – 8, maka pada revisi terakhir oleh sistem AASHTO dapat diabaikan. Klasifikasi tanah sistem AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing 0.075 mm)			
Group classification	A-1			A-2							A-7
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Sieve analysis, percent passing:											
2.00 mm (No. 10)	50 max.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	—	—	—	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40):											
Liquid limit	—		—	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to Poor			

*©American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978. Used by permission.
†Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 3.5).

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.1.3. Parameter Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi ketika tanah tersebut terbebani. Keruntuhan geser tanah dapat terjadi bukan karena hancurnya butir – butir tanah tersebut. Hal tersebut terjadi karena adanya gerak relatif antara butir – butir tanah tersebut.

Kuat geser tanah dapat diartikan sebagai gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir – butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pemikiran ini, dapat artikan bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

1. Gesekan antara butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tagangan normal pada bidang gesernya, dan
2. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung pada tegangan normal yang terjadi pada bidang geser.

Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah (Hardiyatmo, 2010). Hubungan fungsi dari kedua tegangan tersebut antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya dapat dinyatakan oleh Persamaan 3.1 berikut ini.

$$\tau = f(\sigma) \qquad (3.1)$$

Keterangan :

τ = Tegangan geser (kN/m²)

σ = Tegangan normal (kN/m²).

Nilai kekuatan geser tanah dapat diperlukan untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada tembok penahan tanah atau untuk menghitung daya dukung tanah. Bila tegangan normal bekerja maka gaya geser bekerja pula pada permukaannya, maka harga τ akan membesar akibat deformasi dan mencapai harga batasnya.

Secara sederhana kekuatan geser tanah dapat dibagi dalam nilai yang tergantung pada tahanan geser antara butir – butir tanah dan kohesi pada permukaan butir – butir tanah itu sendiri. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, tanah dapat dibagi menjadi tanah kohesif dan tanah tidak kohesif. Tanah pasir yang memiliki nilai kohesi (c) = 0 merupakan contoh dari tanah tidak kohesif, sedangkan tanah lempung merupakan contoh dari tanah kohesif. Jika tanah berada pada keadaan tidak jenuh meskipun tanah tersebut tidak kohesif, maka sifat kohesi tersebut terkadang dapat terlihat sebagai tegangan permukaan air yang terdapat dalam pori-pori. Sehigga kekuatan geser tanah dapat berubah – ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu sendiri.

Coulomb (1776) mendefinisikan dengan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma\, tg\, \varphi \qquad (3.2)$$

Keterangan:

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

φ = Sudut geser dalam tanah (º)

Kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr dan Couloumb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Ketika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegalalan. Titik R tidak akan dicapai, karena sebelum mencapai titik R tanah sudah terjadi keruntuhan.

Terzaghi (1925) mengubah persamaan Couloumb dalam bentuk efektif karena tanah sangan dipengaruhi oleh tekanan air pori yang bias dilihat pada Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut ini.

$$\tau = c' + (\sigma - u)\, tg\, \varphi' \qquad (3.3)$$

Karena, σ' = σ – u, maka

$$\tau = c' + \sigma'\, tg\, \varphi' \qquad (3.4)$$

Keterangan:

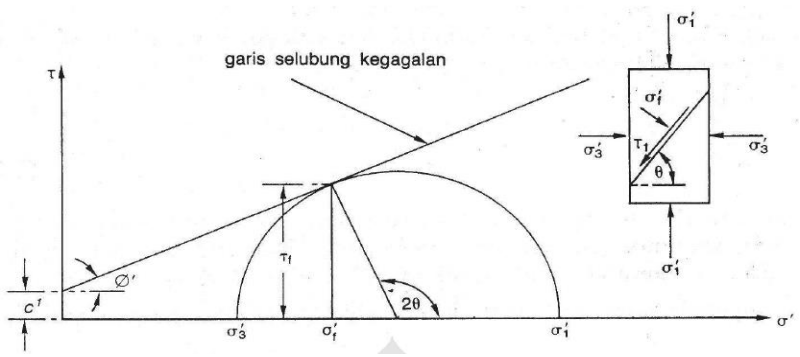
σ' = Tegangan normal efektif (kN/m²)

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

φ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (º)

u = Tekanan air pori (kN/m²)

Kuat geser tanah bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif σ'_1 dan σ'_3 pada saat keruntuhan terjadi. Lingkaran Mohr terbentuk setengah lingkaran dengan koordinat (τ) dan (σ') dilihatkan dalam Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Lingkaran Mohr Saat Kegagalan
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Dari lingkaran Mohr pada Gambar 3.2 tersebut dapat dilihat bahwa:

c' = Kohesi (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam efektif (º)

σ_1' = Tegangan utama mayor efektif (kN/m²)

σ_3' = Tegangan utama minor efektif (kN/m²)

θ = Sudut keruntuhan (º)

τ'_f = Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan

σ'_f = Tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan

Dari lingkaran Mohr hubungan parameter-parameter tersebut dapat digunakan pada Persamaan 3.5, 3.6 dan 3.7 dibawah ini.

$$\tau f' = (\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\theta \quad (3.5)$$

$$\sigma f' = (\sigma_1' - \sigma_3) + (\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\theta \quad (3.6)$$

$$\text{Sin } \varphi = \frac{(\sigma 1' - \sigma 3')/2}{(\sigma 1' + \sigma 3')/2} \quad (3.7)$$

Untuk mempelajari kuat geser tanah, adapun istilah-istilah berikut ini yang sering digunakan, yaitu:

1. Kelebihan tekanan pori merupakan kelebihan tekanan air pori akibat dari tambahan tekanan yang mendadak.
2. Tekanan *overburden* efektif merupakan tekanan akibat beban tanah dan air diatasnya dikurangi tekanan air pori.
3. Tekanan *overburden* merupakan tekanan pada suatu titik didalam tanah akibat dari berat material tanah dan air yang ada diatas titik tersebut.

4. Tekanan prakonsolidasi merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut.
5. Tekanan *normally consolidated* merupakan tanah dimana tegangan efektif yang membebani pada waktu sekarang adalah nilai tegangan maksimum yang pernah dialaminya.
6. Tekanan *overconsolidated* adalah tanah dimana tegangan efektif yang pernah membebaninya pada waktu lampau lebih besar dari pada tegangan efektif yang bekerja pada waktu sekarang.
7. *Over consolidation ratio* (OCR) merupakan nilai banding antara tekanan prakonsolidasi dengan tekanan *overburden* efektif yang ada sekarang. Jadi jika OCR = 1 tanah dalam kondisi *normally consolidated,* dan jika OCR> 1 tanah dalam kondisi *overconsolidated.*

Parameter kuat geser tanah ditentukan dengan uji laboratoriumterhadap sampel tanah asli (*undisturbed*), tanah tersebut diambil dengan hari-hati agar tidak berubah kondisinya (kadar air, susunan butiran), karena hal ini bisa berakibat fatal pada sampel. Ada beberapa cara menentukan kuat geser tanah yaitu sebagai berikut.

1. Uji kuat geser langsung (*direct shear test*)
2. Uji tekan bebas (*unconfined compression test*)
3. Uji triaksial (*tiaxial test*)
4. Uji geser kipas (*vane shear test*)

3.1.4. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan sifat bahan berpori yang terjadinya aliran rembesan dari air melewati rongga pori. Air melewati rongga pori dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Pada buku Mekanika Tanah 1, menurut Das (1993) nilai dari permeabilitas pada jenis-jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Nilai Permeabilitas Tanah

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

(sumber: Mekanika Tanah 1, 2012)

3.1.5. Kohesi

Menurut Carter dan Bentley (1991) korelasi nilai-nilai kohesi pada keadaan dilapangan dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Nilai Kohesi

No	Description	Cohesion (kPa)
1	Silty gravels, silty sandy gravels	0
2	Clayey gravels, clayey sandy gravels	20
3	Silty sands	22
4	Silty sands compacted	20
5	Clayey sands	5
6	Clayey sands compacted	74
7	Inorganic silt, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	7
8	Inorganic clays	11
9	Peat and other highl organic soils	-

(Sumber: Carter dan Bentley, 1991)

3.1.6. Sudut Geser Dalam

Berdasarkan Carter dan Bentley (1991) korelasi nilai-nilai sudut geser lereng yang disarankan pada keadaan asli dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Nilai Sudut Geser Dalam

No	Description	Friction Angel (°)	
		Min	Max
1	Silty gravels, silty sandy gravels	30	40
2	Clayey gravels, clayey sandy gravels	28	35
3	Silty sands loose	27	33
4	Silty sands dense	30	34
5	Clayey sands	30	34

(Sumber: Carter dan Bentley, 1991)

Lanjutan Tabel 3.5 Nilai Sudut Geser Dalam

No	Description	Friction Angel (°)	
		Min	Max
6	Clayey sands compacted	-	31
7	Inorganic silt, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	27	41
8	Inorganic clays	17	31
9	Peat and other highl organic soils	-	-

(sumber : Carter dan Bentley, 1991)

3.1.7. Modulus Elastis Tanah

Nilai modulus Young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai modulus elastisitas (Es) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti pada Tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3.6 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	Es (kg/cm²)
Lempung	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 – 425
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

(Sumber: Bowles, 1977)

3.1.8. Poisson's Ratio

Nilai poisson's ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai poisson's ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.7 Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	*Poisson's Ratio* (μ)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar (e = 0,4 – 0,7)	0,15
Pasir halus (e = 0,4 – 0,7)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loses	0,1 – 0,3

(Sumber: Bowles, 1977)

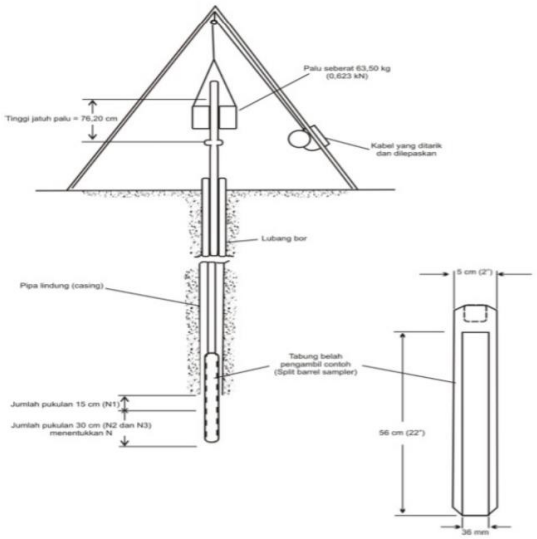
3.1.9. Sudut Dilantasi

Sudut dilatasi tergantung pada kerapatan dan sudut geser nya. Pada umumnya sudut dilatasi yaitu 30˚. Pada tanah pasir biasanya sudut dilatasinya 0˚. Untuk tanah lain sudut dilatasi dapat dilihat pada Persamaan 3.8 dibawah ini.

$$\Psi = \varphi - 30° \tag{3.8}$$

3.1.10. *Standard Penetration Test* (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) merupakan suatu metode uji yang dilakukan besamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah dengan teknik penumbukan. Uji pada metode *standard penetration test* (SPT) terdiri dari uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 m vertikal. Dalam metode sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg dan dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian SPT dapat dibagi dalam tiga tahap pelaksanaan serta berturut-turu setebal 150 mm untuk masing-masing tahap pelaksanaan. Pada tahap pertama dilakukan pencatatan sebagai dudukan, sementara jumlah pada pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan agar memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Detail alat pada proses SPT dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.

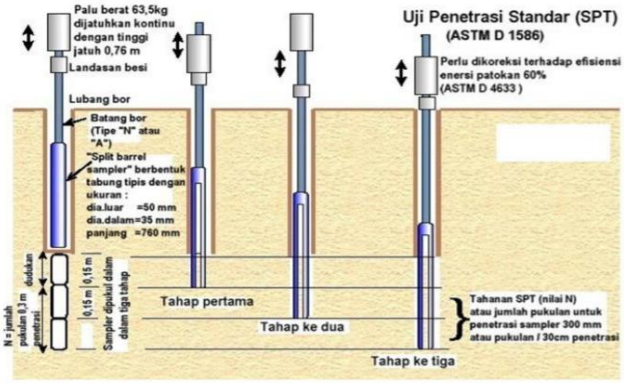


Gambar 3.2 Penetrasi dengan SPT
(Sumber : SNI 4153-2008)

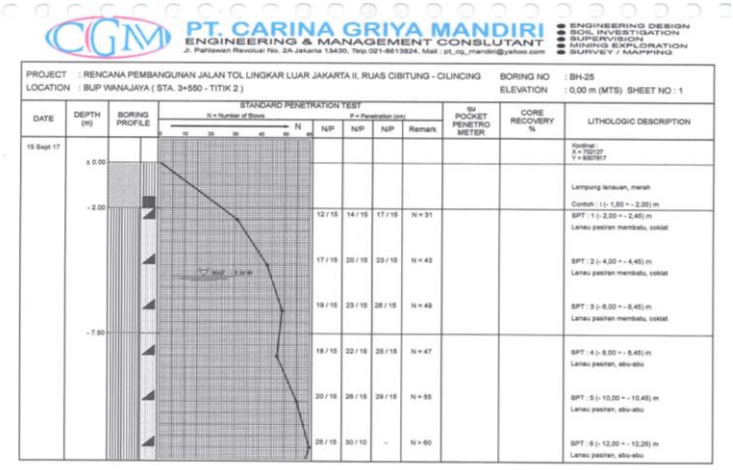
Standard pada penetrasi ini mentapkan cara uji tanah dilapangan dengan metode *standard penetration test* (SPT) yang bertujuan untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan dengan metode ini. Parameter pengujan tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah dilapangan yang merupakan bagian dari desain pondasi. Standar yang digunakan ini dapat menguraikan tentang prinsip – prinsip cara uji penetrasi lapagan dengan metode SPT meliputi: sistem perlatan uji penetrasi dilapangan yang terdiri atas perlatan konus dengan metode SPT dan perlengkapan lainnya, persyaratan peralatan pengujian, cara uji, laporan pengujian dan contoh pengujian. Cara uji ini berlaku untuk jenis tanah pada umumnya (SNI 4153, 2008).

Nilai SPT dapat diperoleh dengan contoh cara yang digunakan pada tabung belah standar dipukul sedalam 15 cm (6’’). Kemudian dilanjutkan pada pemukulan tahap kedua sedalam 30 cm (12’’). Jumlah pukulan pada tahap kedua ini yaitu jumlah pukulan yang dibuthkan untuk penetrasi tabung belah standar sedalam 30 cm dan didefinisikan sebagai nilai-N. Pengujian yang lebih baik dilakukan dengan menghitung pukulan pada tiap penembusan pukulan sedalam 7,62 cm 3 inci) atau setiap 15 cm (6 inci). Dengan metode cara ini kedalaman sembarang jenis tanah pada dasar lubang bor dapat ditaksir dan elevasi dimana gangguan dapat terjadi

dalam usaha menembus lapisan yang keras seperti batu, dapat tetap dicatat. Hitung jumlah pada pukulan atau tumbukan N pada penetrasi yang pertama, penetrasi 15 cm yang kedua dan ketiga serta catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm. Jumlah pada pukulan yang dihitunh adalah $N_2 + N_3$. Kemudian nilai N_1 tidak diperhitungkan karena masih dalam keadaan kotor hasil dari pengeboran. Jika nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, maka hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter. Catat kembali jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan tersebut. Skema pengujian tersebut dan hasil pengujian SPT dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan 3.4 berikut ini.



Gambar 3.3 Skema Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)
(Sumber : SNI 4253-2008)



Gambar 3.4 Contoh Hasil Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)
(Sumber : Qayyim, 2021)

3.2. Lereng

3.2.1. Pengertian Umum

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Lereng atau talud dapat terbentuk secara alami karena dari proses geologi atau juga terbentuk karena dibuat oleh manusia karena tujuan tertentu. Pada suatu tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya – gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

3.2.2. Penyebab Longsor

Menurut Hardiyatmo (2010) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

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

3.2.3. Pengaruh Kelongsoran

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) ada beberapa hal yang mempengaruhi kelongsoran sebagai berikut ini.

1. Pengaruh Iklim

   Menurut Hardiyatmo (2010) di dekat permukaan tanah, kuat geser tanah berubah dari waktu ke waktu bergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah mengambang saat musim hujan, dan menyusut pada musim kemarau. Pada musim hujan kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah di bandingkan dengan musim kemarau. Oleh karena itu, kuat geser tanah yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng harus berdasarkan pada kuat geser tanah yang terendah yaitu pada musim hujan, atau kuat geser pada saat tanah jenuh air.

2. Pengaruh air

   Berdasarkan Hardiyatmo (2010) pengaruh pada aliran air atau rembesan menjadi faktor yang sangat penting dalam stabilitas lereng, namun pengaruh ini sulit diidentifikasi dengan baik. Telah dipelajari bahwa rembesan air yang terjadi di dalam tanah akan menyebabkan gaya rembesan yang sangat berpengaruh pada stabilitas lereng.

   Erosi pada permukaan lereng dapat menyebabkan terkikisnya tanah permukaan yang dapat mengurangi tinggi lereng, sehingga jadi menambah stabilitas lereng. Sebalinya, erosi yang memotong kaki lereng dapat menambah tinggi lereng dan menjadi mengurangi stabilitas lereng.

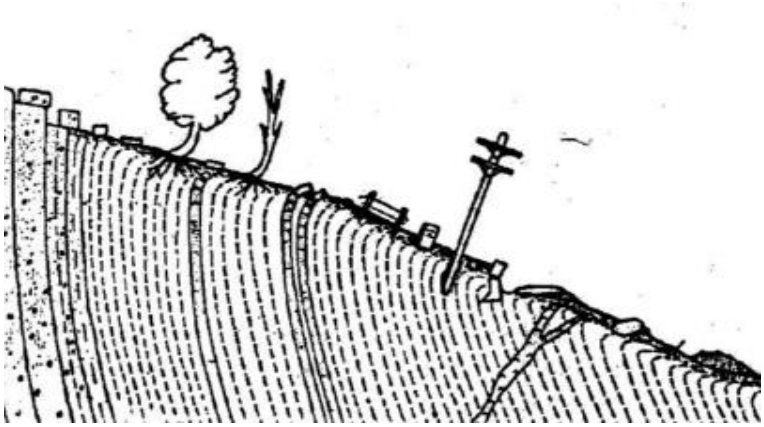
   Jika pada lereng terjadi penurunan muka air mendadak pada saluran atau di dekat lereng, contohnya penurunan muka air mendadak pada saluran atau sungai, maka akan terjadi pengurangan gaya angkat air pada massa tanah dan mendambah beban lereng. Kenaikan beban menyebabkan naiknya tegangan geser, yang jika tahanan geser tanah terlampaui maka akan mengakibatkan longsoran lereng. Hal ini banyak terjadi pada lereng tanah yang berpermeabilitas rendah.

3. Pengaruh Rangkak *(Creep)*

   Menurut Hardiyatmo (2010) di dekat permukaan tanah yang miring, tanah dipengaruhi siklus kembang – susut. Siklus ini dapat terjadi oleh akibat perubahan temperatur, perubahan dari musim kemarau ke musim hujan, dan di daerah dingin dapat diakibatkan oleh pengaruh pembekuan air. Saat tanah mengembang, tanah naik sehingga melawan gaya – gaya gravitasi. Sedangkan

saat tanah menyusut, tanah turun dibantu oleh gravitasi. Hasil dari gerakan keduanya adalah gerakan perlahan lereng turun ke arah bawah.

Ke dalam zona rangkak bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter dapat begantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Kenampakan gerakan lereng akibat rangkak *(creep)* diilustrasikan oleh Taylor (1962) dalam Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkak (Creep)
(Sumber : Taylor, 1962)

Seperti ditunjukan dalam gambar diatas, rangkak dapat menyebabkan hal-hal sebagai berikut ini.

a. Blok batuan bergerak.
b. Pohon-pohon melengkung ke atas.
c. Bagian bawah lereng melengkung dan menarik batuan.
d. Bangunan menara, monumen, dan lain-lain miring.
e. Dinding penahan tanah dan pondasi bergerak dan retak.
f. Jalan raya dan jalan rel keluar dari alurnya.
g. Batu-batu besar menggelinding dan lain – lain.

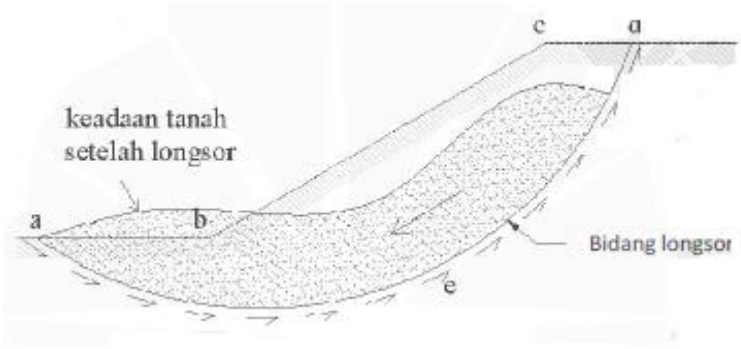
3.2.4. Jenis Longsor

Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng. Proses terjadinya tanah longsor dapat diterangkan sebagai berikut: air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka

tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng (Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral)

Gerakan tanah berupa longsor (*landslide*) adalah bencana alam yang sering terjadi dan membahayakan khususnya pada saat musim hujan. Longsor seringkali terjasi akibat adanya pergerakan tanah pada kondisi daerah lereng yang curam, kondisi tanah yang tidak homogen, dan tidak memiliki lekatan antara lapisan pada tanah. Faktor lain yang menyebabkan longsor adalah rembesan, aktifitas geologi seperti patahan lempeng bumi, rekahan dan liniasi. Kondisi lingkungan setempat seperti bentuk dan kemiringan lereng, kekuatan material, kedudukan muka air tanh dan kondisi aliran drainase setempat juga menjadi faktor yang cukup penting untuk menjadi penyebab terjadinya longsor (Verhoef, 1985).

Longsoran dapat dicegah apabila gaya dorong (gaya penyebab longsor) tidak melebihi gaya perlawanan yang berasal dari tahanan geser tanah sepanjanang bidang longsor seperti pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Kelongsoran Lereng
(Sumber: Hardiyatmo 2010)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010), longsoran yang sering terjadi selama ini dibagi menjadi beberapa jenis kelongsoran, yaitu :

1. Longsoran Translasi

   Longsorannya ini terjadi karena bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau mengelombang landai. Longsoran translasi adalah gerakan di sepanjang diskontinuitas atau bidang lemah yang secara pendekatan sejajar dengan permukaan lereng, sehingga gerakan tanah secara translasi seperti pada Gambar 3.7. Dalam kondisi tanah lempung, translasi terjadi di sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, khususnya jika bidang lemah

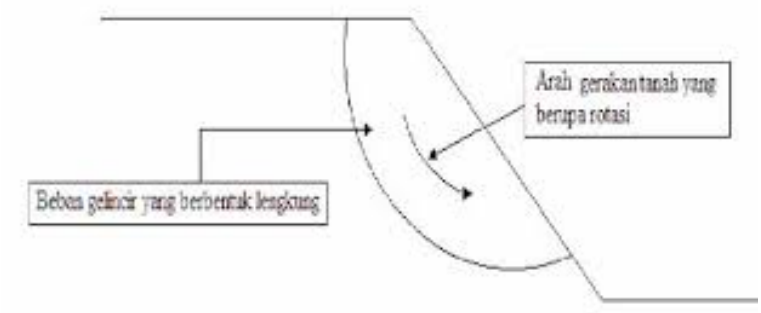
tersebut sejajar dengan lereng yang ada. Longsoran translasi lempung yang mengandung lapisan pasir atau lanau, dapat disebabkan oleh tekanan air pori yang cukup tinggi dalam pasir atau lanau tersebut.



Gambar 3.7 Longsoran Translasi
(Sumber: Hardiyatmo 2010)

2. Longsoran Rotasi

Longsoran ini dapat terjadi ketika bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung seperti pada Gambar 3.8. Longsoran rotasi mempunya suatu bidang longsor yang melengkung ke atas, dan sering terjadi pada massa tanah yang bergerak dalam satu kesatuan. Longsoran rotasi murni *(shump)* terjadi pada material yang relatif homogen seperti timbunan buatan (tanggul).



Gambar 3.8 Longsoran Rotasi
(Sumber: Hardiyatmo 2010)

3.2.5. Penanggulangan Kelongsoran Lereng

Penanggulangan kelongsoran lereng sangat pentinng dilakukan agar dapat ditanggulangi sedini mungkin sebelum adanya korban atau kerugian, ataupun kelongsoran sudah terjadi dapat diperbaiki dan meminimalisir kerugian yang terjadi kembali. Berikut ini metode penanggulangan kelongsoran yang dapat dilakukan.

1. Terasering tanah

Terasering tanah merupakan bangunan konservasi tanah yang secara mekanis dibuat untuk memperkecil kemiringan lereng atau mengurangi Panjang lereng dengan cara menggali dan mengurung tanah melintang lereng. Pembuatan terasering berguna untuk meningkatkan peresapan air ke dalam tanah dan mengurangi jumlah aliran permukaan sehingga memperkecil risiko pengikisan akibat air. Berikut ini beberapa fungsi terasering tanah:

a. Menjaga dan meningkatkan kestabilan lereng,
b. Memperbanyak resapan air hujan ke dalam tanah,
c. Mengurangi *runoff* atau kecepatan aliran air di permukaan tanah,
d. Mempermudah perawatan atau konservasi lereng,
e. Mengurangi panjang lereng atau memperkecil tingkat kemiringan lereng,
f. Mengendaikan arah aliran air menuju ke daerah yang lebih rendah sehingga terkonsentrasi pada suatu tempat,
g. Menampung dan menahan air pada lahan miring.

2. Melandaikan kemiringan lereng

   Semakin landai lereng, maka semakin kecil laju dan jumlah aliran permukaan dan semakin kecil kemungkinan erosi yang akan terjadi. Jika kemiringan lereng semakin landai, maka jumlah butiran tanah yang terpecik ke bawah oleh air hujan akan semakin sedikit. Hal itu disebabkan karena gaya berat yang mengecil, sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horizontal, sehingga lapisan tanah atas yang tererosi akan semakin sedikit.

3. Dinding penahan tanah

   Dinding penahan tanah dibuat dari pasangan batu, beton atau beton bertulang. Keberhasilan dinding penahan tanah tergantung pada kemampuan menahan geseran dan stabilitas terhadap guling. Selain untuk menahan Gerakan tanah, juga berfungsi melindungi bangunan dari runtuhan. Dinding penahan tanah wahib dipasang drainase dan pipa air, sehingga tidak terjadi tekanan hidrostatis yang benar.

4. Sumuran

   Gorong – gorong beton pracetak dimasukkan ke dalam sumuran yang digalu dengan kedalaman melebihi bidang longsoran. Kemudian gorong – gorong

diisi dengan beton tumbuk atau material berbutir tergantung dari kekuatan geser yang dikehendaki. Pelaksanaan penanggulangan tersebut bisa dilakukan sampai dengan kedalaman lereng 15 meter.

5. Tiang pancang

   Pemasangan tiang pancang cocok digunakan untuk mencegah atau menanggulangi kelongsoran yang tidak terlalu dalam, namun tidak cocok untuk jenis tanah yang *sensitive* karena getaran yang terjadi pada saat pemancangan dapat menurunkan massa tanah. Tingkat efektifitasnya tergantung pada kemampuan menembus lapisan tanah.

6. Jangkar kabel

   Metode penanggulangan ini dilakukan apabila massa batuan yang bergerak cenderung berukuran besar.

7. Beton semprot

   Cara penanggulangan dengan beton semprot digunakan untuk memperkuat permukaan batu yang bersifat lapuk

8. Bronjong

   Bronjong adalah bangunan berupa anyaman kawat yang diisi dengan batu belah. Keuntungan penggunaan bronjong adalah sebagai berikut.

   a. Bronjong memiliki sifat yang tidak kaku sehingga dapat menahan gerak vertikal maupun horizontal,
   b. Jika bronjong runtuh, masih dapat digunakan lagi,
   c. Bronjong bersifat lulus air sehingga tidak menyebabkan terjadinya genangan air permukaan,
   d. Pelaksanaan pemasangannya mudah,
   e. Material mudah didapat,
   f. Biaya lebih ekonomis.

9. Perkuatan geotekstil

   Geotekstil merupakan Teknik pelapisan tanah untuk mencegah terjadinya longsor dan amblesan tanah. Bahan geotekstil memiliki kuat tarik yang tinggi, khususnya jenis geotekstil *woven*. Biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan

geotekstil ini 40% lebih murah dibandingkan dengan beton dan waktu pengerjaannya juga lebih cepat.

3.3. Analisis Stabilitas Lereng

3.3.1. Pengertian Umum

Pada posisi permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya dapat terlampaui, maka akan terjadi suatu kelongsoran lereng. Analisis stabilitas lereng ini tidak begitu mudah, karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan. Faktor – faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis – lapis, kuat geser tanah yang anistropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain – lainnya (Hardiyatmo, 2010).

3.3.2. Teori Analisis Stabilitas Lereng

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) tujuan dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa gagasan dibuat, yaitu sebagai berikut ini.

1. Kelongsoran lereng terjadi pada sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.
3. Tanah geser dari massa tanah pada setiap titip sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperlihatkan tergangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsoran.

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 3.8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

Faktor Keamanan (F)	Keadaan Lereng
F < 1,00	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng *labil*)
1,00 < F < 1,20	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
1,30 < F < 1,40	Lereng dalam kondisi memuaskan
1,50 < F < 1,70	Lereng dalam kondisi mantap (lereng *stabil)*

(Sumber: Sosrodarsono, 2003)

Tabel 3.9 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
F < 1,07	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
1,07 < F < 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F > 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

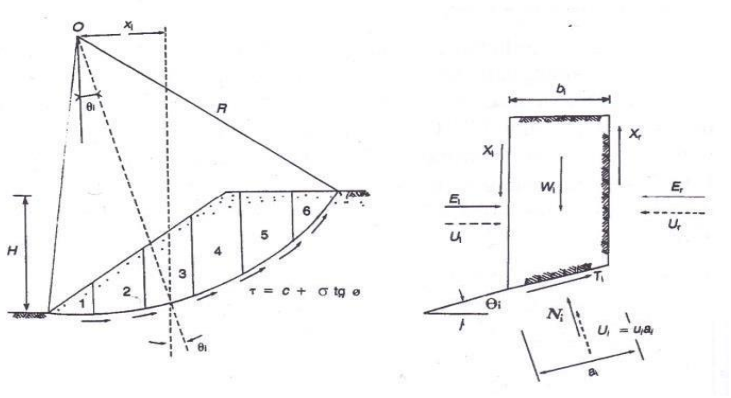
(Sumber: Bowles, 1989)

3.3.3. Metode Analisis Stabilitas Lereng

Untuk menganalisis stabilitas lereng ini ada beberapa metode, yang sering digunakan diantara lainnya adalah sebagai berikut.

1. Metode *Fellenius*

   Metode *Fellenius (Ordinary Method of Slice)* diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius (1927, 1936) menganggap gaya – gaya yang bekerja pada sisi kanan – kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. *Fellenius* mengemukakan metodenya dengan menyatakan asums bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah – tengah *slice*. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya – gaya antar irisan pada tiap irisannya adalah sama dengan nol, atau biasa juga disebutkan bahwa resultan gaya – gaya antar irisan diabaikan. Gaya yang bekerja dengan metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Gaya – Gaya yang Bekerja Pada Irisan
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Keterangan :

X_1, X_r = Gaya geser efektif di sepanjang irisan

E_1, E_r = Gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

T_i = Resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

N_i = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

U_i, U_r = Tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan

U_i = Tekanan air pori di dasar irisan

Jadi total asumsi yang dibuat oleh metodi ini adalah :

a. Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan : n

b. Resultan gaya antar irisan sama dengan nol : n – 1

Total : 2n – 1

Dengan anggapan – anggapan tersebut maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan. Dengan anggapan seperti ini maka keseimbangan arah vertikal dan gaya – gaya bekerja adalah:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

Atau,

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i$$

$$= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \qquad (3.9)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

$$F = \frac{Jumlah\ momen\ dari\ tahanan\ geser\ sepanjang\ bidang\ longsor}{Jumlah\ momen\ dari\ berat\ massa\ tanah\ yang\ longsor}$$

$= \frac{\Sigma\, Mr}{\Sigma\, Md}$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah R sin θ, maka:

$$\Sigma\, Md = R \sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.10)$$

Keterangan:

R = Jari – jari lingkaran bidang longsor.

n = Jumlah irisan.

W_i = Berat massa tanah irisan ke-*i*.

N_i = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan.

θ_i = Sudut yang didefinisikan.

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor adalah:

$$\Sigma\, M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i\, tg\, \varphi) \quad (3.11)$$

Maka persamaan untuk faktor aman menjadi,

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i\, tg\, \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.12)$$

Apabila terdapat air pada lereng, maka tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (Md), kareana resultan gaya akibat tekanan air pori titik pusat lingkaran.

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i\, a_i)\, tg\, \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.13)$$

Keterangan:

F = Faktor aman

C = Kohesi tanah (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam tanah (º)

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-*i* (m)

W_i = Berat irisan tanah ke-*i* (kN)

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

θ_i = Sudut yang didefinisikan

Apabila ketika terdapat gaya-gaya selain dari berat tanahnya sendiri, seperti bangunan yang ada diatas lereng, maka akibat beban ini diperhitungkan sebagai Md.

2. Metode Bishop

Bishop mengasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan merupakan horizontal, yaitu X1-X2 = 0. Dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya ke arah vertikalm didapatkan Persamaan 3.14 berikut ini.

$$W = N'.cos\,\alpha + u.cos\,\alpha - \frac{c'}{SF}.sin\,\alpha - \frac{N'}{SF}.tan\,\varphi'.sin\,\alpha \qquad (3.14)$$

Dengan substitusi nilai 1 = b .sec α, maka didapatkan Persamaan 3.15 untuk Faktor Keamanan sebagai berikut.

$$SF = \frac{1}{\Sigma W.sin\,\alpha}\Sigma\left[(c'.b + (W - u.b).tan\,\varphi').\frac{sec\,\alpha}{1-\frac{tan\,\alpha.tan\,\varphi'}{SF}}\right] \qquad (3.15)$$

Keterangan:

N’ = Gaya normal efektif

W = Berat total irisan

α = Sudut geser singgung masing-masing irisan

u = Tekanan air pori pada pusat dasar

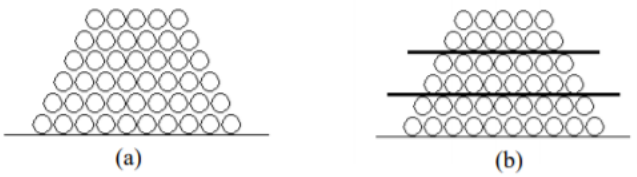
l = Panjang dasar

φ = Sudut gesek dalam

c’ = Kohesi tanah efektif

3.4. Metode Perkuatan Tanah

Seorang ahli teknik asal perancis Henri Vidal pada tahun 1966 mengadakan suatu penelitian. Dari hasil penelitannya Henri menyimpulkan bahwa tumpukan pasir alam yang mempunyai sudut lereng asli tertentu dapat stabil dengan sudut kemiringan yang lebih besar dan jika diberi material fleksibel yang mampu menahan tarikan di dalam tumpukan pasir tersebut. Perbedaan pada tanah dengan sudut lereng asli dengan tanah yang sudah diperkuat dapa dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 3.10 (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli (b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Diperkuat

Dari asumsi Henri Vidal diatas disimpulkan bahwa tanah pasir alam (Gambar 3.10 a), akan mengikuti hukum tersebut dan mempunya sudut geser dalam (φ) jika tanah tersebut dibebani dengan tekanan vertikal σv, maka agar tidak terjadi keruntuhan harus diberi tekanan lateral yang besarnya adalah Ka. σv. Adanya pita atau strip (Gambar 3.10 b) akan menimbulkan geseran antara butir – butir pasir dengan pita tersebut, yang berarti timbul suatu gaya tarik pada pita dan hal ini akan menginduksi timbulnya tekanan lateral.

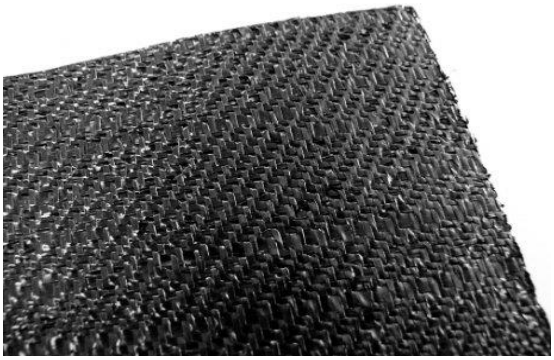
3.4.1. Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis dari geosintetik yang berbahan sintetik dan umumnya lolos terhadap air serta dipasang bersama pondasi, tanah, batuan atau material geoteknik lainnya. Geotextile sendiri meliputi woven (tenun) dan non – woven (tanpa tenun). Tenun dihasilkan dari 'interlaying' antara benang-benang melalui proses tenun, sedangkan non – woven dihasilkan dari beberapa proses seperti heat bonded (dengan panas), needle punched (dengan jarum), dan chemical bonded (menggunakan bahan kimia). Baik woven maupun non – woven dihasilkan dari benang dan serat polimer terutama polypropelene, poliester, polyethilene dan polyamide.

Sebenarnya geotekstil pada awalnya dibuat dari berbagai bahan seperti serat-asli (kertas, filter, papan kayu, bambu) , misalnya penggunaan jute untuk percepatan konsolidasi sebagi pengganti pasir sebagai bahan drainase (vertical drain) yang banyak dilakukan di India atau dilakukan di Belanda dengan menggunakan serat filter. Pengertian dari 2 jenis geotekstil itu sendiri yaitu sebagai berikut.

1. Geotekstil anyam (*woven*)

   Geotekstil anyam (*woven*) dibuat dengan cara dianyam seperti yang dilihat pada Gambar 3.11, geotekstil jenis ini mempunyai kuat Tarik yang cukup tinggi sehingga pada aplikasinya di lapangan banyak digunakan sebagai lapisan perkuatan dan sebagai lapisan pemisah. Sebagai perkuatan, geotekstil *woven* berfungsi sebagai tulangan pada tanah. Sedangkan sebagai pemisah, geotekstil *woven* berfungsi memisahkan antara tanah lunak dengan tanah keras.



Gambar 3.11 Geotekstil *Woven*
(Sumber: Isparno, 2010)

2. Geotekstil nir – anyam (*non – woven*)

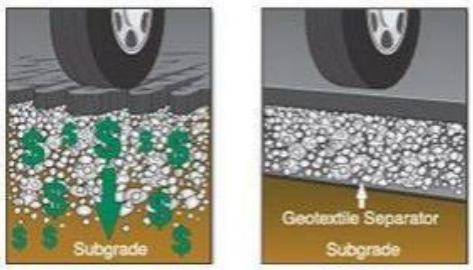
   Geotekstil nir-anyam (*non – woven*) pembuatannya tidak dengan cara dianyam, tetapi jaringan atau serat – serat pembentukannya dilekatkan atau sama lain dengan cara diikat atau dengan bahan perekat seperti yang dilihat pada Gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.12 Geotekstil *Non – Woven*
(Sumber: Isparno, 2010)

Berdasarkan Isparmo (2010) fungsi dari geotekstil tediri dari fungsi sebagai bahan pemisah dan fungsi sebagai bahan perkuatan geoteknik sebagai berikut.

1. Fungsi sebagai pemisah dibutuhkan pada saat diletakkan diantara dua jenis material yang berbeda hal ini berguna untuk menghindari terjadi kontaminasi dan pencampuran yang kemungkinan terjadi antar kedua material tersebut. Contohnya penggunaan geotekstil pada konstruksi jalan untuk memisahkan agregat dengan tanah dasar yang mempunyai daya dukung yang cenderung lemah seperti Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Geotekstil Sebagai Pemisah (*Separator*)
(Sumber : Isparmo, 2010)

2. Fungsinya ialah sebagai perkuatan tanah dikarenakan tanah mempunyai kekuatan untuk menahan tekan, tetapi tidak dapat menahan tarik. Kelemahan terhadap tarik ini yang dipenuhi oleh geotekstil. Geotekstil memiliki kemampuan menahan tarik yang kuat, sehingga fungsi geotekstil pada geoteknik ini sama seperti fungsi tulangan dalam beton. Material ini dapat diletakkan dibawah tanah timbunan yang dibangun diatas tanah lunak, juga dapat digunakan untuk membangun dinding penahan tanah, dan dapat juga digunakan untuk perkuatan bahan susun perkerasan jalan beserta tanah dasarnya seperti pada Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.14 Geotekstil Sebagai Perkuatan (*Reinforcement*)
(Sumber : Isparmo, 2010)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) sifat – sifat tanah menjadi kuat menahan tarik ini merupakan hasi dari adanya interaksi antara tanah dan tulangannya. Dengan gesekan ini, tanah mentranfer gaya – gaya yang bekerja padanya ke tulangan – tulangan. Interaksi tanah dengan geotekstil dipengaruhi oleh interface. Nilai interface dapat diperoleh dari uji geser dan uji tarik. Beberapa nilai interface telah banyak diusulkan oleh beberapa peneliti dan juga turut dicantumkan dalam

penawaran teknis produk geotekstil. Berikut ini nilai interface untuk jenis tanah kohesif dengan geotekstil yang diusulkan disertai dengan keterangan asumsi dan jenis bahan yang ditinjau dalam Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Nilai *Interface* Tanah Kohesif dengan Geotekstil

Sumber Referensi	Nilai *Interface*	
	Geotekstil *non woven*	Geotekstil woven
Suryokekono (2000)	0,67	
	Asumsi praktis di lapangan	
Brinkgreeve (2002)	-	
	Asumsi praktik untuk analisis numeris *Plaxis*	
Kamon (2008)	-	0,85
		Polypropylen woven
Rifa'I (2009)	0,84 – 1,3	0,78 – 0,95
	TS600 – R206	BW250
Mariapan (2011)	-	0,85
		Polypropylen woven
Produsen Geotekstil (2001)	0,92	0,84
	Geosynthetic Clay (GCL)	

(Sumber: Ismanti, 2012)

Dalam prinsip kerja geotekstil terdapat beberapa persamaan maupun rumus yang bekerja, adapun persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Tegangan geser yang terjadi oleh gesekan pada bidang konta dinyatakan pada Persamaan 3.16 berikut ini.

   $$\tau = c + \sigma_v \, tg \, \varphi \qquad (3.16)$$

   Keterangan :

   τ = Tegangan geser yang bekerja di permukaan bidang kontak antara tulangan dan butiran-butiran tanah (kN/m²).

   c = Kohesi (kN/m²).

   σ_v = Tegangan normal pada bidang kontak *(interface)* tanah-tulangan (kN/m²).

   φ = Sudut gesek antara tanah dan tulangan (°).

   Gaya – gaya Tarik yang akan bekerja pada geotekstil dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.17 berikut ini.

   $$T_a = \tau \, x \, b \, x \, L \, x \, tg \, \varphi \qquad (3.17)$$

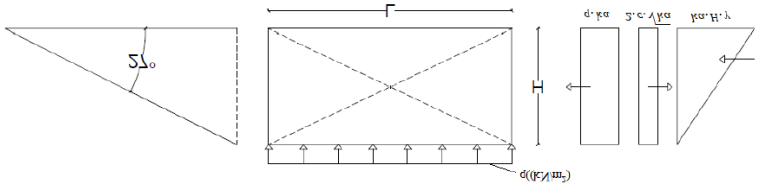
   Keterangan :

   T_a = Gaya tarik pada tulangan (kN/m).

b = Lebar tulangan (m).

L = Panjang tulangan (m).

Perencanaan untuk perkuatan dengan memakai metode pemasangan geotekstil memiliki gaya – gaya stabilitas yang perlu diperhitungkan. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari beberapa analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukung tanah. Stabilitas internal berupa stabilitas terhadap gaya – gaya dan panjang efektif geotekstil. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut ini.



Gambar 3.15 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral
(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk mendapatkan jarak arah vertical antar lapis geotekstil (Sv) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.18 sampai dengan Persamaan 3.20 berikut ini.

$$Ka = tan^2\left((45º - \left(\frac{\varphi}{2}\right)\right) \quad (3.18)$$

$$\sigma hc = q \,.\, ka - 2 \,.\, c \,.\, \sqrt{ka} + ka \,.\, H \,.\, \gamma b \quad (3.19)$$

$$Sv = \frac{Ta}{\sigma hc \,.\, Sf} \quad (3.20)$$

Keterangan:

Ka = Koefisien tanah aktif.

Σhc = Tekanan horizontal rata – rata pada lipatan (kN/m²).

q = Beban merata (kN/m²).

SF = Faktor aman.

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m).

γ = Berat volume tanah (kN/m³).

c = Kohesi (kN/m²)

Ta = Kuat tarik geotekstil *allowable.*

2. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.21.

$$SF = \frac{L.(1+\gamma b).tan\,\varphi}{(q.ka.H+ka.H^2.\gamma b-2.c.\sqrt{ka.H}} \quad (3.21)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman.

Φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (º).

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m³).

Ka = Koefisien tanah aktif.

C = Kohesi (kN/m²).

q = Beban merata (kN/m²).

b. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor aman terhadap guling dapat dinyatakan pada Persamaan 3.22 berikut ini.

$$SF = \frac{L^2.\left(\frac{1}{2}.q+\frac{1}{2}.\gamma b.H\right)}{\frac{1}{2}.q.ka.H^2+\frac{1}{6}.Ka.H^2.\gamma b-c.\sqrt{Ka}.H^2} \quad (3.22)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman.

L = {anjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m³).

c = Kohesi (kN/m²).

q = Beban merata (kN/m²).

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai $\frac{1}{6}\,L$ harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan pada Persamaan 3.23 dan Persamaan 3.24 berikut ini.

$$\frac{1}{6}\,L \geq e \quad (3.23)$$

$$\frac{1}{6} > \frac{\left(\frac{1}{2}.q.ka.H^2 + \frac{1}{6}.ka.H^3.\gamma b - c.\sqrt{ka}.H^2\right)}{(q.L + \gamma b.H.L)} \quad (3.24)$$

Keterangan:

e = Nilai eksentrisitas tanah (m).

q = Beban merata (kN/m²).

Ka = Koefisien tanah aktif.

H = Tinggi lapisan tanah (m).

c = Kohesi (kN/m²).

L = Panjang geotekstil (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m³)

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.25 sampa dengan Persamaan 3.27 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma ult}{qult} \quad (3.25)$$

$$qult = c.Nc + o,5.L.\gamma b.N\gamma \quad (3.26)$$

$$\sigma ult = c.Nc + q.Nq + 0,5.L.\gamma b.N\gamma \quad (3.27)$$

3. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil *Overlapping*

Panjang geotekstil *overlapping* dapat dinyatakan pada Persamaan 3.28 berikut ini.

$$L0 = \frac{\sigma hc\ x\ Sv\ x\ SF}{2\ x\ Zi\ x\ \gamma b\ x\ tan\ \varphi} \quad (3.28)$$

Keterangan:

L*0* = Panjang *overlapping* (m).

σhc = Tegangan ultimit (kN/m²).

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m).

Zi = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m³).

SF = Faktor aman.

φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (°).

b. Panjang Efektif Geotekstil

Panjang tulangan di belakang bidang longsor (L*ef*) pada ujung geotekstil dapat dihitung pada Persamaan 3.29 berikut ini.

$$Lef = \frac{SF\ x\ Sv\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ Zi}{2\ x\ \gamma b\ x\ Zi\ x\ tan\ \varphi} \geq 0{,}5\text{m} \qquad (3.29)$$

Keterangan:

L*ef* = Panjang efektif geotekstil (m).
Ka = Koefisien tanah aktif .
Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m).
Zi = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).
γb = Berat volume tanah (kN/m^3).
SF = Faktor aman.
φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (^{o}).

3.5. Program Plaxis 8.6

Plaxis merupakan salah satu program *software* komputer yang dapat digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis di bidang geoteknik. Program Plaxis dirancang berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang dapat digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan *(plane – strain)* maupun secara *axisymetric.* Program ini menerapkan model antarmuka grafis yang cukup mudah untuk digunakan, pengguna dapat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukkan perhitungan, keluaran, dan kurva.

Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr – Coulomb. Model ini merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan μ untuk memodelkan elastisitas tanah, φdan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan ψ sebagai dudut dilatasi. Model Mohr – Coulomb merupakan suatu pendekatan “ordo pertama” dari perilaku tanah atau batuan. Model ini disarankan digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi. Setiap lapisan akan dimodelkan dengan sebuah nilai kekakuan rata-rata yang konstan. Karena kekakuan yang konstan, maka perhitungan cenderung cepat

dan dapat diperoleh perkiraan awal dari bentuk deformasi dari model. Disamping kelima parameter dari model tersebut, kondisi tegangan awal dari tanah memegang peranan yang penting dalam hampir seluruh masalah deformasi tanah. Tegangan horizontal awal tanah harus ditentukan terlebih dahulu dengan menentukan nila ko yang tepat (Brinkgreve, 2007).

Kondisi dilapangan yang disimulasikan ke dalam program *Plaxis* ini bertujuan untuk menginplementasikan tahapa pelaksanaan dilapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan dilapangan dapat sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi dilapangan.

Pada tahap analisis menggunaka program *Plaxis* terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Input data*

   Pada tahapan *input data* yang dilakukan ialah pemodelan berupa data geometri dinding penahan tanah dan lereng yang akan dianalisis, material tanah, pembebanan, *meshing*, dan *initial condition.* Sehingga model yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi nyata yang ada dilapangan.

2. *Calculation*

   Ketika telah dilakukan permodelan pada tahap input, tahap berikutnya adalah tahap *calculation.* Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam input data. Terdapat beberapa *type calculation* yang disediakan, yaiut *type plastic, consolidation, phi/c reduction,* dan *dynamic analysis.*

3. *Output*

   Setelah selesai menganalisis, hasil dari analisis pada tahap *calculation* sebelumnya dapat dilihat pada tahap *output.* Hasil analisis pada tahap *output* dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. *Output* yang dihasilkan dan akan ditinjau dalam penelitian ini berupa *total displacement*, potensi kelongsoran, *safety factor,* dan *total stresses.*

4. *Curve*

Selain dapat dilihat dari *output* hasil dari analisis juga dapat berupa *curve. Curve* menggambarkan hasil dari semua tahapan perhitungan, dan menampilkan 2 parameter untuk melihat perbandingan dari masing – masing tahap perhitungan. *Curve* yang akan diambil sebagai perbandingan dalam penelitian ini adalah *curve* dari *safety factor* dan *curve vertical displacement.*

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1. Tinjauan Umum

Penelitian ini dilakukan pada lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Sigli – Banda Aceh Sta 72+600. Penelitian ini merupakan Analisa stabilitas lereng pada timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis*, untuk mendapatkan *output* yaitu nilai *Safety Factor*. Parameter analisis menggunakan variasi ketinggian timbunan lereng, sehingga didapatkan tinggi timbunan yang berpotensi mengalami kelongsoran dan akan diperkuat menggunakan perkuatan geosintetik jenis geotekstil *woven* serta. Penggunaan perkuatan geotekstil ini akan dilakukan pada lereng dengan SF < 1,25 yang biasa digunakan dalam perencanaan keamanan lereng pada timbunan jalan tol. Dari analisis tersebut, diharapkan nantinya dapat ditentukan kondisi mana yang menghasilkan faktor keamanan (*safety factor*) yang dikategorikan aman, sehingga pada perencanaan kekuatan stabilitas lereng dapat dijadikan sebagai acuan untuk kondisi tanah yang direkomendasikan untuk proyek tersebut.

4.2. Data Penelitian

Data penelitian ini merupakan data sekunder Proyek Jalan Tol Sigli – Banda Aceh. Data sekunder yang diperlukan meliputi :

1. Data tanah, yang meliputi: data tanah uji lapangan dan data tanah uji laboratorium. Data tanah uji lapangan yaitu data dari hasil pengujian *SPT (Standard Penetration Test)* dalam bentuk tabel dan grafik. Data tanah uji laboratorium yaitu data hasil pengujian di laboratorium yang meliputi:
   a. Berat volume tanah (γ)
   b. Kohesi (c), dan
   c. Sudut geser dalam (φ).
2. Data lapisan tanah.
3. Data gempa.

4. Data lereng.

4.3. Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini proses penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, diantaranya sebagai berikut.

1. Tahap pengumpulan data, tahap ini meliputi tahap pengambilan data tanah yang dibutuhkan untuk keperluan analisa dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Sigli – Banda Aceh.
2. Tahap analisis, pada tahap ini data yang telah diambil, kemudian diolah dengan logika dan teori yang berlaku sebagai koreksi (analisis dengan program *Plaxis*), selanjutnya dapat ditentukan tindak lanjut dari hasil program *Plaxis*.
3. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan yang berisi hasil – hasil yang telah didapatkan dari tahapan analisis, kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah – masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4. Analisis Data

Metode analisis data merupakan metode yang digunakan untuk mempermudah dalam memahami data yang diperoleh. Data yang didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Adapun data yang diperoleh sebagai berikut.

4.4.1. Parameter Tanah

Dalam analisis stabilitas lereng, parameter tanah merupakan input yang sangat penting, parameter tanah didapatkan berdasarkan data sekunder dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Sigli – Banda Aceh. Adapun input parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data Parameter Tanah Lereng Timbunan

Nama		*Silty Clay*	*Sandy Silt*	*Silty Clay*	*Clayey Sand* (Timbunan)
Model	-	*MC*	*MC*	*MC*	*MC*
Jenis	-	*DRAINED*	*DRAINED*	*DRAINED*	*UNDRAINED*
γ unsat	kN/m^3	8,335	8,629	9,316	15,86
γ sat	kN/m^3	12,435	12,689	12,945	18,77
Kx	m/hari	0,0001	0,00001	0,00001	0,01
Ky	m/hari	0,0001	0,00001	0,00001	0,01
E	kN/m^2	4000	20000	20000	11000
v	-	0,3	0,35	0,35	0,3
Kohesi (C)	kN/m^2	12	25	45	12
Sudut geser (ϕ)	°	10	16	18	25
Sudut dilantasi (ψ)	°	0	0	0	0

(Sumber: PT. Adhi Karya, 2020)

4.4.2. Geotekstil

Nilai geotekstil sebagai *input* untuk program *Plaxis* yaitu berupa nilai *normal stiffness (EA)* yang dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 berikut ini.

$$EA = \frac{Fg}{\Delta l/_l} \quad (4.1)$$

Keterangan:

Fg = Kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), dan

$\Delta l/_l$ = Regangan pada geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan produksi dari PT. Tekindo Geosistem. Geotekstil yang digunakan merupakan jenis *woven* atau geotekstil anyam. Adapun data parameter geotekstil pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil *Woven* UW – 250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Ta	52	kN/m
Regangan	E	20	%
Kekakuan Normal	*EA*	260	kN/m

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem, 2020)

4.4.3. Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Beban yang digunakan pada pekerjaan ini sebesar 10 kN/m² dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas yang bekerja sebesar 15 kN/m². Beban lalu lintas tersebut dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.3 berikut ini.

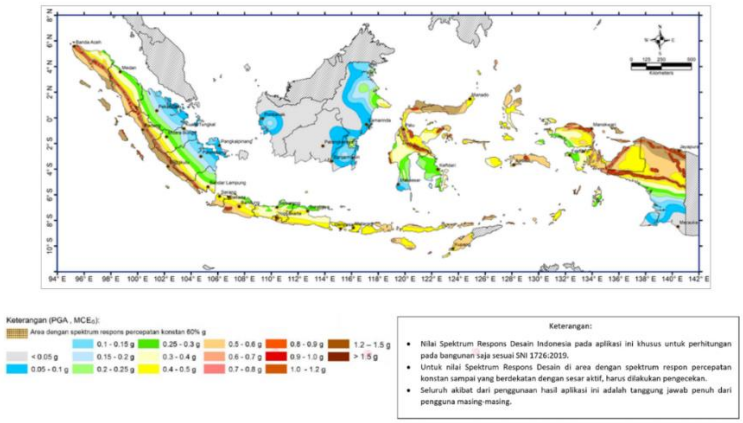
Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rerata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

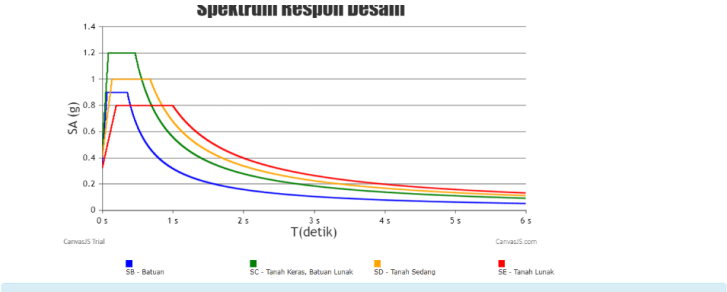
(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

4.4.4. Beban Gempa

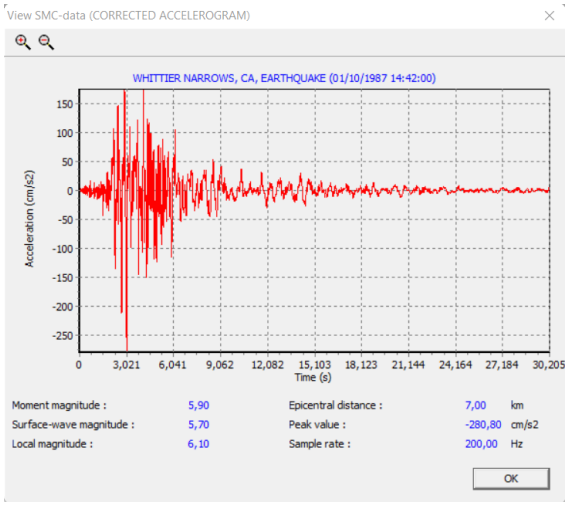
Beban gempa yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng ini merupakan beban gempa dinamik. Pada wilayah Baitussalam Kabupaten Aceh Besar memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara 0,6 – 0,7 g. Data yang didapat sesuai dengan durasi gempa tersebut adalah data pada American Canyon California pada tahun 2014 akhir yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,600 g Untuk waktu interval digunakan waktu 3,2 detik, waktu tersebut dianggap sudah melewati percepatan puncak gempa. Peta zonasi serta grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.1 Peta Zonasi Gempa
(Sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021)



Gambar 4.2 Grafik Respon Spektrum
(Sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021)



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa
(Sumber: usgs.gov, 2018)

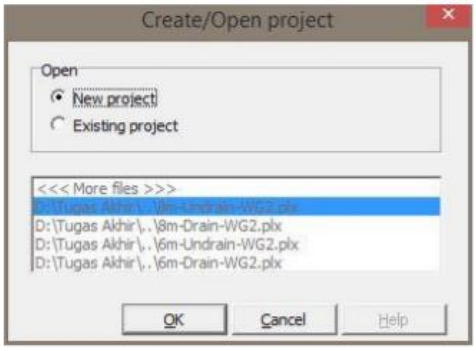
4.5. Pengoperasian Program *Plaxis*

Analisis pada penelitian ini menggunakan program *Plaxis* dilakukan dengan 3 tahapan, yaitu *Plaxis Input*, *Plaxis Calculation*, dan *Plaxis Output.*

4.5.1. Plaxis Input

1. Buka Program Plaxis

   Operasikan aplikasi *Plaxis* dengan klik – ganda pada icon program *Plaxis Input*. Kemudian akan muncul kotak dengan pilihan *create/open project*, lalu pilih *new project* dan klik OK untuk membuat pekerjaan baru seperti pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Kotak Dialog *Create/Open Project*

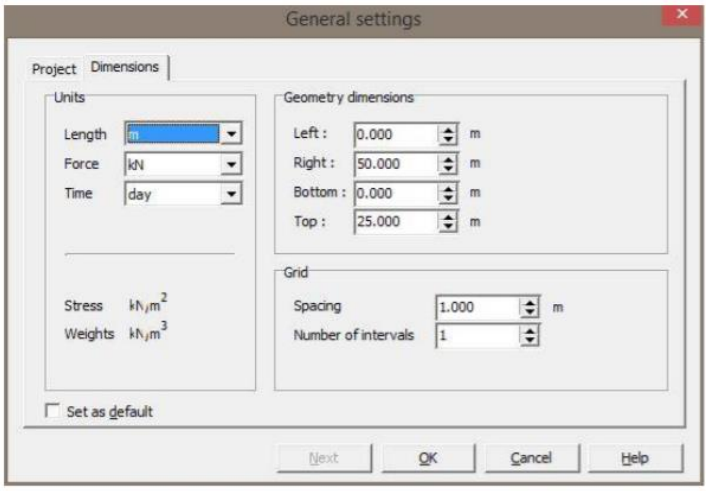
2. *General Setting*

   Pada pengaturan global (*general setting*) terdapat dua tab dialog, yaitu *tab project* dan *dimensions.* Pilihan lembar *tab project*, masukkan nama proyek yang akan dimodelkan pada kotak dialog *title.* Kemudian pilih analisis model *plane strain* (regangan bidang) pada kotak *general* dan pilih jenis elemen dasar *15 – Node* untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat.



Gambar 4.5 *Tab Project* dari Jendela *General Setting*

Dalam pilihan tab *geometry dimensions*, gunakan satuan dalam kotak *unit (Lenght = m, Force = kN, Time = day).* Dalam kotak *geometry dimensions*, ukuran dari bidang gambar harus diinput, saat menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. *Plaxis* akan menambahkan sebuah marjin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Kemudian masukkan 0,0; 50,0; 0,0; 25,0 masing-masing pada kotak isian *left, right, bottom,* dan *top* dalam kotak dialog. Kotak *Grid* beriskan nilai-nilai untuk mengatu spasi *grid*. *Grid* ini akan membentuk matriks titik-titik yang digunakan untuk memasukkan pengambaran tepat pada *grid* yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antara titik ditentukan oleh nilai spasi. Kemudian untuk *specing* masukkan nilai 1,0 dan 1 untuk *number of intervals.*



Gambar 4.6 *Tab Dimension* dari Jendela *General Setting*

3. Pemodelan Geometri

   Dalam penggambaran model geometri dilakukan dengan tahapan – tahapan sebagai berikut ini.

   a.  Pilih opsi *Geometry line* (telah diaktifkan)

      Posisikan kursor pada pusat koordinat. Letakkan kursor pada koordinat 0,0; 0,0 ini sebagai titik awal dalam penggambaran *geometry* setelah itu gambar geometri sesuai koordinat yang sudah ditentukan.

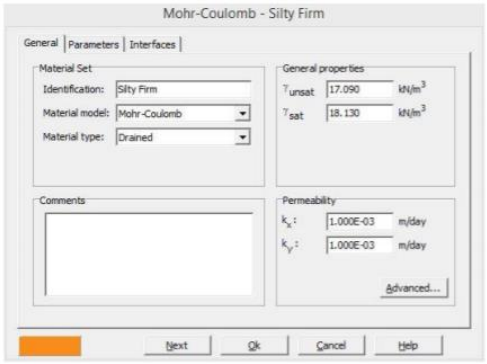
   b.  Klik tombol *standard fixities* pada *toolbar*.

c.  Klik tombol *Distributed load – load system A* pada *toolbar.* Kemudian klik pada titik awal dan titik akhir pada geometri yang menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk mengakhiri masukan beban merata. Masukkan nilai beban merata (10kN/m²)

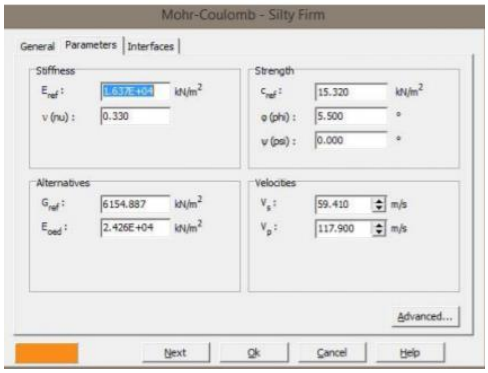
4. *Input* Parameter Material

Untuk memasukkan data material pada program ini dapat dilakukan dengan menggunakan tombol *material sets* pada *toolbar* atau dapat melalui pilihan yang tersedia dalam menu *materials.* Pilih tombol *material sets* pada *toolbar.*

a. Klik pilihan (*new*) di sisi bawah dari jendela *material sets.* Sebuah kotak dialog akan muncul dengan tiga buah lembar – *tab*, yaitu *general, parameters, interface* (Lihat gambar 4.6 dan Gambar 4.7)
b. Dalam kotak dialog *material sets* dalam lembar – *tab general*, tuliskan "Silty Firm" dalam kotak *identification.*
c. Kemudian pilih *Mohr – coulomb* pada *combo box material model* dan *drained* pada *combo box material type.*
d. Masukkan nilai yang akan diinput pada *general properties* dan pada kotak *permeability* sesuai dengan sifat material yang digunakan.
e. Klik pada *tab menu parameters* ada empat lembar – *tab* dan masukkan nilai sesuai sifat material yang digunakan. Karena model geometri tidak menggunakan *interface,* maka lembar – *tab* ketiga dapat dilewati lalu klik OK untuk menyimpan material.
f. Klik dan seret *(drag)* kumpulan data dari jendela *material sets* ke klaster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya. Maka material sudah masuk dalam bidang gambar apabila bidang gambar berubah warna.
g. Kemudian klik tombol OK pada jendela *material sets* untuk menutup basis data.



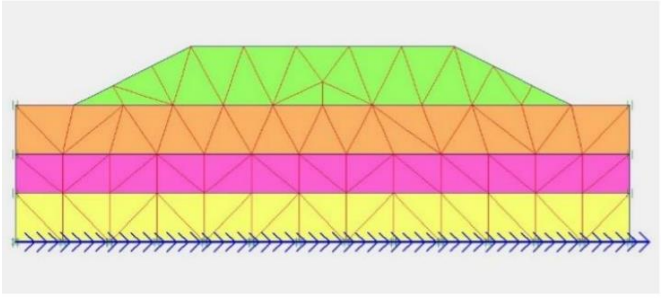
Gambar 4.7 Lembar *Tab General* dari Jendela Material *Sets*



Gambar 4.8 Lembar *Tab Parameters* dari Jendela Material *Sets*

5. *Mesh Generation*

   Klik pilihan *Generate Mesh* pada *toolbar* atau pilih susunan dari menu *mesh*. Setelah penyusunan jaringan elemen maka setelah itu sebuah jendela baru akan terbuka dimana ditunjukan jaringan elemen hingga yang terbentuk seperti Gambar 4.9. Kemudian klik tombol <perbarui> untuk kembali ke modus masukkan geometri.



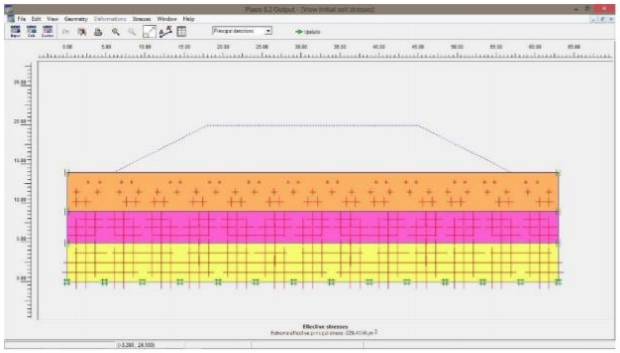
Gambar 4.9 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)

6. *Initial Condition*

a. Klik tombol *initial conditions* pada *toolbar*.

b.  Karena proyek ini tidak mengikuti sertakan tekanan air, maka lanjutkan modus konfigurasi geometri awal dengan mengklik tombol sebelah kanan dari "*switch*". Garis freatik secara otomatis akan terletakan pada dasar geometri.

c.  Klik pilihan *General intial stresses* pada *toolbar*. Kotak dialog Ko – *procedure* akan muncul pilih OK seperti pada Gambar 4.10 berikut.

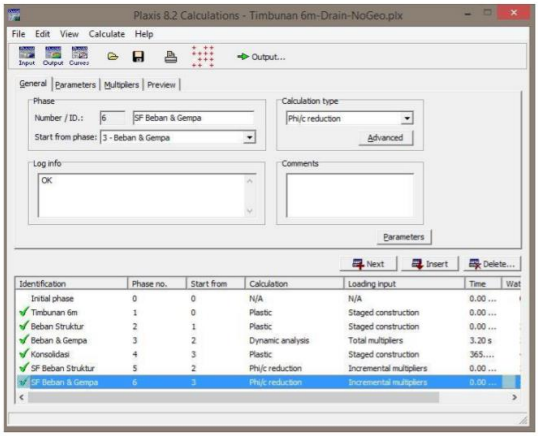


Gambar 4.10 Tegangan Awal Pada Geometri

d. Kemudian Klik *Calculate*

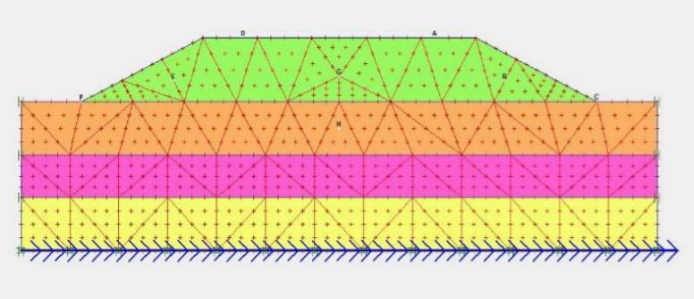
4.5.2. Plaxis Calculation

Pada bagian *calculation* (Gambar 4.11) terdapat empat lembar *tab* yaitu *generate*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar *tab general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari akibat gempa sedangkan pada lembar *tab parameters* dipilih *staged contruction* untuk *loading input*.

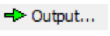


Gambar 4.11 Jendela *Calculations* dengan Lembar *Tab General*

 Langkah berikutnya yaitu menentukan titik yang akan ditinjau untuk mengambarkan dalam tampilan kurva yaitu dengan mengklik tombol *select point for curve* seperti Gambar 4.12 berikut.



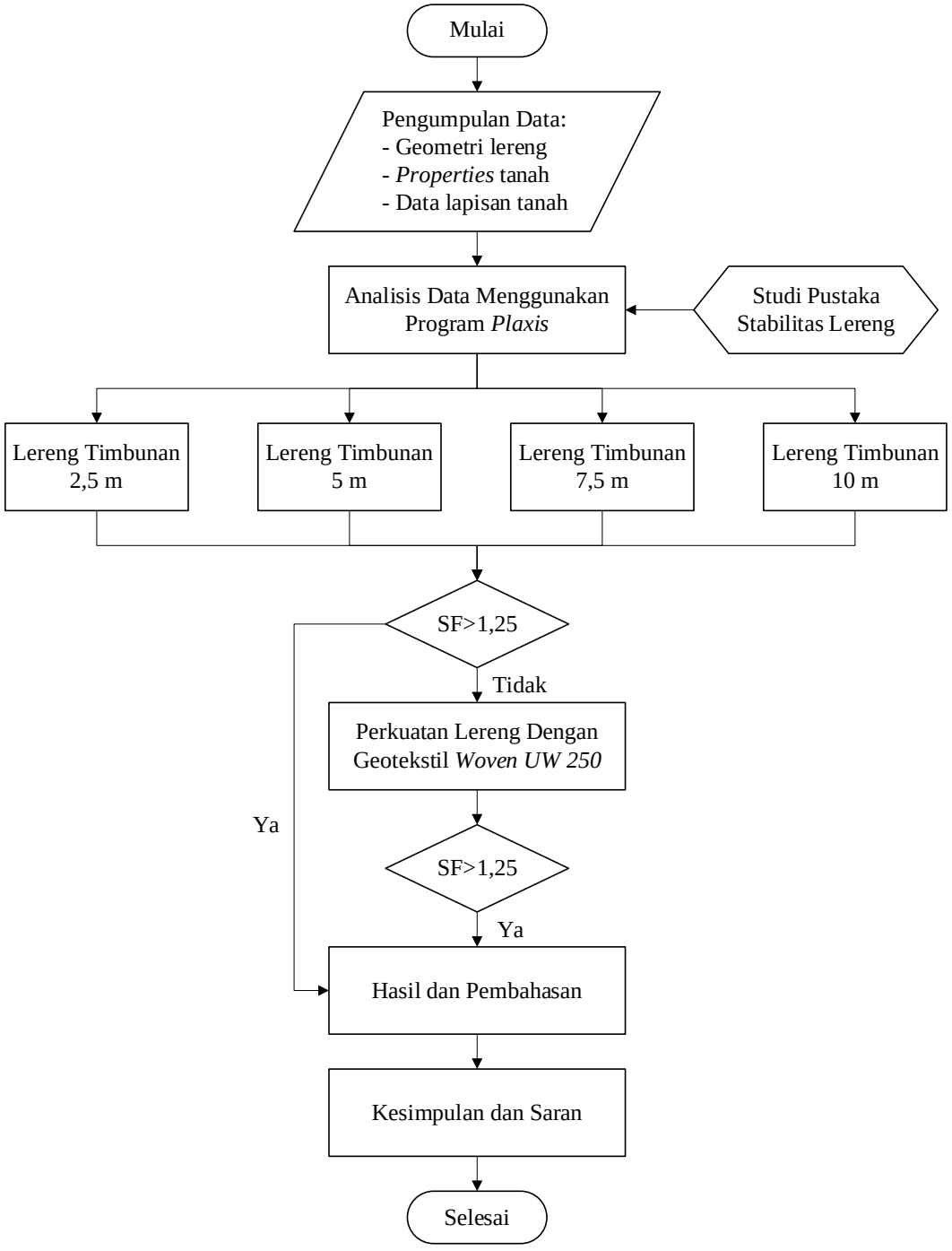
Gambar 4.12 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

4.5.3. Plaxis Output 

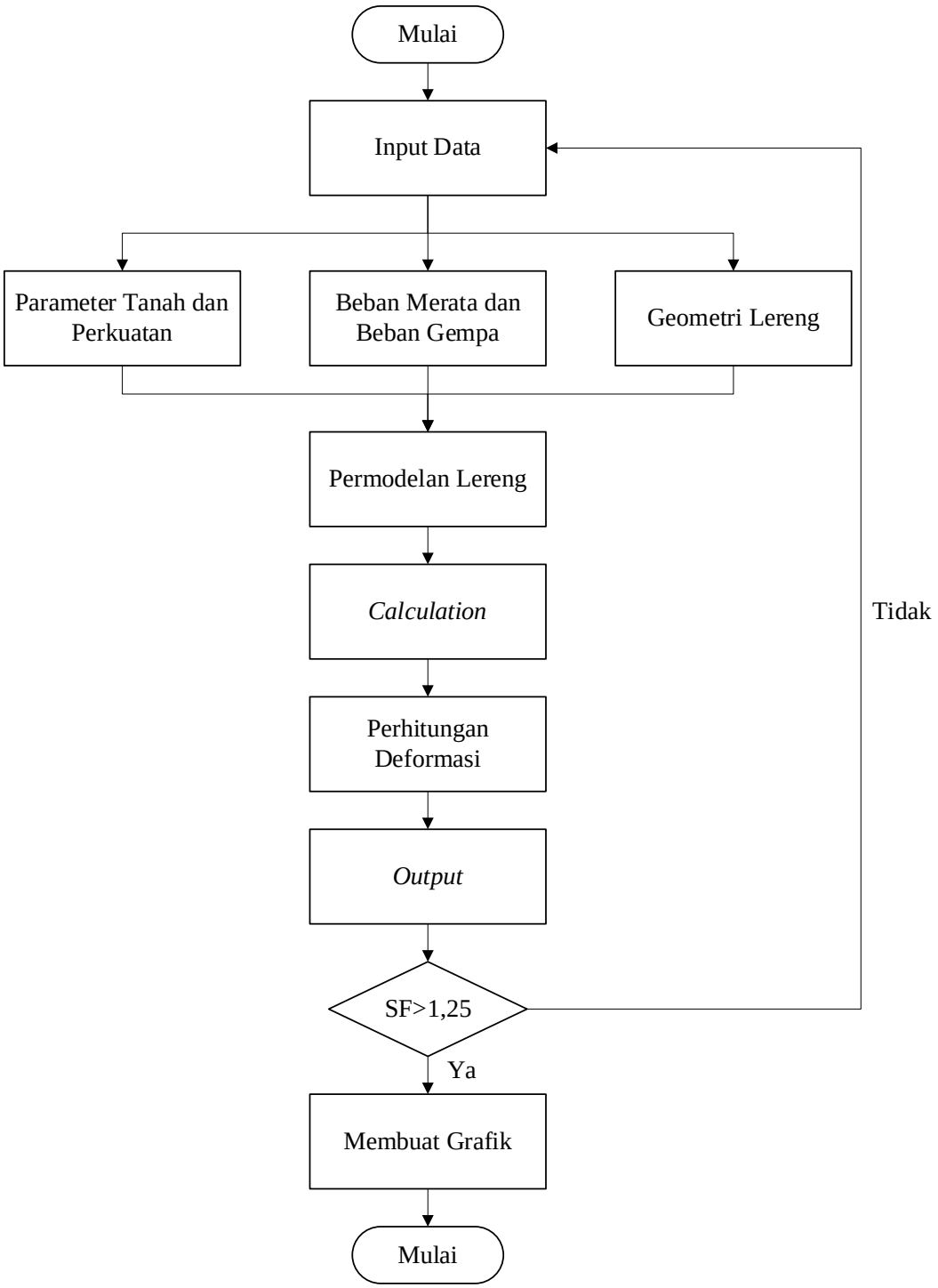
Setelah tahap analisis perhitungan selesai, selanjutnya klik tombol untuk menampilkan hasil dari tahap perhitungan yang telah dilakukan.

4.6. Bagan Alir Penelitian

Adapun Bagan Alir Penelitian atau *Flowchart* penelitian dan Bagan Alir Pemodelan Lereng dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14 berikut ini.



Gambar 4.13 *Flowchart* Penelitian



Gambar 4.14 *Flowchart* Pemodelan Lereng

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Gambaran Umum Analisis

Kondisi lereng tanah timbunan pada lokasi proyek pembangunan jalan tol ruas Sigli – Banda Aceh Sta 72+600 *main road* adalah tempat studi kasus untuk penelitian ini. Lapisan tanah pada proyek ini didominasi dengan klasifikasi tanah lempung sampai lanau berpasir, dan lapisan tanah yang digunakan yaitu sampai lapisan 3 dengan kedalaman 22 meter. Tanah yang digunakan untuk proses penimbunan pada proyek jalan tol ini memakai tanah dengan klasifikasi lempung berpasir yang dipadatkan. Analisis yang dilakukan pada lereng timbunan ini bertujuan untuk mengetahui apakah adanya longsoran yang terjadi pada lereng tersebut.

Analisis pada lereng tanah timbunan ini dilakukan dengan cara pertama yaitu tanpa diberikannya perkuatan pada tanah timbunan, selanjutnya dilakukan analisis dengan penambahan perkuatan geotekstil. Penambahan perkuatan sendiri diberikan agar dapat mengetahui apakah tambahan perkuatan tersebut dapat menahan kelongsoran yang dapat terjadi dan meningkatkan nilai angka aman dari timbunan lereng jalan.

5.1.1. Data Analisis Program Plaxis 8.6

Kondisi timbunan lereng sesuai dengan yang ada pada proyek pembangunan jalan tol ruas Sigli – Banda Aceh Sta 72+600 *main road*. Parameter tanah yang dipakai berdasarkan hasil laboratorium data tanah adalah sebagai berikut.

1. Data parameter tanah

   Parameter tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Data Parameter Tanah

Nama		*Silty Clay*	*Sandy Silt*	*Silty Clay*	*Clayey Sand* (Timbunan)
Model	-	*MC*	*MC*	*MC*	*MC*
Jenis	-	*DRAINED*	*DRAINED*	*DRAINED*	*UNDRAINED*
γ unsat	kN/m^3	8,335	8,629	9,316	15,86
γ sat	kN/m^3	12,435	12,689	12,945	18,77
Kx	m/hari	0,0001	0,00001	0,00001	0,01
Ky	m/hari	0,0001	0,00001	0,00001	0,01
E	kN/m^2	4000	20000	20000	11000
v	-	0,3	0,35	0,35	0,3
Kohesi (C)	kN/m^2	12	25	45	12
Sudut geser (ϕ)	°	10	16	18	25
Sudut dilantasi (ψ)	°	0	0	0	0

(Sumber: PT. Adhi Karya, 2020)

2. Data beban struktur

   Parameter beban yang digunakan dalam perhitungan analisis selama masa konstruksi dianggap memiliki beban merata akibat adanya beban struktur dari perkerasan jalan. Beban struktur yang dimasukkan adalah beban dari perkerasan jalan. Berdasarkan data yang digunakan sebagai perhitungan analisis pada proyek Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh, beban yang didapat dari struktur lapis perkerasan adalah 10 kN/*m²*.

3. Data beban lalu lintas

   Pada bagian input dalam program *Plaxis* besar beban lalu lintas untuk stabilitas digunakan sebesar 15 kN/*m²*, beban tersebut sesuai dengan data beban lalu lintas untuk stabilitas seperti disajikan pada Tabel 5.2. Pada saat kondisi pasca

konstruksi beban yang digunakan adalah dari struktur dan lalu lintas, maka digunakan beban 25 kN/m^2.

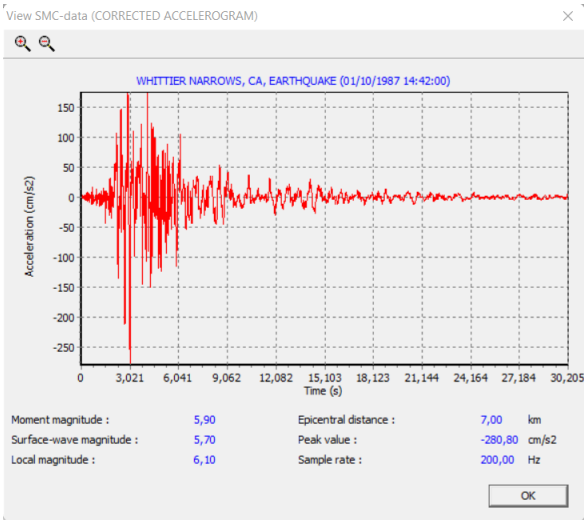
Tabel 5.2 Data Parameter Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

(Sumber: Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B, 2002)

4. Data beban gempa

Beban gempa yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng ini merupakan beban gempa dinamik. Pada wilayah Baitussalam Kabupaten Aceh Besar memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara 0,6 – 0,7 g. Data yang didapat sesuai dengan durasi gempa tersebut adalah data pada American Canyon California pada tahun 2014 akhir yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,600 Untuk waktu interval digunakan waktu 3,2 detik, waktu tersebut dianggap sudah melewati percepatan puncak gempa.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa

(Sumber: usgs.gov, 2018)

5. Data geotekstil

   Geotekstil yang digunakan pada proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh adalah produksi dari PT. Tekindo Geosistem Unggul dengan jenis *woven* UW 250. Nilai kuat tarik ijin dan regangannya yang diperoleh dari brosur produksinya, yaitu sebesar 52 kN/m^2 dan 20%. Maka nilai geotekstil yang dijadikan *input* ke dalam program *Plaxis 8.6* dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

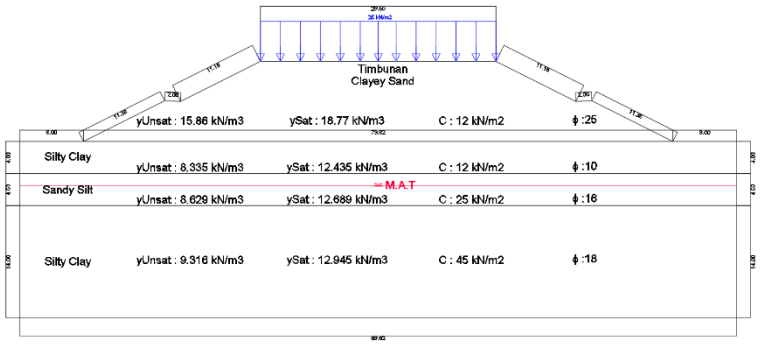
Tabel 5.3 Data Parameter Geotekstil *Woven* UW 250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Ta	52	kN/m
Regangan	E	20	%
Kekakuan Normal	*EA*	260	kN/m

(Sumber: PT. Tekindo Geosistem Unggul, 2020)

6. Kondisi eksisting lereng

   Timbunan dan data tanah yang sudah didapatkan datanya dapat diilustrasikan menjadi bentuk gambar. Kondisi eksisting timbunan dan jenis tanah asli setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



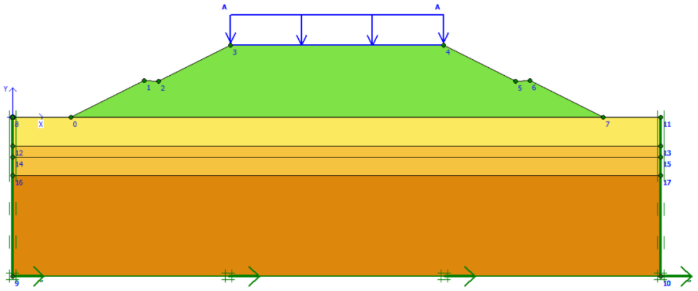
Gambar 5.2 Geometri Kondisi Eksisting Lereng

5.2. Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan

Analisis yang dilakukan pada lereng timbunan proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh ini dilakukan pada Sta 72+600 dengan ketinggian lereng 10 m. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng dengan menggunakan program *Plaxis* dan perhitungan dengan metode *Felinius.*

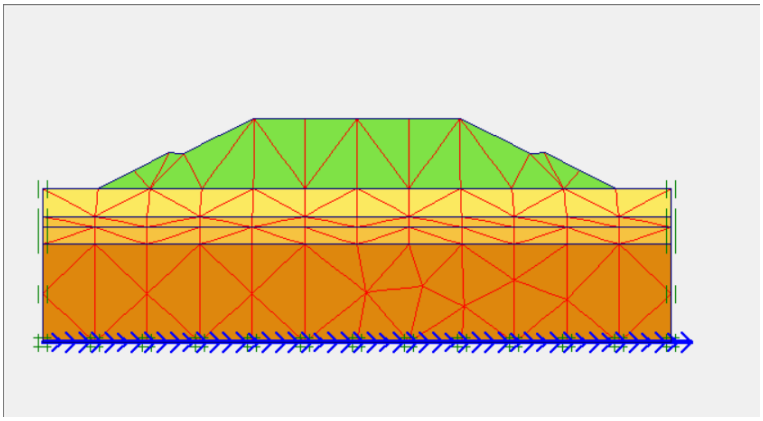
5.2.1. Analisis Menggunakan Program Plaxis

Pemodelan lereng timbunan ini menggunakan beban yang bekerja diatasnya dan parameter tanah yang telah diuji di lab. Pemodelan dilakukan secara dua dimensi yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



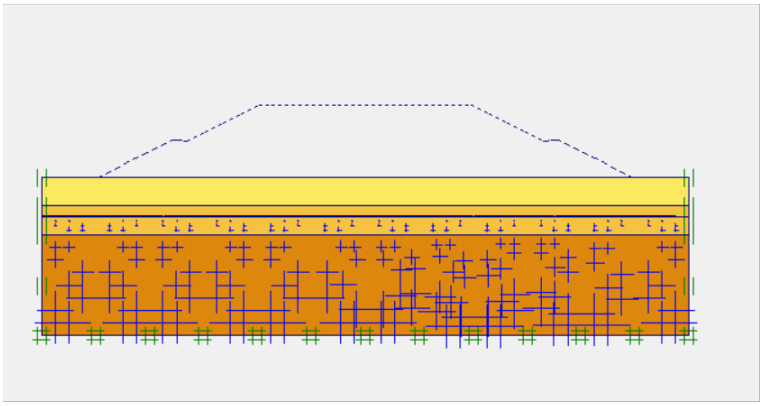
Gambar 5.3 Permodelan Lereng Timbunan 10m Tanpa Perkuatan

Setelah pemodelan selesai maka dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari penyusunan jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

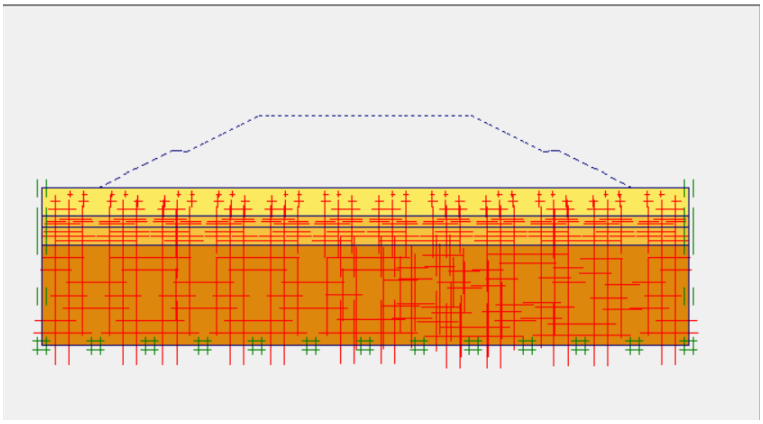


Gambar 5.4 *Meshing* Lereng Timbunan 10m Tanpa Perkuatan

Setelah *meshing* selesai dilakukan dilanjutkan dengan *initial condition.* Pada data hasil boring proyek didapatkan muka air tanah berada pada kedalaman 5,5m dari permukaan tanah asli, maka selanjutnya dilakukan *generate water pressures* sesuai dengan data muka air tanah. Hasil dari *generate water pressures* dan *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.5 *Generate Water Pressures* Lereng Timbunan 10m Tanpa Perkuatan

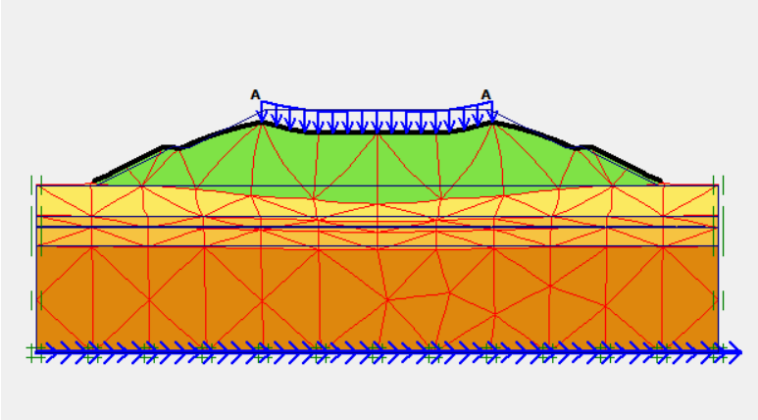


Gambar 5.6 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanpa Perkuatan

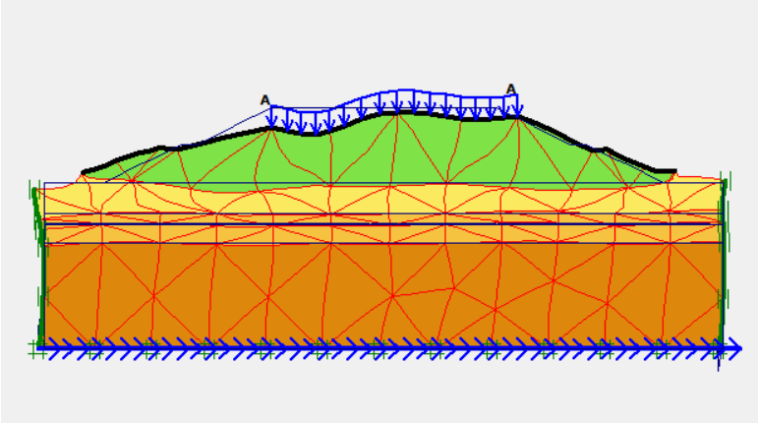
Hasil Perhitungan analisis lereng timbunan tanpa adanya perkuatan pada program *Plaxis* seperti berikut.

1. *Deformed Mesh*

   Hasil dari *deformed mesh* didapatkan nilai *extreme total displacement* akibat beban merata sebesar 29,28x10^{-3} m sedangkan akibat beban gempa sebesar 96,30x10^{-3} m seperti Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 berikut ini.



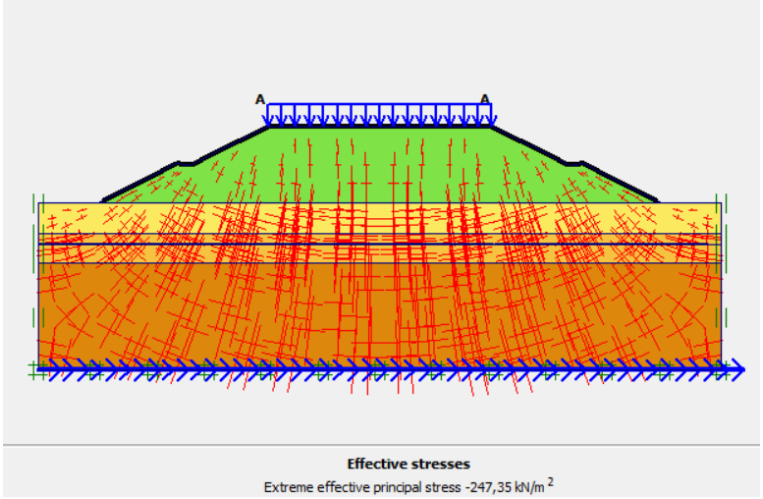
Gambar 5.7 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



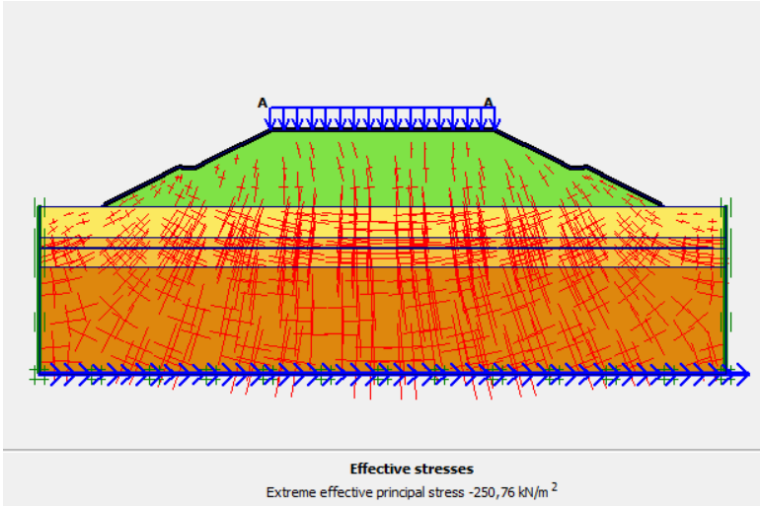
Gambar 5.8 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

2. *Effective Stress*

   Nilai dari *effective stresses* pada lereng asli akibat beban merata sebesar -247,35 kN/m^2 sedangkan akibat beban gempa sebesar -250,76 kN/m^2 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 berikut ini.



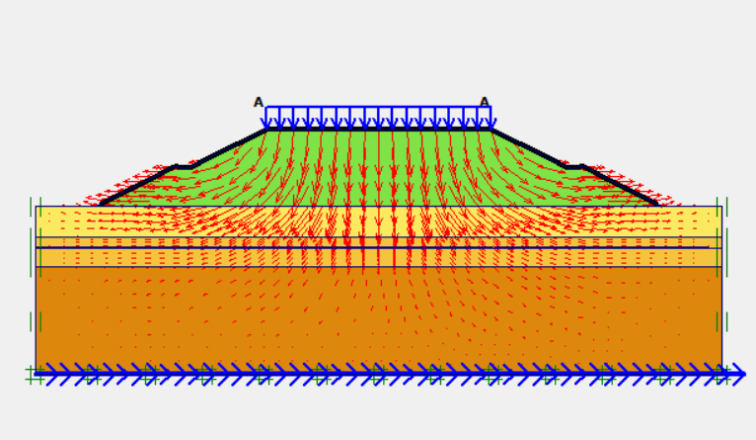
Gambar 5.9 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



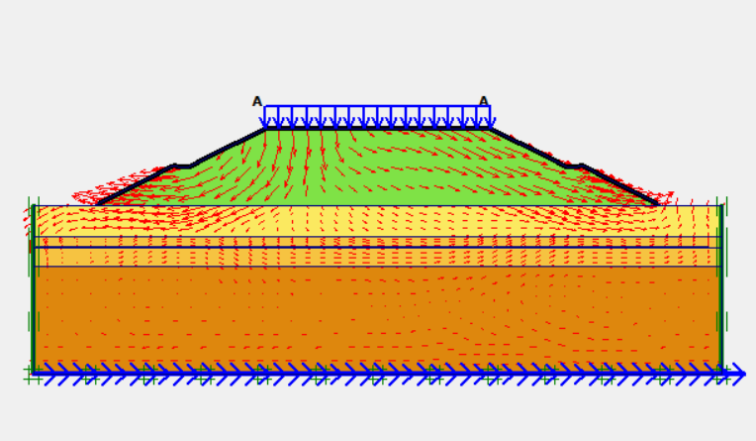
Gambar 5.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

3. Arah Pergerakan Tanah

   Gambar hasil pengujian *Plaxis* terhadap arah pergerakan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 berikut ini.



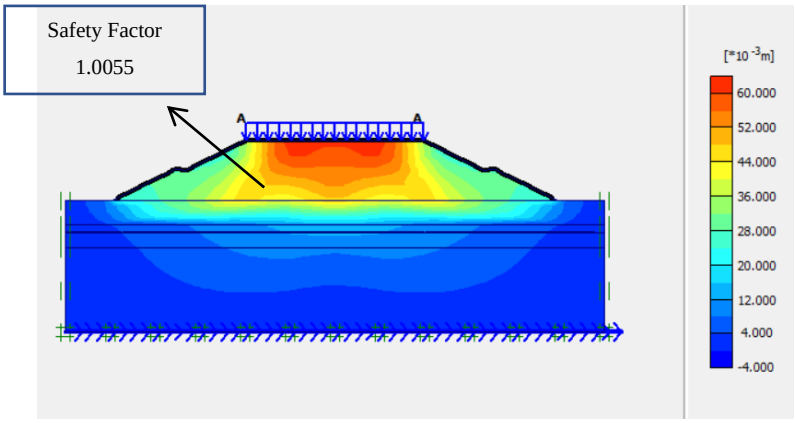
Gambar 5.11 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



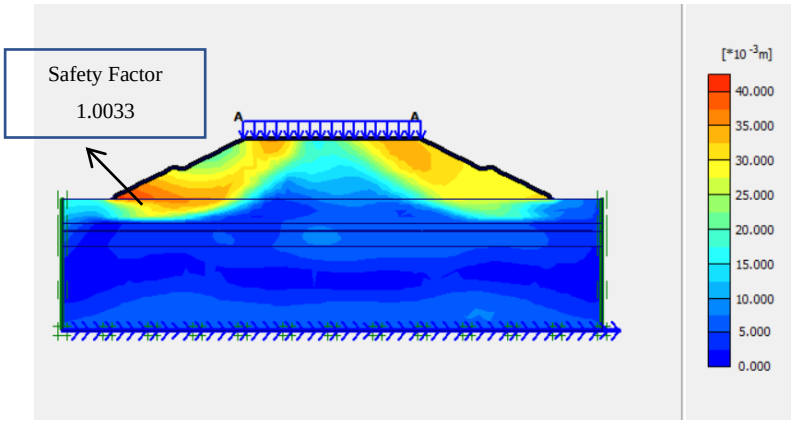
Gambar 5.12 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

4. *Total Displacement*

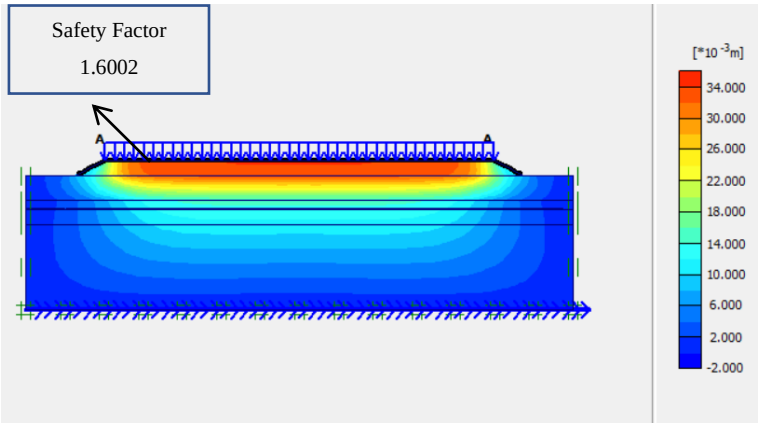
   Nilai *total displacement* dari hasil analisis pada variasi timbunan 10 m didapatkan akibat beban merata sebesar 29,28x10^{-3} m sedangkan akibat beban gempa sebesar 96,30x10^{-3} m. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 berikut. Sedangkan untuk variasi timbunan dengan tinggi 2,5 m, 5 m dan 7,5 m dapat dilihat berikut pada Gambar 5.15, Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 untuk beban merata serta Gambar 5.18, Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 untuk beban Gempa.



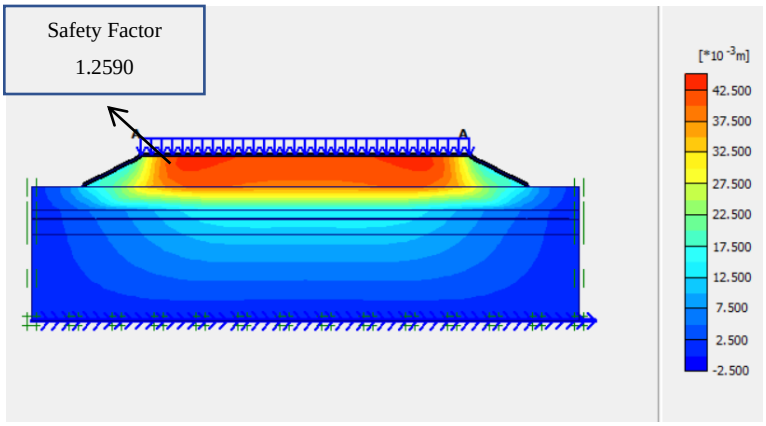
Gambar 5.13 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



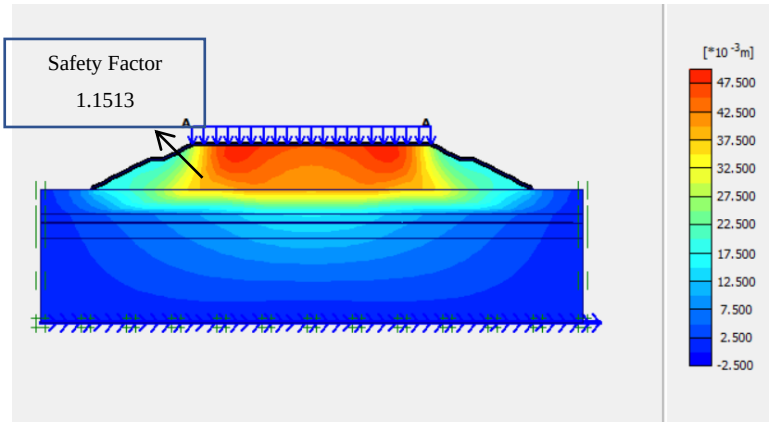
Gambar 5.14 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan



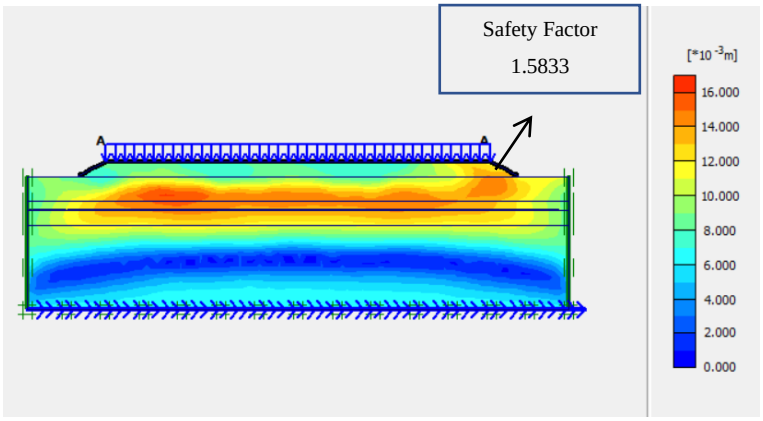
Gambar 5.15 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



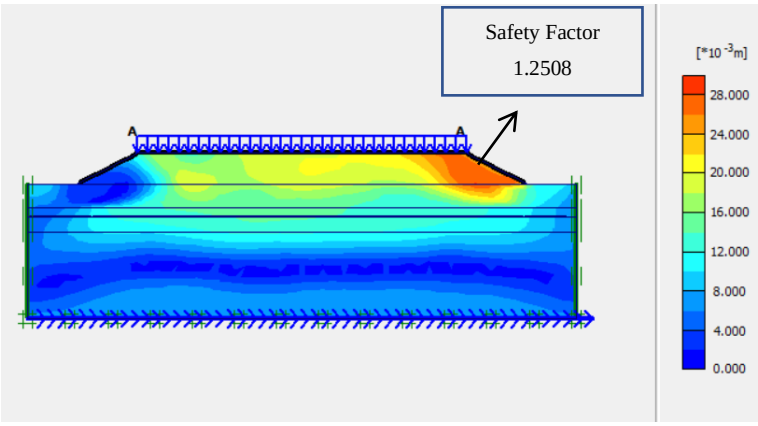
Gambar 5.16 *Total Displacement* Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



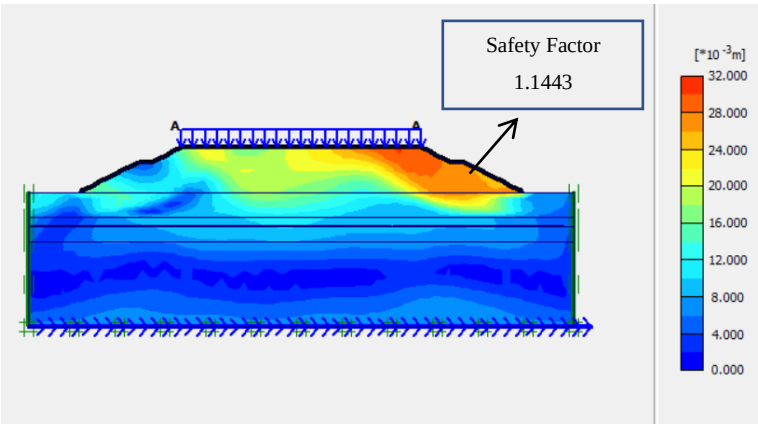
Gambar 5.17 *Total Displacement* Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



Gambar 5.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan



Gambar 5.19 *Total Displacement* Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan



Gambar 5.20 *Total Displacement* Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

5. Angka Keamanan

   Hasil Analisis Tanah lereng Timbunan asli 10m didapatkan nilai angka keamanan (*safety factor*) akibat beban merata sebesar 1,0055 sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,0033. Adapun nilai penurunan konsolidasi yang terjadi dengan parameter analisis 365 hari sebesar 0,07511 m.

6. Rekapitulasi Angka Aman (*SF*) dan Konsolidasi Hasil Analisis *Plaxis 8.6*

   Adapun rekapitulasi dari hasil analisis angka aman dan konsolidasi pada timbunan lereng denngan lapisan tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor*

REKAPITULASI ANGKA AMAN HASIL ANALISIS PLAXIS 8.6		
JENIS ANALISIS	KONDISI LERENG TANAH ASLI	
	BEBAN MERATA	BEBAN GEMPA
Timbunan 2,5 m	1.6002	1.5833
Timbunan 5 m	1.2590	1.2508
Timbunan 7,5 m	1.1513	1.1443
Timbunan 10 m	1.0055	1.0033

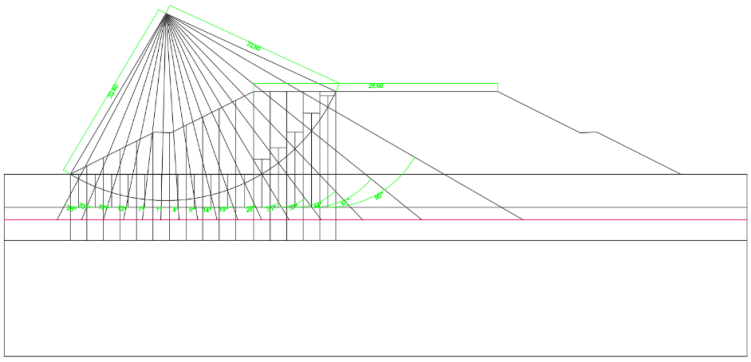
Dapat dilihat pada Tabel 5.4 nilai angka aman pada timbunan 2,5 m dan 5 m memiliki nilai angka aman yang lebih dari batas aman yang ditentukan sebesar 1,25, akan tetapi pada timbunan 7,5 m dan 10 m masih belum memenuhi syarat *Safety Factor* >1,25. Pada tinggi timbunan yang belum memenuhi syarat maka dilakukan analisis kembali dengan menambahkan perbaikan tanah pada tanah asli yang digali sedalam 2 m.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai *Consolidation Analysis*

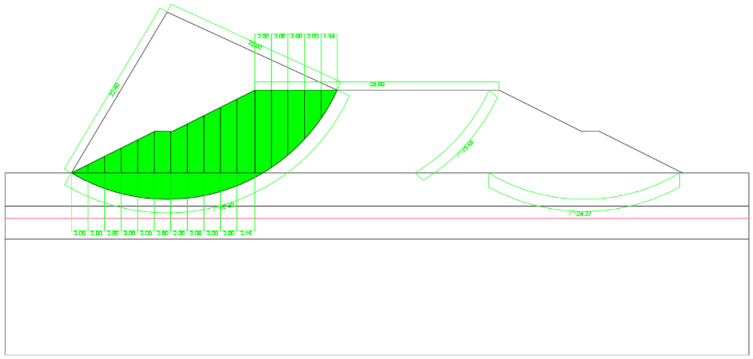
REKAPITULASI KONSOLIDASI HASIL ANALISIS *PLAXIS 8.6*				
JENIS ANALISIS	NILAI KONSOLIDASI KONDISI LERENG TANAH ASLI			
	1 Hari Beban Merata	1 Hari Beban Gempa	1 Tahun	SATUAN
Timbunan 2,5 m	0.01445	0.02538	0.01645	M
Timbunan 5 m	0.02066	0.03044	0.02567	M
Timbunan 7,5 m	0.02499	0.03579	0.03476	M
Timbunan 10 m	0.02928	0.09630	0.07511	M

5.2.2. Analisis Menggunakan Metode Fellenius

Analisis tanah lereng timbunan dengan menggunakan metode *fellenius* bertujuan untuk mendapatkan nilai angka aman pada lereng tanah timbunan yang dibagi menjadi 16 irisan dengan lebar irisan rerata sekitar 2 meter dan jari – jari 22,60 m, untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan 5.22 berikut ini.



Gambar 5.21 Geometri Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Asli dengan Metode *Fellenius*



Gambar 5.22 Pemodelan Pias Analisis Stabilitas dengan Metode *Fellenius*

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui Panjang, luas dan sudut masing – masing dari irisan sebagai sebuah data dalam perhitungan. Perhitungan metode *fellenius* dapat dilihat pada uraian berikut ini dengan contoh pada irisan 1 Tanah Timbunan :

1. Perhitungan Radians

   Rad = α x $\frac{\Pi}{180}$ = -28 x $\frac{\Pi}{180}$ = -0,4887

2. Perhitungan Berat Irisan

   W1 = ɤ x A1 = (15,86 x 1) + (8,335 x 1,102) = 25,0435 kN

3. Perhitungan sin α

   Sinα1 = sin (Rad1) = sin (-0,4887) = -0,00853

4. Perhitungan cos α

   Cosα1 = cos (Rad1) = cos (-0,4887) = 0,9999

5. Perhitungan Wi x sin α

Wi1 = Wi x Sin α = (15,86+9,1835) x sin -0,4887 = -11,757 kN

6. Perhitungan Wi x cos α

Wi1 = Wi x cos α = (15,86+9,1835) x cos -0,4887 = 22,1121 kN

Nilai tahanan kelongsoran oleh kohesi yang dihitung dari panjang lengkung tanah. Panjang garis lengkung tanah timbunan sebesar 13,65 m, panjang garis lengkung tanah *silty clay* (lapis pertama) sebesar 24,27 m, dengan perhitungan sebagai berikut ini.

Σciai = (13,65 x 12) + (24,27 x 12)

= 455,04 kN

Beban merata yang ada di atas permukaan timbunan sebesar 25 kN/m^2. Momen yang dihasilkan dari beban merata tersebut dihitung sebagai berikut ini.

Mq = (q x A) = (25 x 14,75) = 368,75 kN

Berikut dapat dilihat pada Tabel 5.6 dibawah ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan analisis stabilitas menggunakan metode *Fellenius.*

Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Metode *Fellenius*

Trial 1								
No Irisan	Luas(m2)	Berat Wi (kN)	timbunan	lp 1	lp 2	lp 3	Ui=ui, ai (kN)	Wi cos θ-Ui= ui, ai (kN)
			θ(°)	θ(rad)	Wi cos θ (kN)	Wi sin θ (kN)		
16	3,546	56,237974	60	1,047198	52,368987	90,70574622	0	52,368987
		0						
		0						
15	9,457	149,989606	51	0,890118	125,8575371	155,4211146	0	125,8575371
		0						
		0						
14	13,829	219,323182	44	0,767945	193,734884	187,0876027	0	193,734884
		0						
		0						
13	17,234	273,334412	37	0,645772	258,226343	194,5875066	0	258,226343
		0						
		0						
12	19,666	311,905932	31	0,541052	354,9705867	213,2878465	0	354,9705867
	0,266	2,2146095						
		0						
11	20,434	324,08324	25	0,436332	311,1343295	145,0843206	0	311,1343295
	2,305	19,215509						
		0						
10	16,840	267,0824	19	0,331613	282,687624	97,33715489	0	282,687624
	3,827	31,8938775						
		0						
9	14,840	235,3624	14	0,244346	268,9570137	67,05851507	0	268,9570137
	5,018	41,828364						
		0						

Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Metode *Fellenius*

No Irisan	Luas(m2)	Berat Wi (kN)	θ(°)	θ(rad)	Wi cos θ (kN)	Wi sin θ (kN)	Ui=ui, ai (kN)	Wi cos θ-Ui= ui, ai (kN)
8	12,840	203,6424	9	0,15708	249,0592146	39,44710431	0	249,0592146
	5,821	48,521369						
		0						
7	10,847	172,031834	4	0,069813	223,6336709	15,63798965	0	223,6336709
	6,257	52,1479275						
		0						
6	10,086	159,962374	-1	-0,01745	212,7263603	-3,713152431	0	212,7263603
	6,334	52,7963905						
		0						
5	9,000	142,74	-7	-0,12217	191,7831699	-23,5480123	0	191,7831699
	6,057	50,483428						
		0						
4	7,000	111,02	-12	-0,20944	152,7588059	-32,46988655	0	152,7588059
	5,417	45,1515285						
		0						
3	5,000	79,3	-17	-0,29671	110,899314	-33,90532286	0	110,899314
	4,399	36,6664985						
		0						
2	3,000	47,58	-22	-0,38397	67,10798376	-27,1133854	0	67,10798376
	2,975	24,798292						
1	1,000	15,86	-28	-0,48869	22,11210069	-11,75721249	0	22,11210069
	1,102	9,183503						
Total					3078,017925	1073,147929		

Berdasarkan perhitungan Momen diatas dapat dihitung nilai angka aman (*safety factor*) lereng timbunan dengan metode *Fellenius* sebagai berikut ini.

$$\text{SF} = \frac{\text{(Jumlah Momen Tahanan)}}{\text{(Jumlah momen Longsor)}} = \frac{(\sum ciai) + ((Wi\cos\theta - Ui)\ x\ \tan\ \varphi)}{(Wi\sin\alpha) + (Beban\ x\ Luas)}$$

$$= \frac{455{,}04 + 970{,}69834}{1073{,}14793 + 368{,}75}$$

= 0,9888 (Tidak Aman)

Hasil perhitungan SF metode *fellinius* didapatkan nilai angka aman senilai 0,9888 Karena persyaratan untuk keamanan lereng minimal sebesar > 1,25. Maka lereng perlu melakukan perkuatan sehingga lereng tidak terjadi kelongsoran.

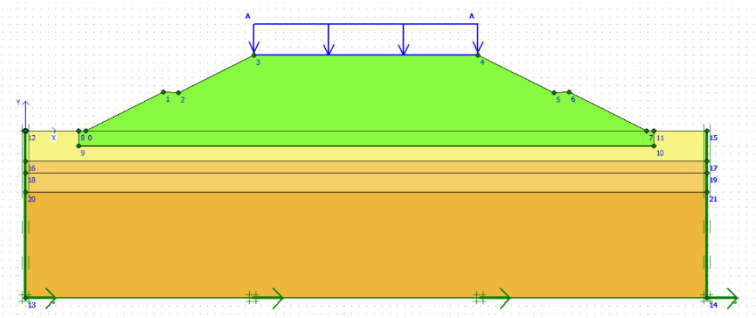
5.3. Lereng Timbunan dengan Tanah Replacement Tanpa Perkuatan

5.3.1. Analisis Menggunakan Program Plaxis 8.6

Hasil perhitungan menggunakan *Plaxis 8.6* dari analisis stabilitas yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah *replacement* pengganti tanah asli pada lapisan pertama dengan kedalaman galian dan timbunan 2meter dari permukaan tanah asli.

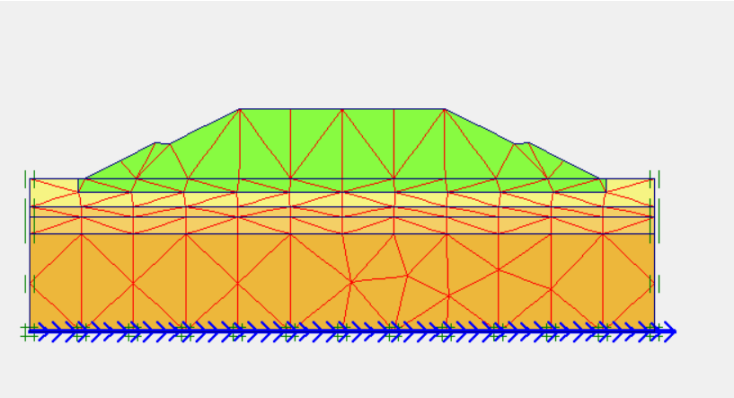
1. Pemodelan lereng

   Pemodelan lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah dasar lapisan pertama dengan kedalaman galian dan timbunan 2meter dari permukaan tanah menggunakan jenis tanah yang sesuai dengan data tanah pada proyek Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh. Beban merata yang digunakan adalah beban struktur perkerasan dan beban lalu lintas. Beban gempa yang digunakan adalah data beban gempa SMC berupa grafik percepatan dan waktu gempa yang sesuai dengan data gempa wilayah Baitussalam Kabupaten Aceh Besar. Untuk pemodelan lereng dengan tanah *replacement* dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



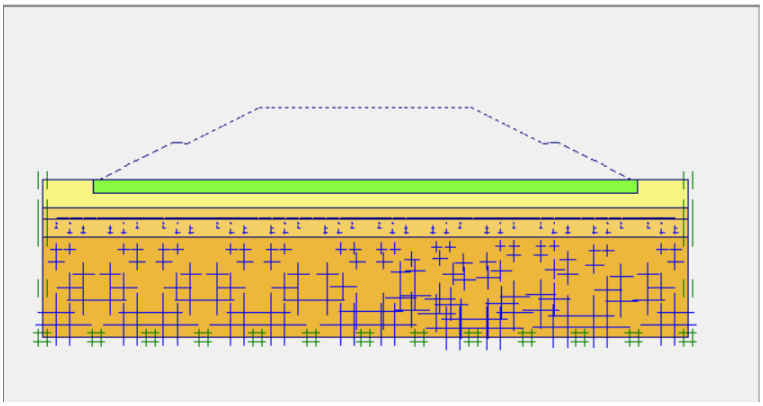
Gambar 5.23 Pemodelan Lereng Timbunan 10m *Replacement* Tanpa Perkuatan

Setelah pemodelan selesai maka dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari penyusunan jaringan elemen (*meshing*) lereng timbunan dengan *replacement* dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut.

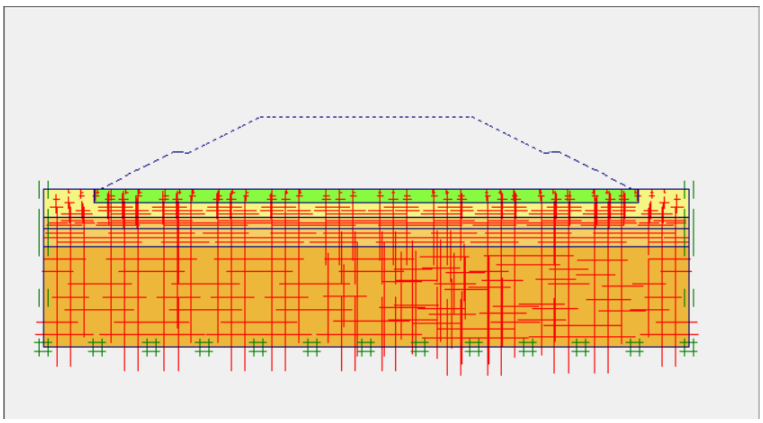


Gambar 5.24 *Meshing* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Tanpa Perkuatan

Setelah *meshing* selesai dilakukan selanjutnya masuk ke tahap *initial condition.* Pada data hasil boring proyek didapatkan muka air tanah berada pada kedalaman 5,5m dari permukaan tanah asli, maka selanjutnya dilakukan *generate water pressures* sesuai dengan data muka air tanah. Hasil dari *generate water pressures* dan *initial soil stresses* lereng timbunan dengan *replacement* dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 berikut ini.

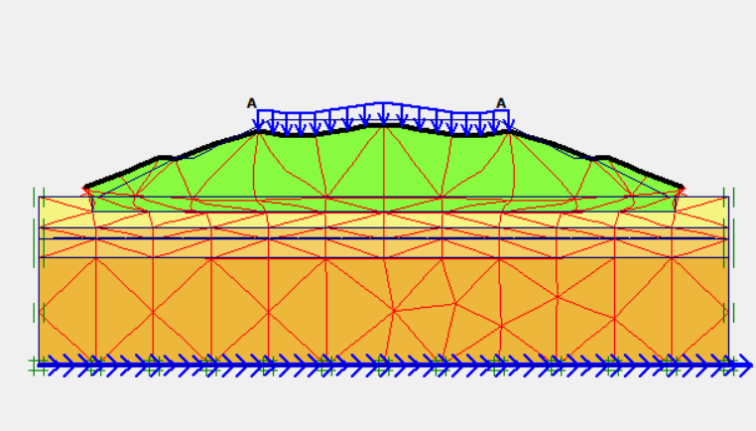


Gambar 5.25 *Generate Water Pressures* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Tanpa Perkuatan

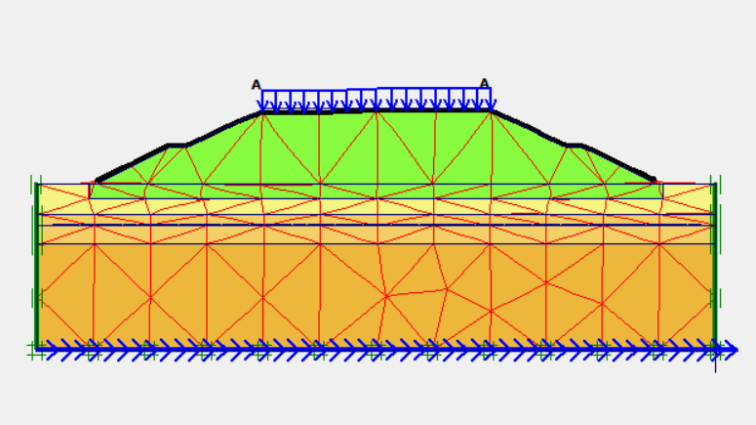


Gambar 5.26 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Tanpa Perkuatan

2. Perhitungan analisis lereng timbunan 10 m dengan replacement pada tanah asli tanpa adanya perkuatan.
   a. Hasil dari *deformed mesh* akibat beban merata dan beban gempa didapatkan nilai *extreme total displacement* masing – masing sebesar $13{,}04 \times 10^{-3}$ m dan $63{,}05 \times 10^{-3}$ m seperti Gambar 5.27 dan Gambar 5.28 berikut ini.

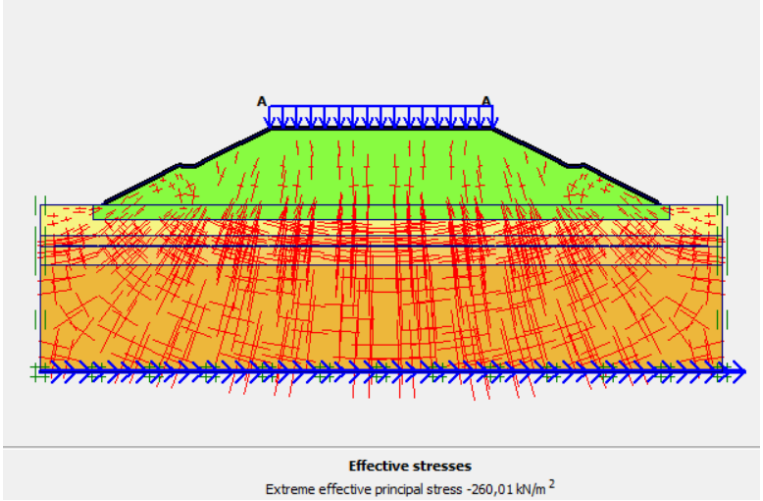


Gambar 5.27 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan

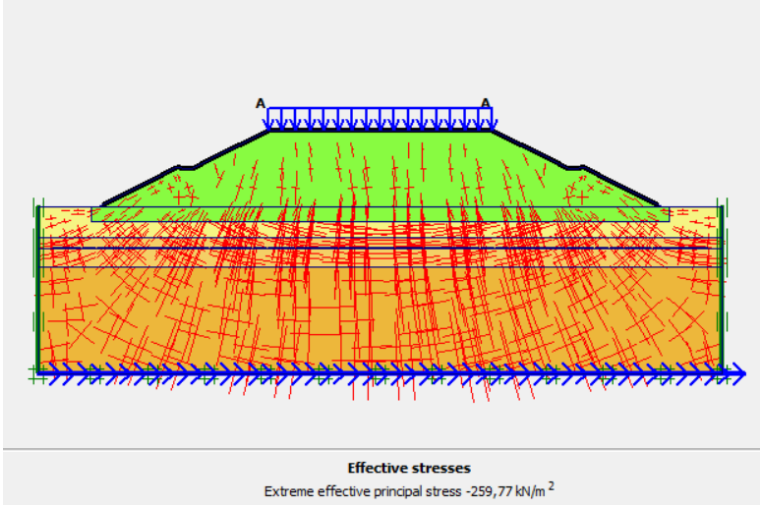


Gambar 5.28 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

b. Nilai dari *effective stresses* pada lereng timbunan 10m dengan *replacement* pada tanah asli akibat beban merata sebesar -260,01 kN/m^2, sedangkan akibat beban gempa didapatkan sebesar -259,77 kN/m^2 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.30 berikut.

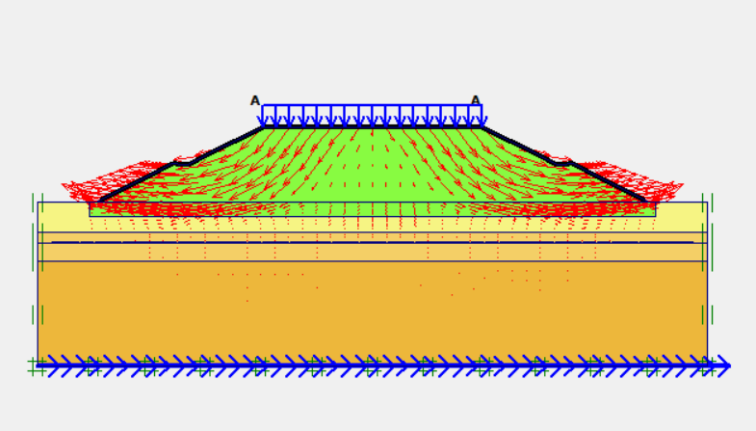


Gambar 5.29 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan

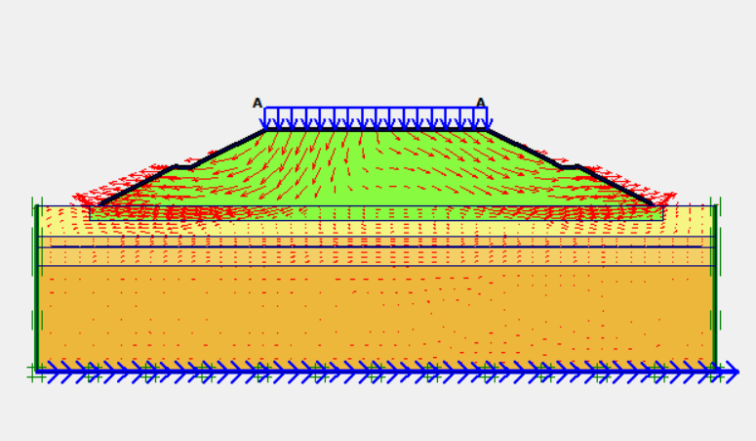


Gambar 5.30 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

c. Gambar hasil pengujian *Plaxis* terhadap nilai arah pergerakan tanah akibat beban merata dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 berikut ini.

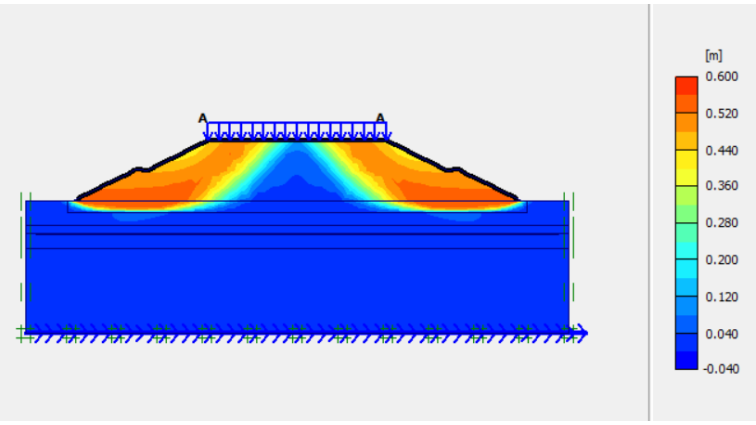


Gambar 5.31 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan

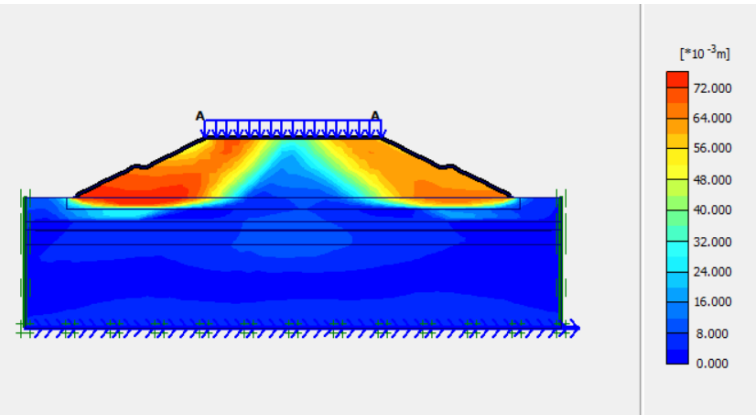


Gambar 5.32 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

d. Nilai *total displacement* dari hasil analisis lereng timbunan 10 m dengan *replacement* pada tanah asli akibat beban merata didapatkan sebesar $13{,}04 \times 10^{-3}$ m, sedangkan akibat beban gempa didapatkan sebesar $63{,}05 \times 10^{-3}$ m. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut.

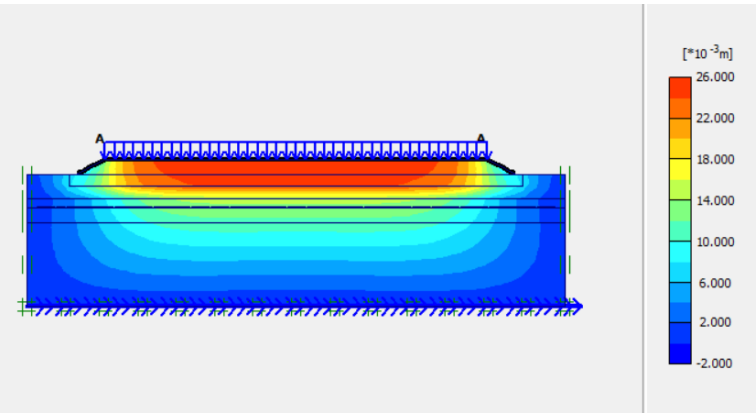


Gambar 5.33 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan

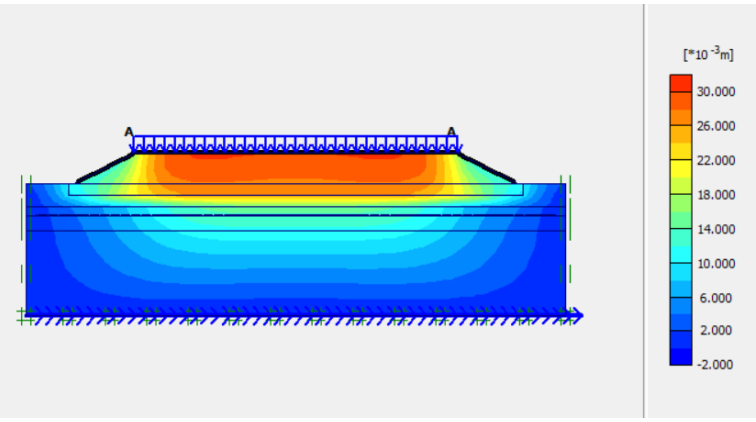


Gambar 5.34 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

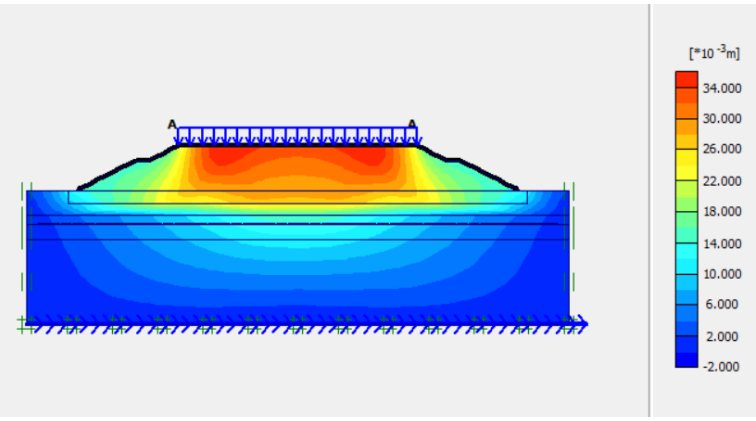
Sedangkan nilai *total displacement* untuk variasi timbunan dengan tinggi 2,5 m, 5 m dan 7,5 m dapat dilihat untuk beban merata pada Gambar 5.35, Gambar 5.36 dan Gambar 5.37, sedangkan untuk beban gempa pada Gambar 5.38, Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 berikut.



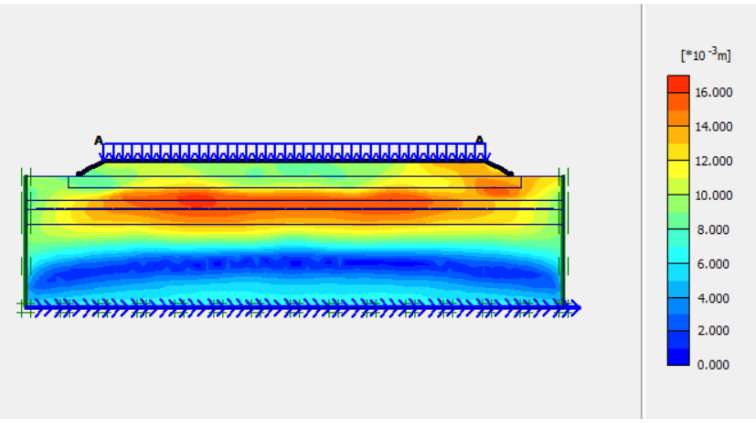
Gambar 5.35 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2,5m *Replacement* Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



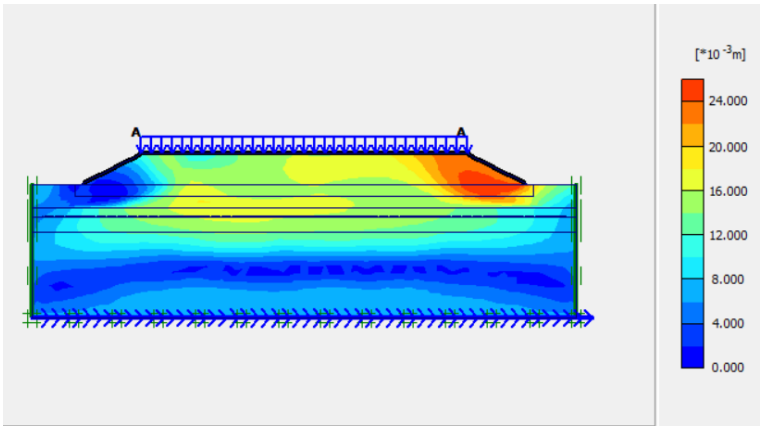
Gambar 5.36 *Total Displacement* Lereng Timbunan 5m *Replacement* Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



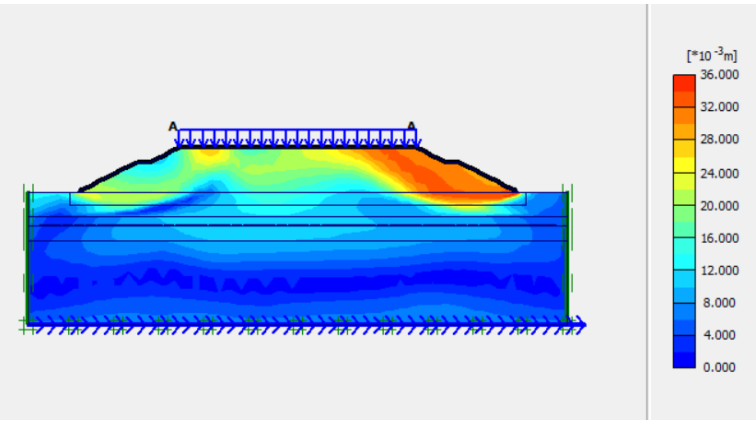
Gambar 5.37 *Total Displacement* Lereng Timbunan 7,5m *Replacement* Akibat Beban Merata Tanpa Perkuatan



Gambar 5.38 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2,5m *Replacement* Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

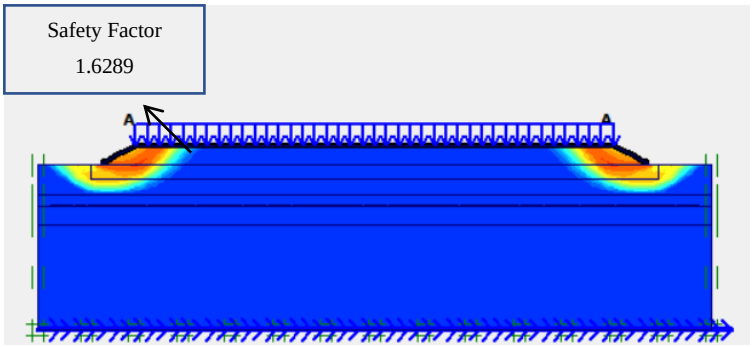


Gambar 5.39 *Total Displacement* Lereng Timbunan 5m *Replacement* Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

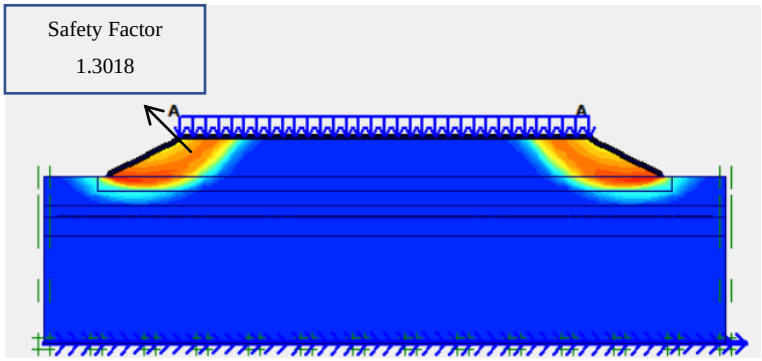


Gambar 5.40 *Total Displacement* Lereng Timbunan 7,5m *Replacement* Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan

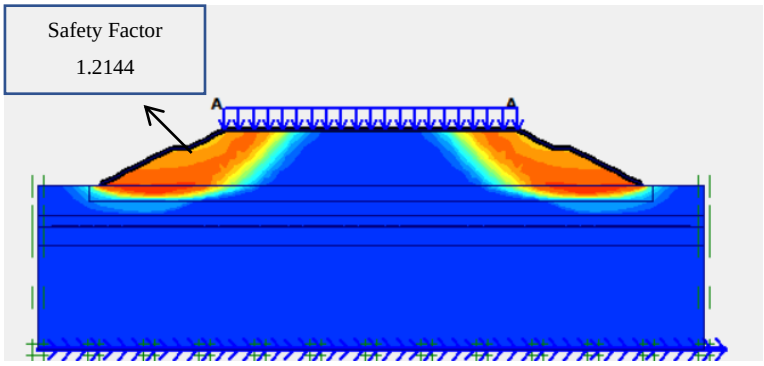
e. Pemodelan timbunan mengalami potensi kelongsoran akibat beban merata dapat dilihat pada Gambar 5.41, Gambar 5.42, Gambar 5.43, Gambar 5.44 dan akibat beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.45, Gambar 5.46, Gambar 5.47, dan Gambar 5.48 berikut ini.



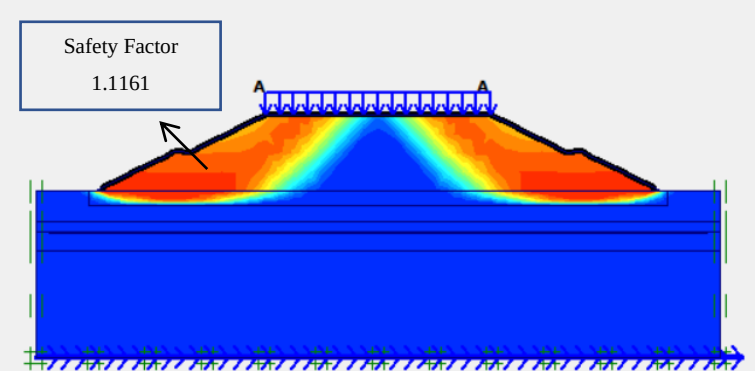
Gambar 5.41 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Replacement Akibat Beban Merata



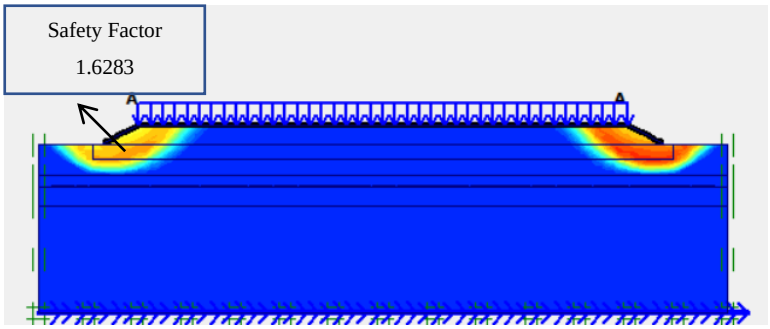
Gambar 5.42 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Replacement Akibat Beban Merata



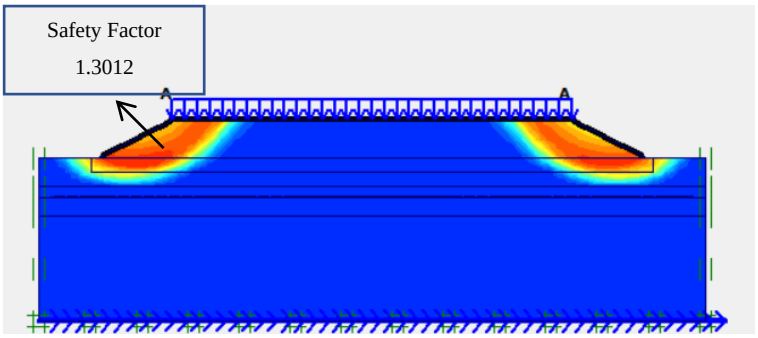
Gambar 5.43 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Replacement Akibat Beban Merata



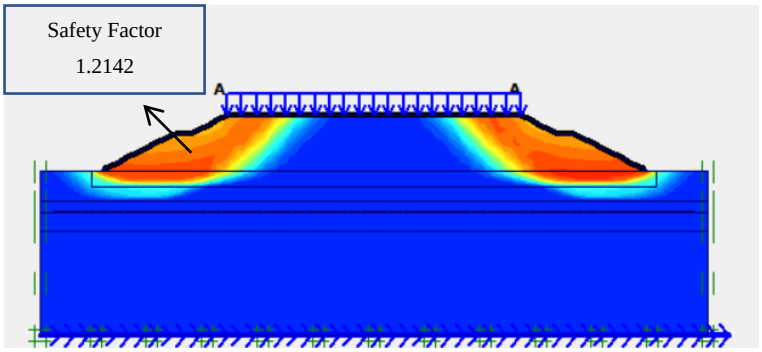
Gambar 5.44 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Merata



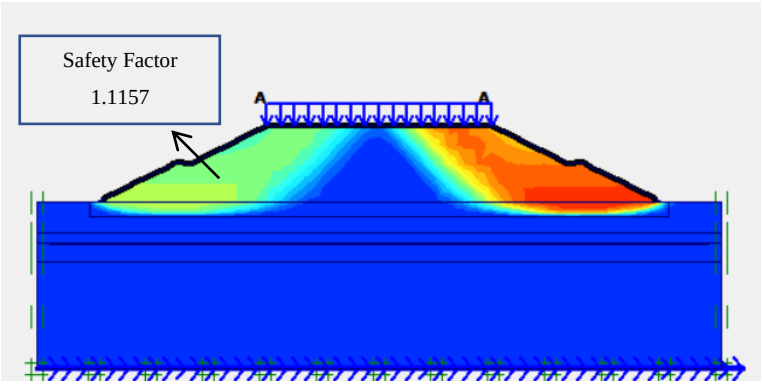
Gambar 5.45 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Replacement Akibat Beban Gempa



Gambar 5.46 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Replacement Akibat Beban Gempa



Gambar 5.47 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Replacement Akibat Beban Gempa



Gambar 5.48 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Replacement Akibat Beban Gempa

f. Nilai angka aman lereng timbunan 10 m dengan *replacement* pada tanah asli yang didapatkan pada analisis dengan adanya beban merata sebesar 1,1161, sedangkan yang didapatkan dengan adanya beban gempa sebesar 1,1157. Adapun Nilai penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan 10 m dengan *replacement* pada tanah asli yang didapatkan pada analisis program *Plaxis 8.6* dengan asumsi 365 hari sebesar 0,04042. Untuk Rekapitulasi hasil angka aman dan nilai konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor*

REKAPITULASI ANGKA AMAN HASIL ANALISIS PLAXIS 8,6		
JENIS ANALISIS	KONDISI LERENG TANAH *REPLACEMENT*	
	BEBAN MERATA	BEBAN GEMPA
Timbunan 2,5 m	1,6289	1,6283
Timbunan 5 m	1,3018	1,3012
Timbunan 7,5 m	1,2144	1,2142
Timbunan 10 m	1,1161	1,1157

Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai *Consolidation Analysis*

REKAPITULASI KONSOLIDASI HASIL ANALISIS *PLAXIS 8,6*				
JENIS ANALISIS	NILAI KONSOLIDASI KONDISI LERENG TANAH *REPLACEMENT*			
	1 Hari Beban Merata	1 Hari Beban Gempa	1 Tahun	SATUAN
Timbunan 2,5 m	0,00752	0,03418	0,01612	M
Timbunan 5 m	0,01068	0,04361	0,02811	M
Timbunan 7,5 m	0,01205	0,04914	0,03042	M
Timbunan 10 m	0,01304	0,06305	0,04042	M

5.4. Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

5.4.1. Data Perhitungan Geotekstil

1. Parameter Tanah Timbunan

   Parameter tanah yang digunakan dalam analisis perkuatan geotekstil adalah bagian tanah timbunan karena bidang longsor yang paling besar terdapat pada bagian timbunan tanah. Untuk jenis tanah timbunan yang digunakan sebagai parameter tanah dalam perhitungan kebutuhan geotekstil adalah sebagai berikut.

   a. Berat volume tanah (*γb)* = 15,86 kN/m^3
   b. Kohesi (c) = 12 kN/m^2
   c. Sudut gesek dalam (φ) = 25°

2. Data Geotekstil

   Jenis geotekstil *woven* yang digunakan pada analisis ini adalah tipe *UW – 250.* yang digunakan sebagai perkuatan pada timbunan tanah. Data geotekstil yang digunakan berasal dari produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul. Nilai kuat tarik geotekstil yang digunakan sebesar 52 kN/m dan nilai regangan yang digunakan sebesar 20%. Data geotekstil yang akan diinput kedalam aplikasi

Plaxis yaitu berupa nilai *normal stiffness* (EA) yang dihitung sebagai berikut ini.

$EA = \frac{\text{Fg}}{\Delta l / l}$

$= \frac{52}{0{,}2}$

$= 260$ kN/m

Untuk perhitungan kebutuhan geotekstil nilai SF yang digunakan sebagai pembagi nilai kuat tarik ijin dari geotekstil sebesar 2. Angka yang digunakan sudah aman karena lebih besar atau sama dengan nilai 1,5. Perhitungan kuat tarik *allowable* geotekstil sebagai berikut ini.

$T_{all} = \frac{T_{ult}}{SF_{geo}}$

$= \frac{52}{2}$

$= 26$ kN/m^2

Data parameter geotekstil yang digunakan sebagai perhitungan dan *input* kedalam program *Plaxis* dapat dilihat Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Data Parameter Geotekstil *Woven*

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tarik Ultimit	T_{ult}	52	kN/m
Regangan	ε	20	%
Kekakuan normal	*EA*	260	kN/m
Kuat tarik *allowable*	T_{all}	26	kN/m

3. Koefisien daya dukung tanah

Pada analisis perhitungan kebutuhan geotekstil dibutuhkan data koefisien daya dukung tanah. Data koefisien daya dukung tanah pada penelitian ini menggunakan data yang didapatkan dari departemen pekerjaan umum (2009). Untuk nilai koefisien daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Data Koefisien Daya Dukung Tanah

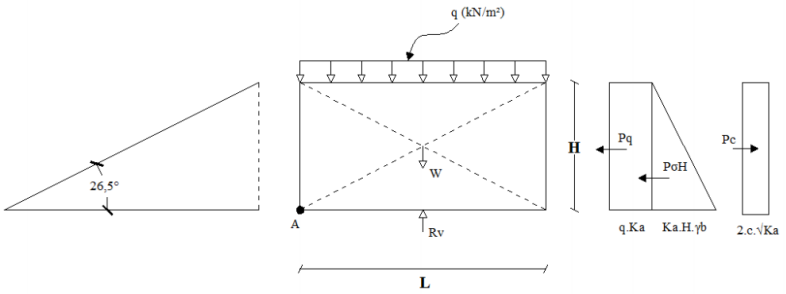
φ	N_c	N_q	N_γ	φ	N_c	N_q	N_γ
10	8,85	2,47	1,22	26	22,25	11,85	12,54
11	8,80	2,71	1,44	27	23,94	13,20	14,47
12	9,28	2,97	1,69	28	25,80	14,72	16,72
13	9,81	3,26	1,97	29	27,86	16,44	19,34
14	10,37	3,59	2,29	30	30,14	18,40	22,40
15	10,98	3,94	2,65	31	32,67	20,63	25,90
16	11,63	4,34	3,06	32	35,49	23,18	30,22
17	12,34	4,77	3,53	33	38,64	26,09	35,19
18	13,10	5,26	4,07	34	42,16	29,44	41,06
19	13,93	5,80	4,68	35	46,12	33,30	48,03
20	14,83	6,40	5,39	36	50,59	37,75	56,31
21	15,82	7,07	6,20	37	55,63	42,92	66,19
22	16,88	7,82	7,13	38	61,35	48,93	78,03
23	18,05	8,66	8,20	39	37,87	55,96	92,25
24	19,32	9,60	9,44	40	75,31	64,20	109,41
25	20,72	10,66	10,8	41	83,86	73,90	130,22

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

5.4.2. Analisis Stabilitas Eksternal

Dalam merencanakan lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil, lereng harus stabil terhadap pengaruh gaya dalam maupun gaya luar. Stabilitas yang akan ditinjau adalah stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Pada perhitungan stabilitas eksternal akan digunakan untuk menentukan jarak arah vertikal minimal lapisan geotekstil (SV) dan panjang total minimum geotekstil (L).

Beban merata yang dimasukkan sebesar 25 kN/m^2. Nilai *safety factor* (SF) sebagai acuan dalam perhitungan kebutuhan geotekstil digunakan 1,5. Gaya yang akan bekerja pada tanah timbunan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.49 berikut.



Gambar 5.49 Gaya yang Bekerja Pada Lereng Timbunan

1. Menentukan jarak arah vertikal minimal antar lapis geotekstil (SV)

   Perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut.

   Ka $= \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$

   Ka $= \tan^2\left(45 - \frac{25}{2}\right)$

   $= 0{,}40586$

   a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 2,5 m

   $\sigma hc = (q\ x\ Ka) + (Ka\ x\ H\ x\ \gamma b) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka})$

   $= (25x0{,}40586) + (0{,}40586x2{,}5x15{,}86) - (2x12x\sqrt{0{,}40586})$

   $= 10{,}94907\ kN/m^2$

   $SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc\ x\ SF}$

   $= \frac{26}{10{,}94907\ x\ 1{,}5}$

   $= 1{,}583088$ m

   Dilapangan dipasang SV = 1m (minimal)

   Banyak lapis geotekstil teoritis = 2,5m / 1m = 2,5 lapis

   Pada penelitian untuk lereng timbunan dengan tinggi 2,5m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

   b. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 5m

   $\sigma hc = (q\ x\ Ka) + (Ka\ x\ H\ x\ \gamma b) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka})$

   $= (25x0{,}40586) + (0{,}40586x5x15{,}86) - (2x12x\sqrt{0{,}40586})$

   $= 27{,}04136\ kN/m^2$

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc \; x \; SF}$$

$$= \frac{26}{27{,}04136 \; x \; 1{,}5}$$

$$= 0{,}640993 \; m$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 5m / 0,5m = 10 lapis

Pada penelitian untuk lereng timbunan dengan tinggi 5m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

c. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 7,5m

$$\sigma hc = (q \; x \; Ka) + (Ka \; x \; H \; x \; \gamma b) - (2 \; x \; c \; x \; \sqrt{Ka})$$

$$= (25x0{,}40586) + (0{,}40586x7{,}5x15{,}86) - (2x12x\sqrt{0{,}40586})$$

$$= 43{,}13365 \; kN/m^2$$

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc \; x \; SF}$$

$$= \frac{26}{43{,}13365 \; x \; 1{,}5}$$

$$= 0{,}401852 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 7,5m / 0,5m = 15 lapis

Pada penelitian untuk lereng timbunan dengan tinggi 7,5m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

d. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 10m

$$\sigma hc = (q \; x \; Ka) + (Ka \; x \; H \; x \; \gamma b) - (2 \; x \; c \; x \; \sqrt{Ka})$$

$$= (25x0{,}40586) + (0{,}40586x10x15{,}86) - (2x12x\sqrt{0{,}40586})$$

$$= 59{,}22594 \text{ kN/m}^2$$

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc \; x \; SF}$$

$$= \frac{26}{59{,}22594 \; x \; 1{,}5}$$

$$= 0{,}292665 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 10m / 0,5m = 20 lapis

Pada penelitian untuk lereng timbunan dengan tinggi 10m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

2. Menentukan panjang geotekstil

   a. Stabilitas terhadap guling

   $SF = \frac{\sum MR}{\sum MD} = \frac{Momen\ Menahan}{Momen\ Menggulingkan} \geq 1{,}5$

   $\sum MD = \left(q\ x\ Ka\ x\ \frac{1}{2}\ x\ H^2\right) + \left(\frac{1}{2}\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ H^2\ x\ \frac{1}{3}\ x\ H\right) - \left(2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka}\ x\ \frac{1}{2}\ x\ H^2\right)$

   $\sum MR = \left(\frac{1}{2}\ x\ q\ x\ L^2\right) + \left(\frac{1}{2}\ x\ \gamma b\ x\ H\ x\ L^2\right)$

   $SF = \frac{\left(\frac{1}{2}x\ 25\ x\ L^2\right)+\left(\frac{1}{2}x\ 15{,}86\ x\ 10\ x\ L^2\right)}{\left(25x0{,}40586x\frac{1}{2}x10^2\right)+\left(\frac{1}{2}x0{,}40586x15{,}86x10^2x\frac{1}{3}x10\right)-\left(2x12x\sqrt{0{,}40586}x\frac{1}{2}x10^2\right)}$

   $SF = \left(\frac{91{,}8\ x\ L^2}{815{,}6582}\right)$

   $L^2 = \frac{815{,}6582\ x\ 1{,}5}{91{,}8} = 3{,}650719$ m

   $L = 3{,}650719$ m

   Panjang geotekstil untuk menahan guling pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 4 m.

   b. Stabilitas terhadap geser

   $SF = \frac{(q\ x \tan\delta\ x\ L)+(H\ x\ \gamma b\ x \tan\delta\ x\ L)}{(q\ x\ Ka\ x\ H)+(0{,}5\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ H^2)-\left(2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka}\ x\ H\right)}$

   Tahanan geser pada dasar perkuatan ($\delta = {}^{2}/_{3}\ x\ 25 = 16{,}667$)

   $SF = \frac{(25\ x\ tan(16{,}667)x\ L)+(10\ x\ 15{,}86\ x\ tan(16{,}667)x\ L)}{(25x0{,}40586x10)+(0{,}5x0{,}40586x15{,}86x10^2)-(2x12x\sqrt{0{,}40586}x10)}$

   $SF = \frac{54{,}96623\ x\ L}{270{,}4136}$

   $L = \frac{270{,}4136\ x\ 1{,}5}{54{,}96623} = 7{,}379446$ m

   Panjang geotekstil untuk menahan geser pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 8 m.

   c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

   $\frac{1}{6}\ x\ L\ \geq e$

   $e = \frac{\sum MD}{Rv} = \frac{\left(q\ x\ Ka\ x\ \frac{1}{2}x\ H^2\right)+\left(\frac{1}{2}x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ H^2\ x\ \frac{1}{3}x\ H\right)-\left(2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka}\ x\ \frac{1}{2}x\ H^2\right)}{(H\ x\ \gamma b\ x\ L)+(q\ x\ L)}$

$\frac{L}{6} \geq \frac{815,6582}{183,6\ x\ L}$

$L^2 = 26,6555\ m$

$L = 5,162896\ m$

Panjang geotekstil untuk menahan eksentrisitas pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 6 m.

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$Nc = 20,72$

$N\gamma = 10,8$

$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{(H\ x\ \gamma b) + q}$

$\sigma_{ult} = [(c\ x\ Nc) + (0,5\ x\ L\ x\ \gamma b\ x\ N\gamma)]\ x\ SF$

$\sigma_{ult} = [(12\ x\ 20,72) + (0,5\ x\ L\ x\ 15,86\ x\ 10,8)]\ x\ 1,5$

$\sigma_{ult} = 372,96 + (128,466\ x\ L)$

$L \leq \frac{372,96 + (128,466\ x\ L)}{(10\ x\ 15,86) + 25}$

$183,6\ L \leq 372,96 + (128,466\ x\ L)$

$L = \frac{372,96}{183,6 - 128,466}$

$L = 6,76461\ m$

Panjang geotekstil untuk menahan daya dukung tanah pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 7 m.

Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng timbunan diatas, panjang geotekstil yang digunakan secara maksimum sebesar 8 m. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Stabalitas Eksentrisitas	Stabilitas Daya DukungTanah	Panjang Minimum (L)
2,5 m	0,178967	0,562438	0,253098	-5,8443	1
5 m	1,417046	2,629849	2,004005	-15,4333	3
7,5 m	2,534344	4,961406	3,584103	24,10548	5
10 m	3,650719	7,379446	5,162896	6,76461	8

5.4.3. Analisis Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil
   a. Timbunan 2,5m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{10{,}94907 \; x \; 1 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 15{,}86 \; x \; 2{,}5 \; x \; \tan 25} = 0{,}44415 \text{ m}$$

   Karena panjang *overlapping* minimum geotekstil 1 meter, maka panjang yang diambil adalah 1 m.

   b. Timbunan 5m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{27{,}04136 \; x \; 0{,}5 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 15{,}86 \; x \; 5 \; x \; \tan 25} = 0{,}274234 \text{ m}$$

   Karena panjang *overlapping* minimum geotekstil 1 meter, maka panjang yang diambil adalah 1 m.

   c. Timbunan 7,5m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{43{,}13365 \; x \; 0{,}5 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 15{,}86 \; x \; 7{,}5 \; x \; \tan 25} = 0{,}29162 \text{ m}$$

   Karena panjang *overlapping* minimum geotekstil 1 meter, maka panjang yang diambil adalah 1 m.

   d. Timbunan 10m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{59{,}22594 \; x \; 0{,}5 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 15{,}86 \; x \; 10 \; x \; \tan 25} = 0{,}300313 \text{ m}$$

   Karena panjang *overlapping* minimum geotekstil 1 meter, maka panjang yang diambil adalah 1 m.

2. Panjang efektif geotekstil
   a. Timbunan 2,5m

$$Le = \frac{SF \; x \; SV \; x \; Ka \; x \; \gamma b \; x \; H}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \; tan \; \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5 \; x \; 1 \; x \; 0{,}4058 \; x \; 15{,}86 \; x \; 2{,}5}{2 \; x \; 15{,}86 \; x \; 2{,}5 \; x \; tan \; 25} = 0{,}652786 \; m$$

   Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

b. Timbunan 5m

$$Le = \frac{SF\ x\ SV\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ H}{2\ x\ \gamma b\ x\ H\ x\ tan\ \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5\ x\ 0{,}5\ x\ 0{,}4058\ x\ 15{,}86\ x\ 5}{2\ x\ 15{,}86\ x\ 5\ x\ tan\ 25} = 0{,}326393\ m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

c. Timbunan 7,5m

$$Le = \frac{SF\ x\ SV\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ H}{2\ x\ \gamma b\ x\ H\ x\ tan\ \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5\ x\ 0{,}5\ x\ 0{,}4058\ x\ 15{,}86\ x\ 7{,}5}{2\ x\ 15{,}86\ x\ 7{,}5\ x\ tan\ 25} = 0{,}326393\ m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

d. Timbunan 10m

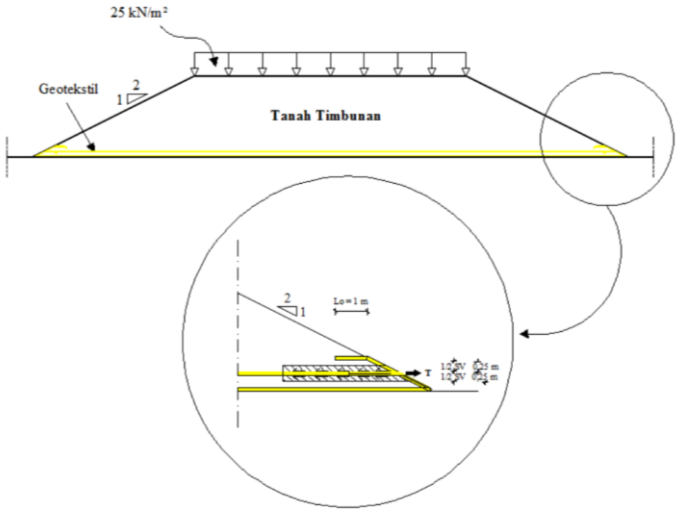
$$Le = \frac{SF\ x\ SV\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ H}{2\ x\ \gamma b\ x\ H\ x\ tan\ \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5\ x\ 0{,}5\ x\ 0{,}4058\ x\ 15{,}86\ x\ 10}{2\ x\ 15{,}86\ x\ 10\ x\ tan\ 25} = 0{,}326393\ m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

5.4.4. Analisis Gaya Tarik Tanah Geotekstil

Untuk dapat memastikan apakah geotekstil yang direncanakan mampu menahan gaya Tarik yang terjadi dengan nilai jarak arah vertikal minimum (SV) 0,5 m, maka dilakukan perhitungan tegangan geser yang bekerja. Untuk gambar transfer tegangan geser tanah – geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.50 berikut.



Gambar 5.50 Transfer Tegangan Geser

Ketika geotekstil menerima beban dari tanah yang berada diatasnya maka geotekstil akan mendapat tegangan dan akan mentransfer tegangan tersebut ke daerah pasif. Geotekstil harus mampu dalam menahan gaya tarik yang bekerja padanya, oleh karena itu perlu perencanaan jenis geotekstil yang mampu menahan gaya tarik yang bekerja. Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dianalisa dengan menggunakan perhitungan berikut.

$$T = \tan\varphi \; x \; 2 \; x \; \sigma_n \; x \; b \; x \; L$$

$$= \tan(25) \; x \; 2 \; x \; \left(\frac{1}{2} \; x \; 0{,}5 \; x \; 15{,}86\right) \; x \; 1 \; x \; 8$$

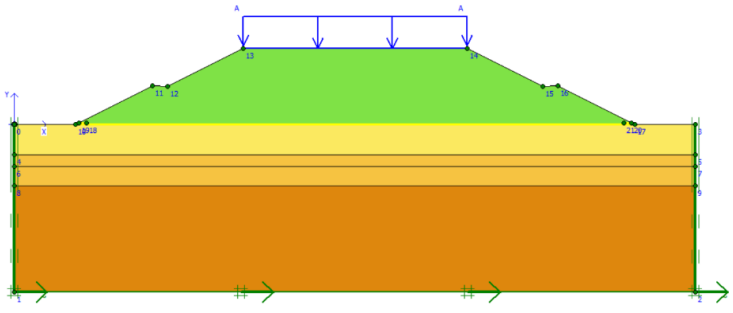
$$= 29{,}58207 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan gaya tarik yang bekerja diatas pada geotekstil sebesar 29,58207 kN, untuk jenis geotekstil yang digunakan memiliki kuat tarik sebesar 52 kN/m. Maka kekuatan geotekstil kuat menahan gaya tarik yang akan bekerja karena 52 kN/m > 29,58207 kN (aman).

5.5. Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Woven

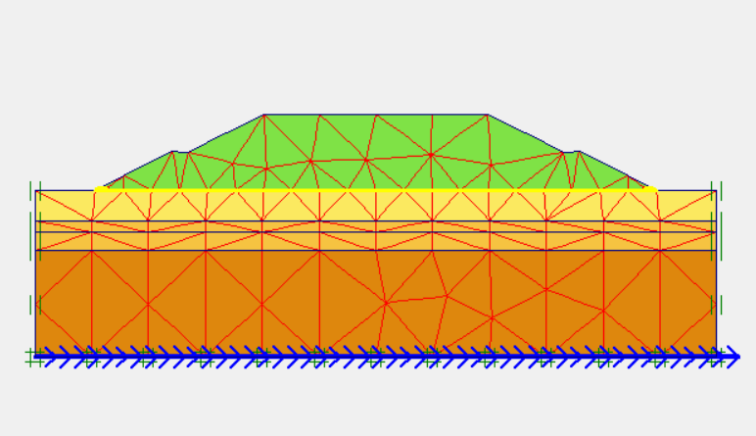
5.5.1. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Plaxis 8.6

Pemodelan lereng timbunan ini menggunakan beban yang bekerja diatasnya dan parameter tanah yang telah diuji di lab serta penambahan perkuatan geotekstil jenis *woven UW - 250*. Pemodelan dilakukan secara dua dimensi yang dapat dilihat pada Gambar 5.51 berikut.



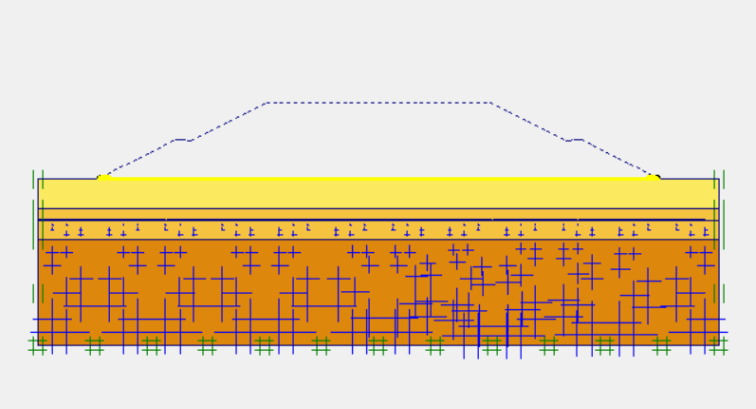
Gambar 5.51 Permodelan Lereng Timbunan 10m Dengan Perkuatan

Setelah pemodelan selesai maka dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari penyusunan jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.52 berikut.

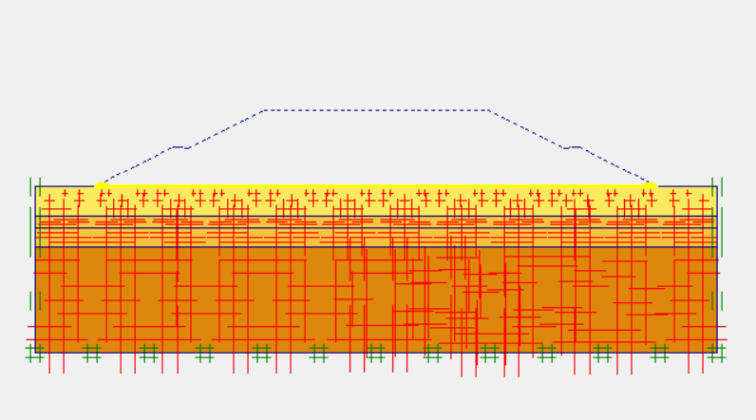


Gambar 5.52 *Meshing* Lereng Timbunan 10m Dengan Perkuatan

Setelah *meshing* selesai dilakukan dilanjutkan dengan *initial condition.* Pada data hasil boring proyek didapatkan muka air tanah berada pada kedalaman 5,5 m dari permukaan tanah asli, maka selanjutnya dilakukan *generate water pressures* sesuai dengan data muka air tanah. Hasil dari *generate water pressures* dan *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 berikut ini.



Gambar 5.53 *Generate Water Pressures* Lereng Timbunan 10m Dengan Perkuatan

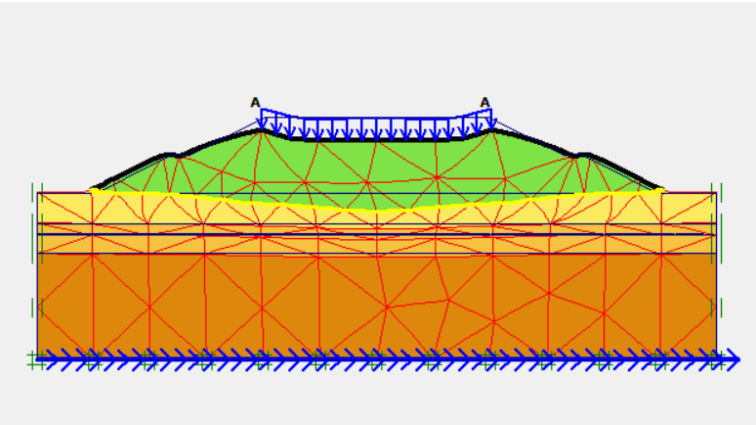


Gambar 5.54 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 10m Dengan Perkuatan

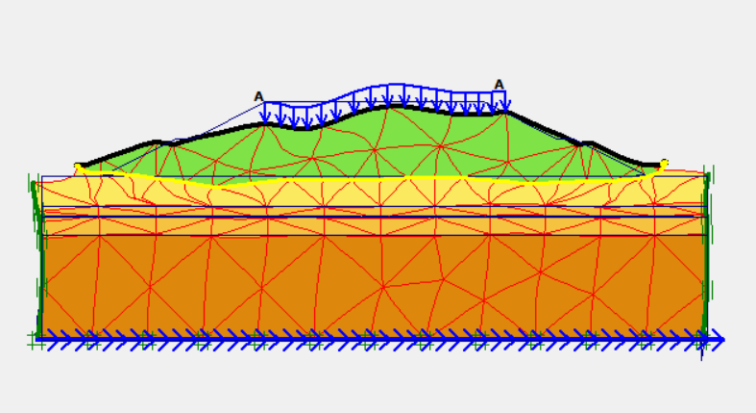
Hasil Perhitungan analisis lereng timbunan dengan adanya perkuatan pada program *Plaxis 8.6* seperti berikut ini.

1. *Deformed Mesh*

   Hasil dari *deformed mesh* yang didapatkan dari analisis menggunakan perkuatan adalah nilai *extreme total displacement* akibat adanya beban merata sebesar 29,20x10^{-3} m, sedangkan dengan adanya penambahan parameter beban gempa sebesar 63,58x10^{-3} m seperti Gambar 5.55 dan Gambar 5.56 berikut ini.



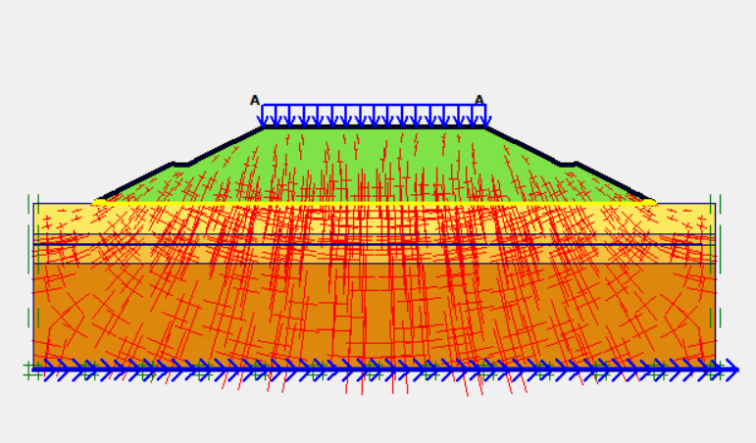
Gambar 5.55 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



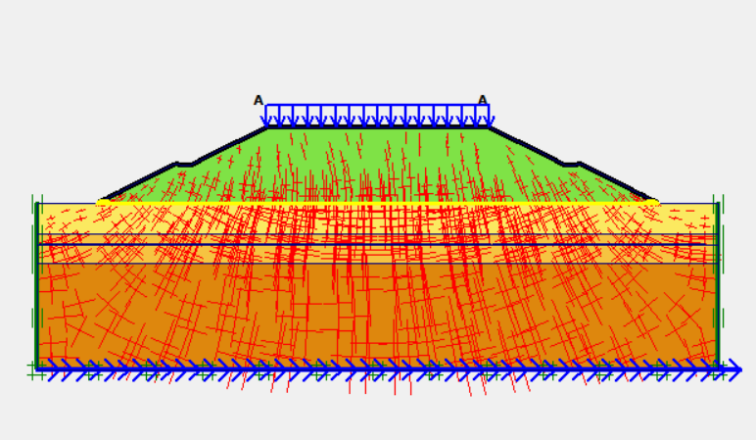
Gambar 5.56 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

2. *Effective Stress*

   Nilai dari *effective stresses* dengan adanya perkuatan pada lereng asli akibat beban merata sebesar -247,27 kN/m^2, sedangkan akibat beban gempa sebesar -250,01 kN/m^2. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 berikut ini.



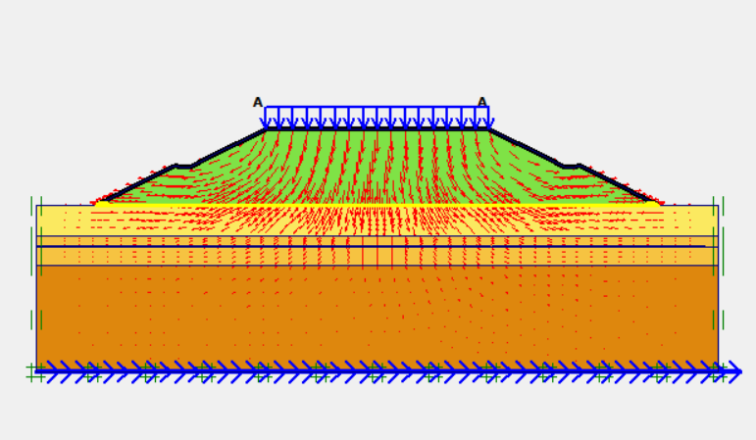
Gambar 5.57 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



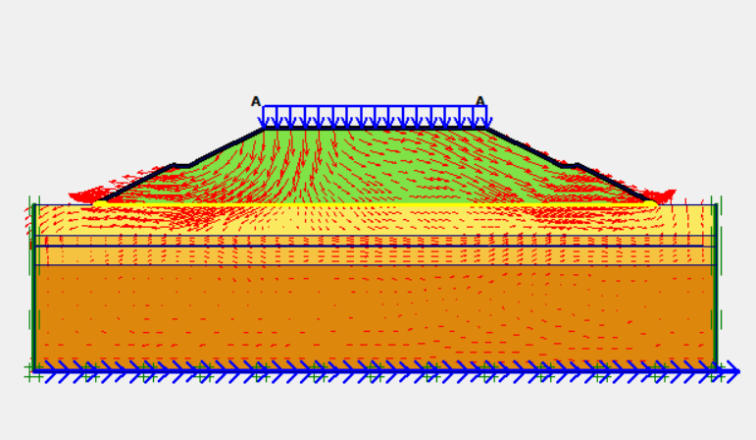
Gambar 5.58 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

3. Arah Pergerakan Tanah

   Gambar hasil pengujian *Plaxis* terhadap nilai arah pergerakan tanah pada lereng timbunan dengan tanah asli yang diberikan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.59 dan Gambar 5.60 berikut ini.



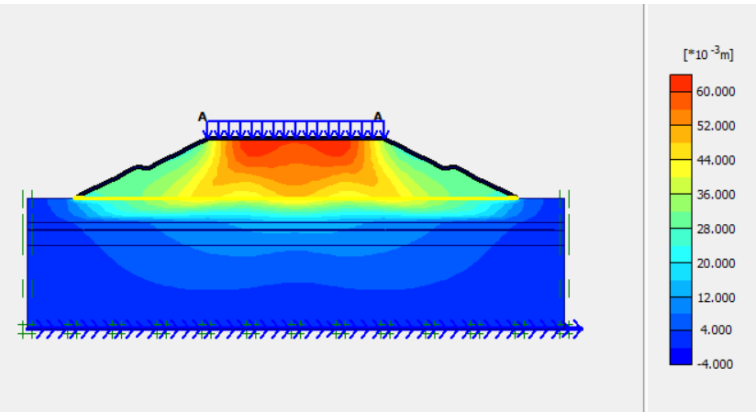
Gambar 5.59 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



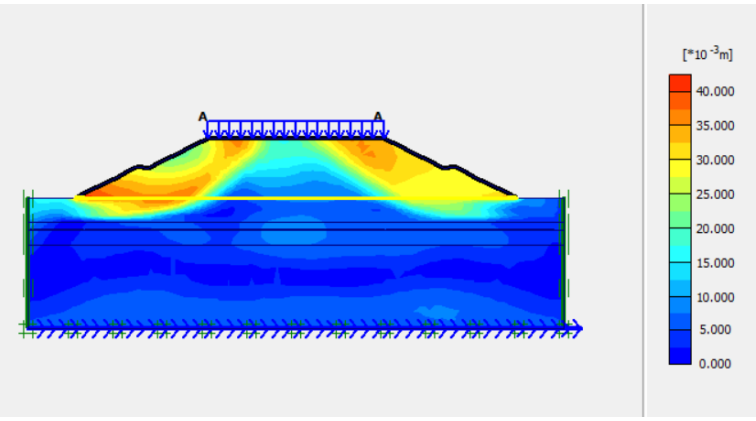
Gambar 5.60 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

4. *Total Displacement*

   Nilai *total displacement* pada lereng timbunan dengan tanah asli yang diberikan perkuatan didapatkan akibat adanya beban merata sebesar 29,20x10^{-3} m, sedangkan akibat penambahan parameter beban gempa sebesar 63,58x10^{-3} m. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.61 dan Gambar 5.62 berikut.

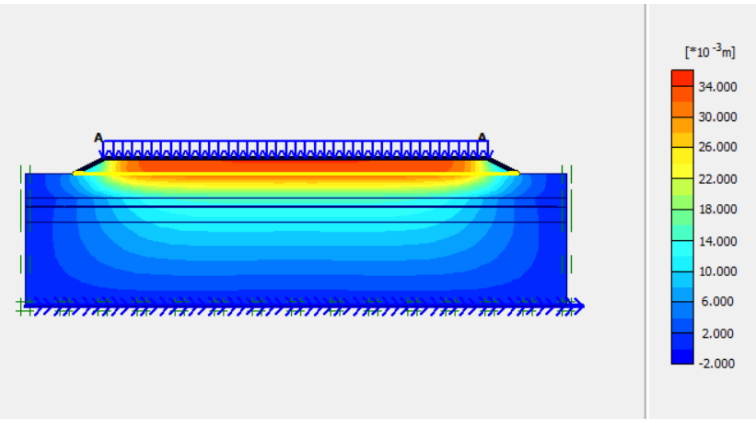


Gambar 5.61 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan

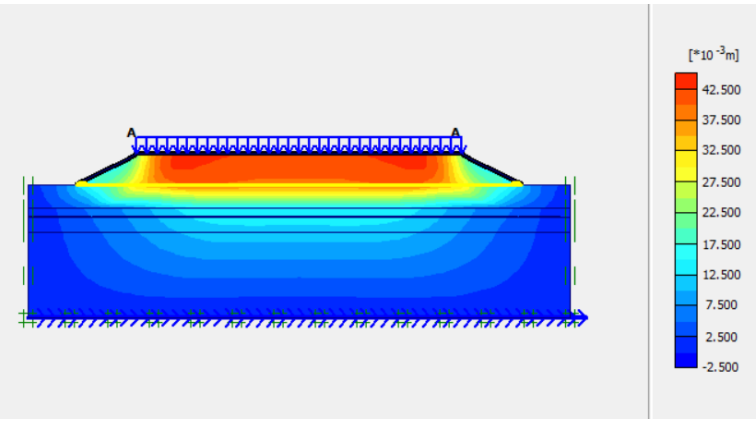


Gambar 5.62 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

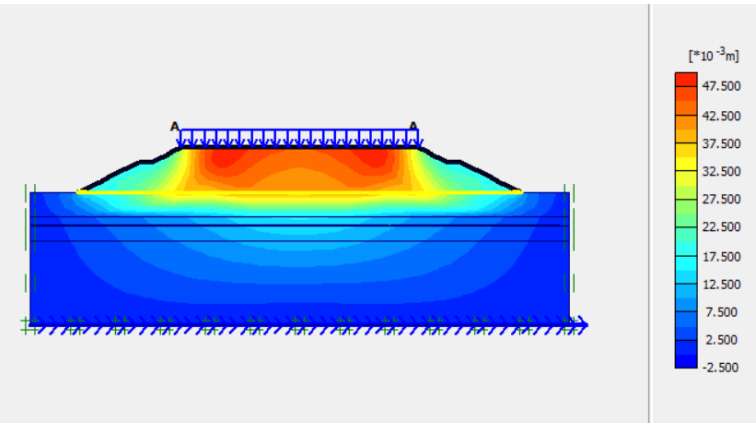
Sedangkan nilai *total displacement* untuk variasi timbunan dengan tinggi 2,5 m, 5 m dan 7,5 m dapat dilihat untuk beban merata pada Gambar 5.63, Gambar 5.64 dan Gambar 5.65, sedangkan untuk beban gempa pada Gambar 5.66, Gambar 5.67 dan Gambar 5.68 berikut.



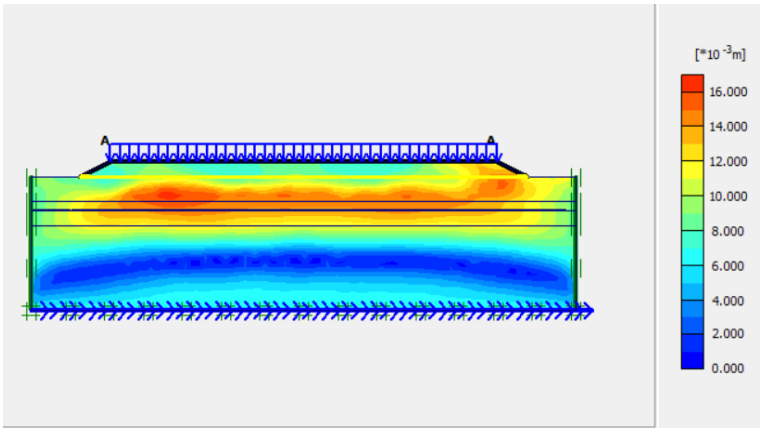
Gambar 5.63 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



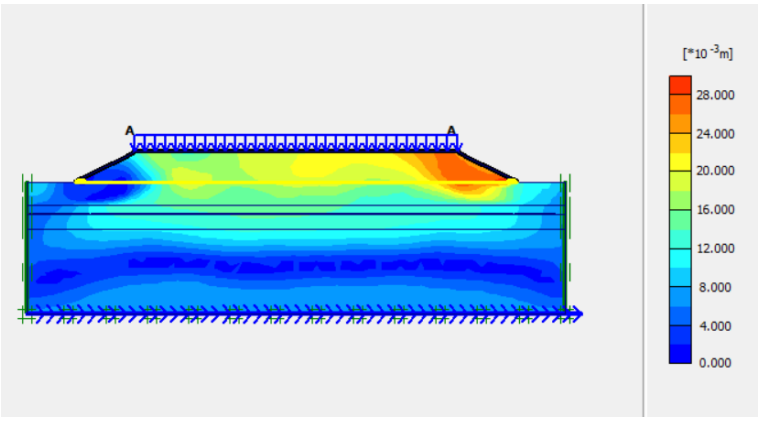
Gambar 5.64 *Total Displacement* Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



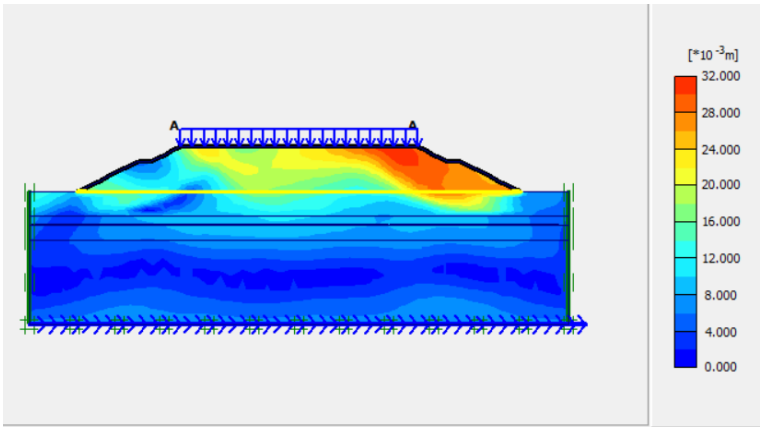
Gambar 5.65 *Total Displacement* Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



Gambar 5.66 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

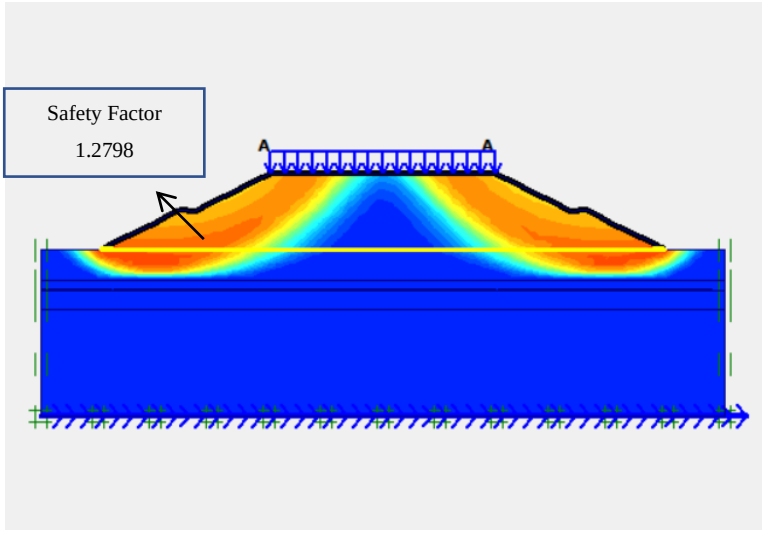


Gambar 5.67 *Total Displacement* Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

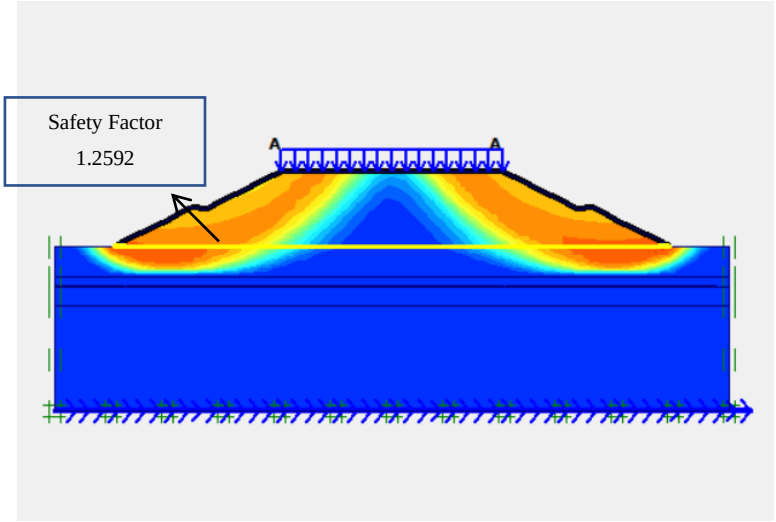


Gambar 5.68 *Total Displacement* Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

Area kelongsoran yang terjadi pada lereng timbunan dengan tinggi 10m dapat dilihat pada Gambar 5.69 akibat beban merata dan Gambar 5.70 akibat beban gempa.

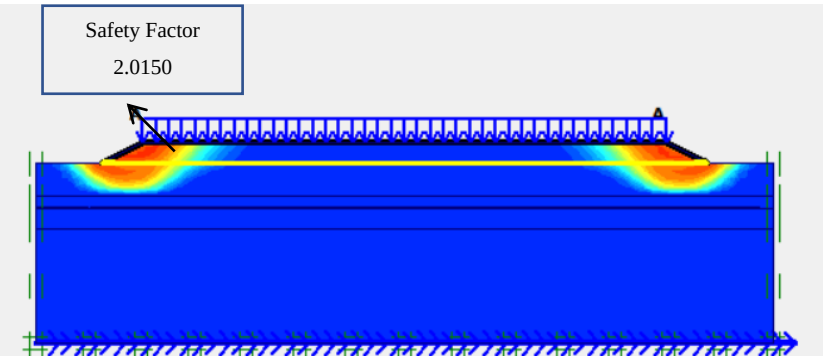


Gambar 5.69 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan

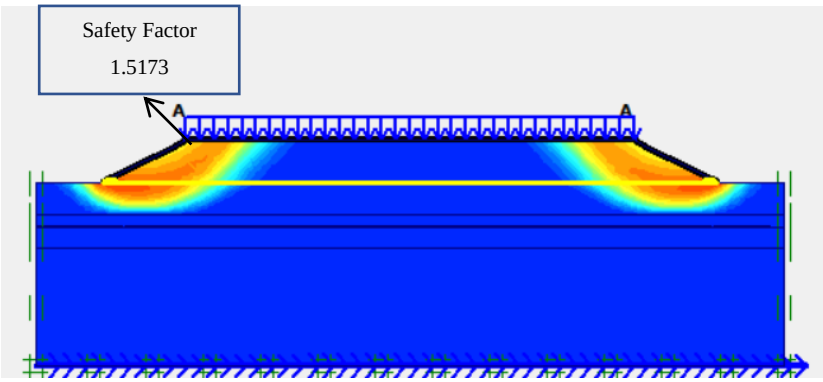


Gambar 5.70 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

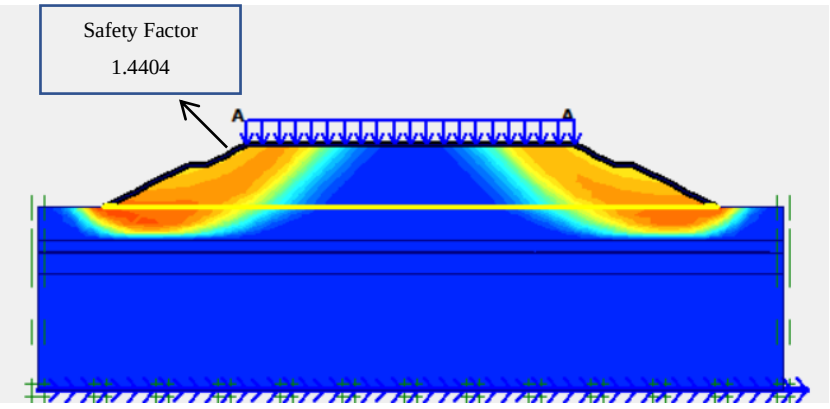
Sedangkan area kelongsoran yang terjadi pada variasi timbunan dengan tinggi 2,5 m, 5 m dan 7,5 m dapat dilihat untuk beban merata pada Gambar 5.71, Gambar 5.72 dan Gambar 5.73, sedangkan untuk beban gempa pada Gambar 5.74, Gambar 5.75 dan Gambar 5.76 berikut.



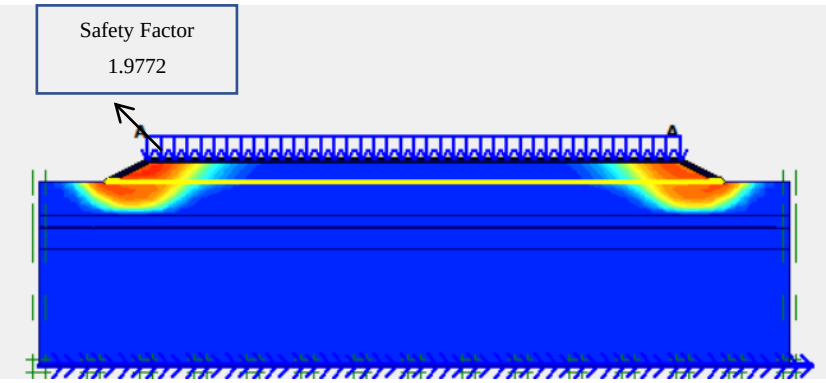
Gambar 5.71 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



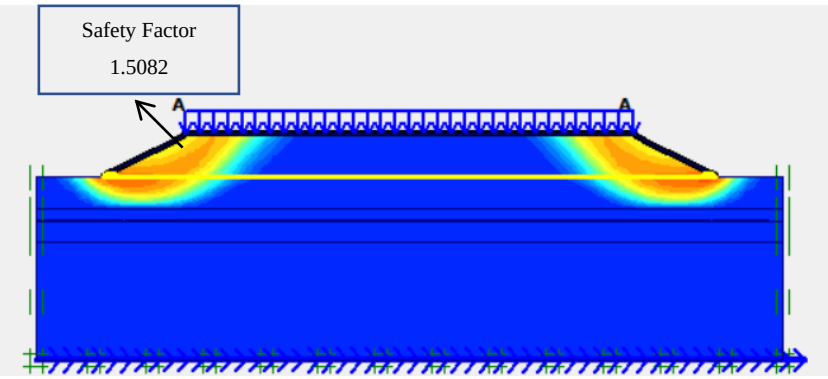
Gambar 5.72 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



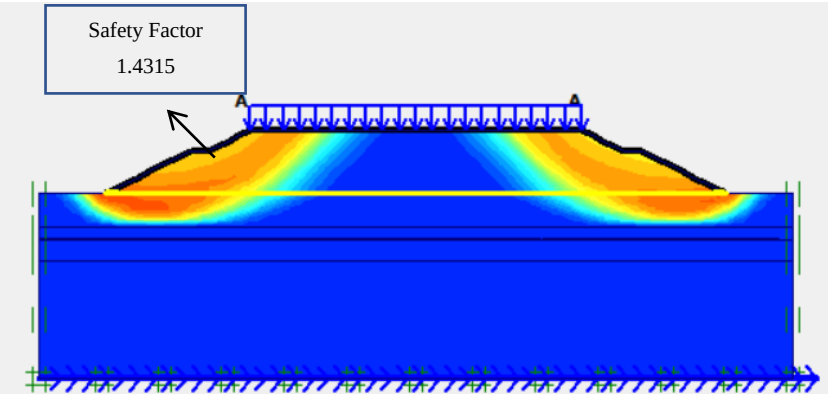
Gambar 5.73 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



Gambar 5.74 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan



Gambar 5.75 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan



Gambar 5.76 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

5. Rekapitulasi Angka Keamanan dan Nilai Konsolidasi

Nilai angka aman dan nilai penurunan konsolidasi pada lereng timbunan bervariasi dari 2,5m, 5m, 7,5m sampai 10m yang diberikan perkuatan 1 lapis geotekstil diatas permukaan tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor*

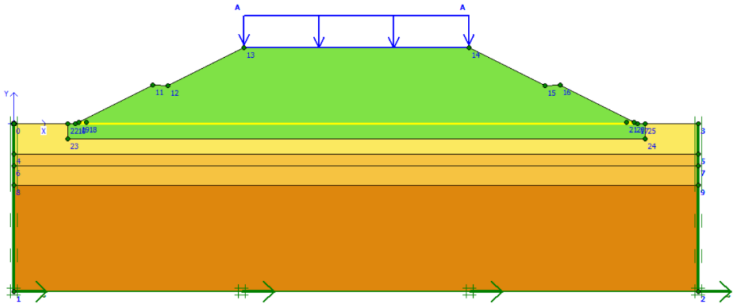
REKAPITULASI ANGKA AMAN HASIL ANALISIS PLAXIS 8.6		
JENIS ANALISIS	KONDISI LERENG TANAH ASLI DENGAN PERKUATAN	
	BEBAN MERATA	BEBAN GEMPA
Timbunan 2,5 m	2.0150	1.9772
Timbunan 5 m	1.5173	1.5082
Timbunan 7,5 m	1.4404	1.4315
Timbunan 10 m	1.2798	1.2592

Tabel 5.13 Rekapitulasi Nilai *Consolidation Analysis*

REKAPITULASI KONSOLIDASI HASIL ANALISIS *PLAXIS 8.6*				
JENIS ANALISIS	NILAI KONSOLIDASI KONDISI LERENG TANAH ASLI DENGAN PERKUATAN			
	1 Hari Beban Merata	1 Hari Beban Gempa	1 Tahun	SATUAN
Timbunan 2,5 m	0.01438	0.03418	0.01669	M
Timbunan 5 m	0.02062	0.04365	0.02920	M
Timbunan 7,5 m	0.02396	0.04937	0.03134	M
Timbunan 10 m	0.02920	0.06358	0.04143	M

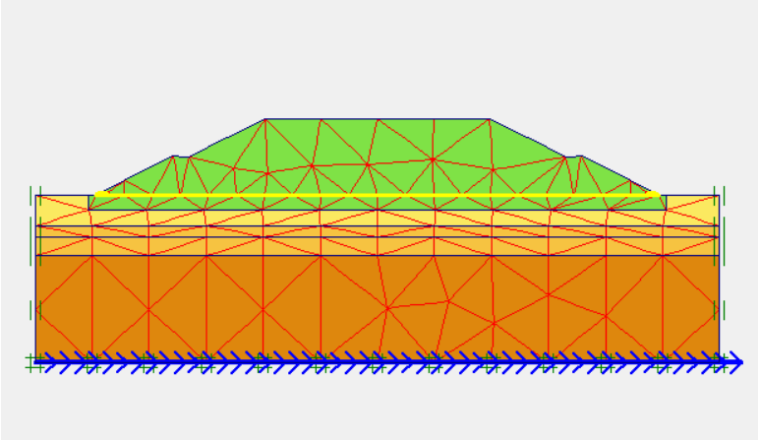
5.5.2. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Tanah Replacement Menggunakan Plaxis 8.6

Pemodelan lereng timbunan ini menggunakan beban yang bekerja diatasnya dan parameter tanah yang telah diuji di lab. Pemodelan dilakukan secara dua dimensi yang dapat dilihat pada Gambar 5.77 berikut.



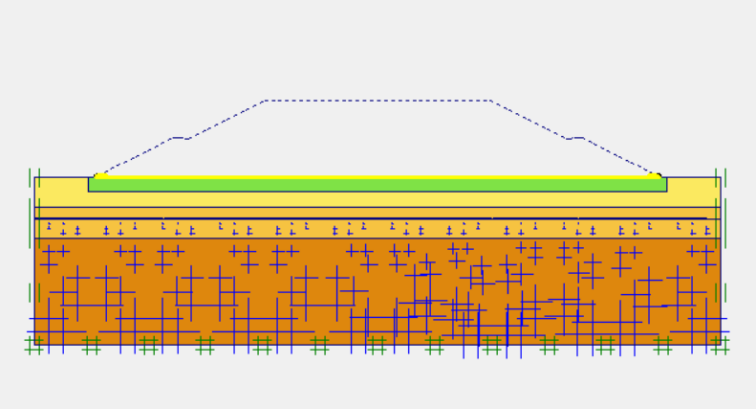
Gambar 5.77 Permodelan Lereng Timbunan 10m *Replacement* Dengan Perkuatan

Setelah pemodelan selesai maka dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari penyusunan jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.78 berikut.

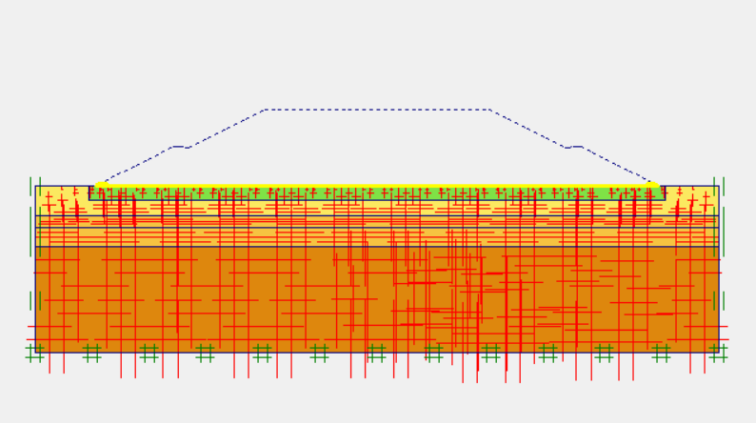


Gambar 5.78 *Meshing* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Dengan Perkuatan

Setelah *meshing* selesai dilakukan dilanjutkan dengan *initial condition.* Pada data hasil boring proyek didapatkan muka air tanah berada pada kedalaman 5,5 m dari permukaan tanah asli, maka selanjutnya dilakukan *generate water pressures* sesuai dengan data muka air tanah. Hasil dari *generate water pressures* dan *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.79 dan Gambar 5.80 berikut ini.



Gambar 5.79 *Generate Water Pressures* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Dengan Perkuatan

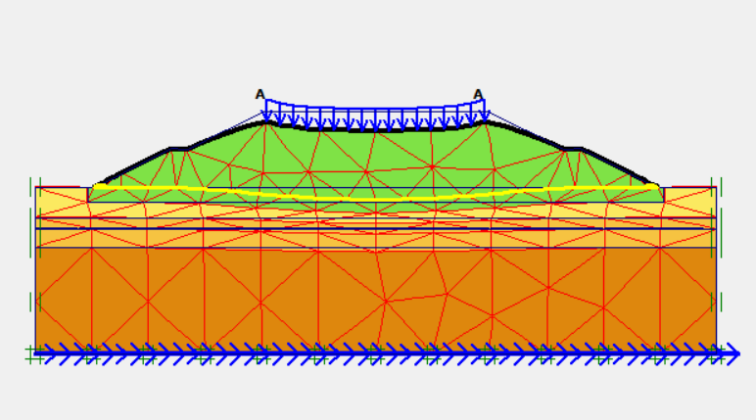


Gambar 5.80 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Dengan Perkuatan

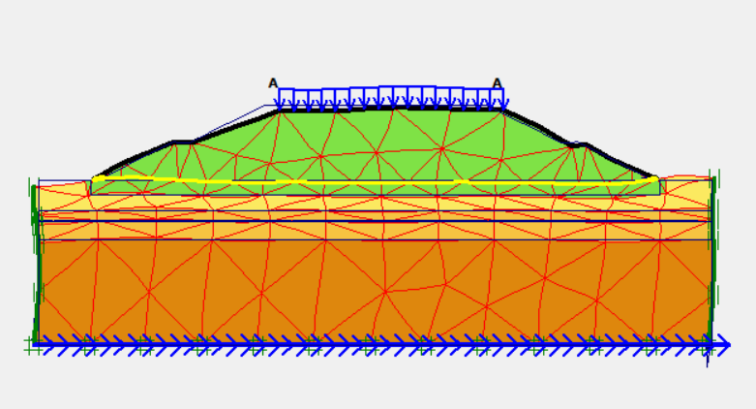
Hasil Perhitungan analisis lereng timbunan dengan *replacement* yang diberikan sebesar 2m galian dan timbunan pada tanah asli serta diberikan perkuatan geotekstil jenis *woven* 1 lapis pada permukaan tanah asli pada program *Plaxis 8.6* seperti berikut ini.

1. *Deformed Mesh*

   Hasil dari *deformed mesh* pada lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah asli yang didapatkan dari analisis menggunakan perkuatan adalah nilai *extreme total displacement* akibat adanya beban merata sebesar $13{,}06 \times 10^{-3}$ m, sedangkan dengan adanya penambahan parameter beban gempa sebesar $50{,}87 \times 10^{-3}$ m seperti Gambar 5.81 dan Gambar 5.82 berikut ini.



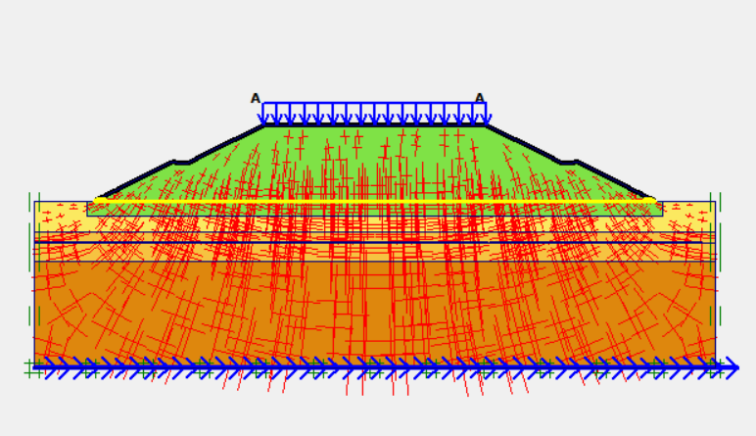
Gambar 5.81 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



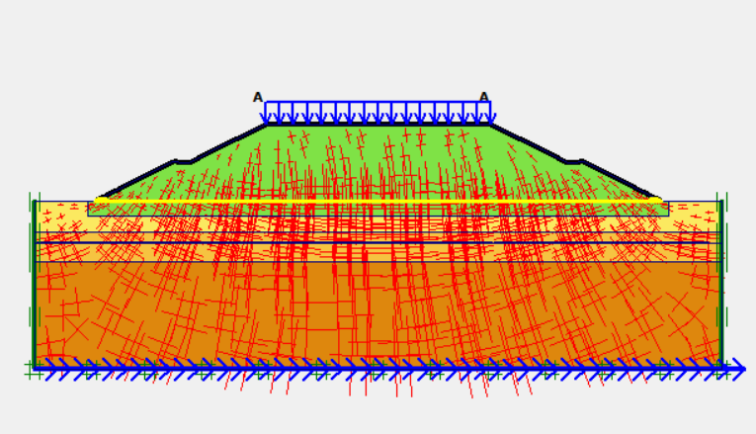
Gambar 5.82 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

2. *Effective Stress*

   Nilai dari *effective stresses* pada lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah asli yang didapatkan dari analisis menggunakan perkuatan akibat beban merata sebesar -265,73 kN/m^2, sedangkan akibat beban gempa sebesar -267,22 kN/m^2. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.83 dan Gambar 5.84 berikut ini.



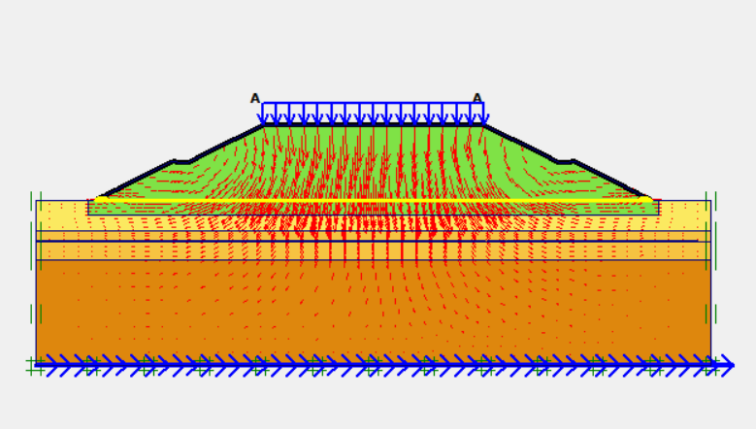
Gambar 5.83 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



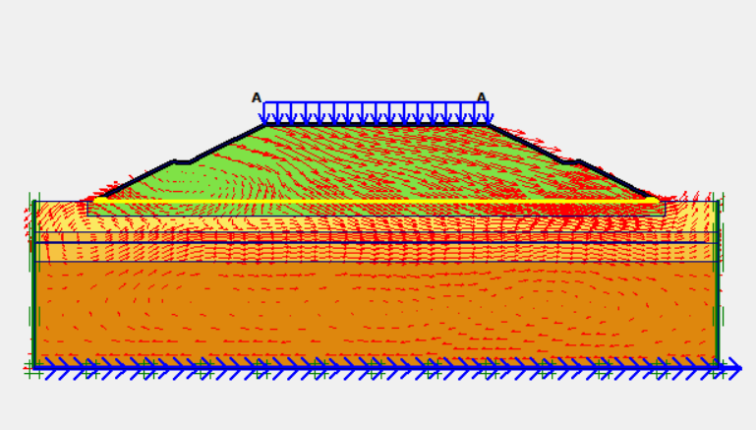
Gambar 5.84 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

3. Arah Pergerakan Tanah

   Gambar hasil pengujian *Plaxis* terhadap nilai arah pergerakan tanah pada lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah asli yang diberikan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.85 dan Gambar 5.86 berikut ini.



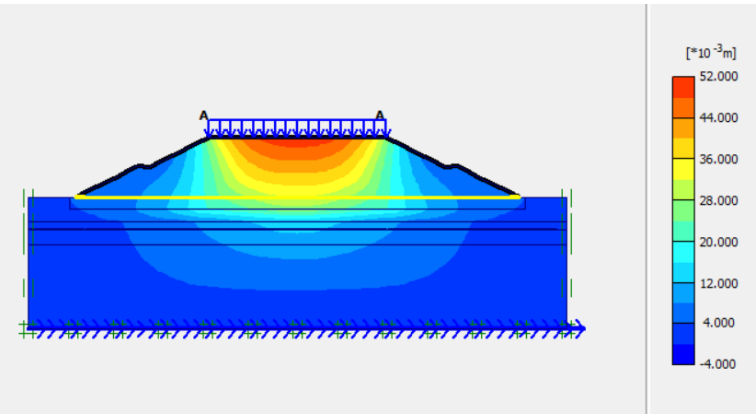
Gambar 5.85 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



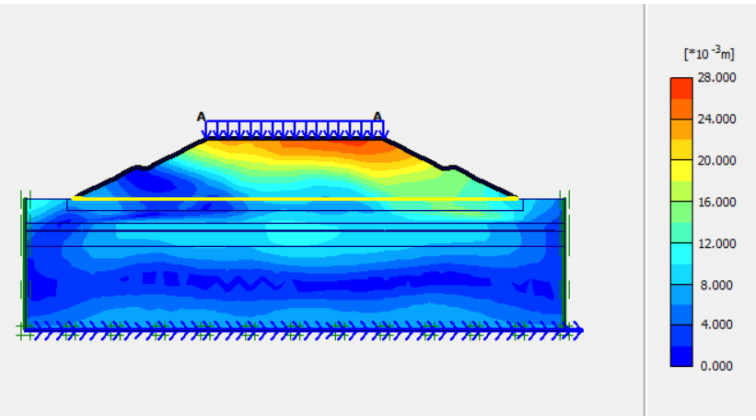
Gambar 5.86 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

4. *Total Displacement*

   Nilai *total displacement* pada lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah asli yang diberikan perkuatan didapatkan akibat adanya beban merata sebesar $13{,}06 \times 10^{-3}$ m, sedangkan akibat penambahan parameter beban gempa sebesar $50{,}87 \times 10^{-3}$ m. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.87 dan Gambar 5.88 berikut.

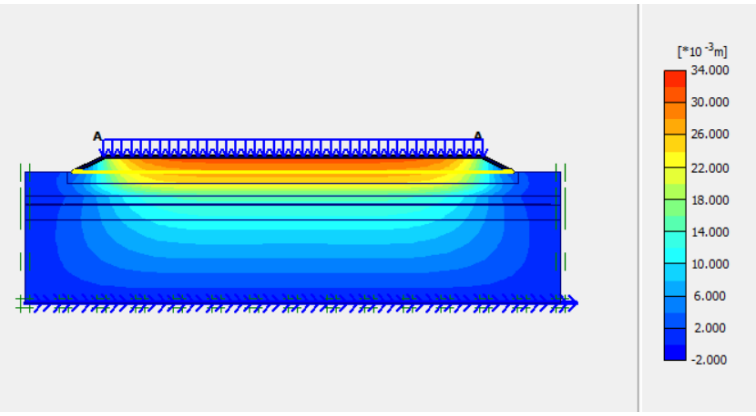


Gambar 5.87 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan

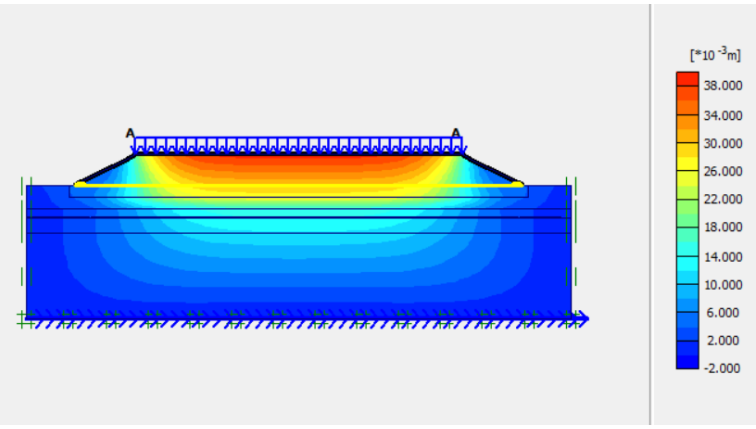


Gambar 5.88 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m *Replacement* Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

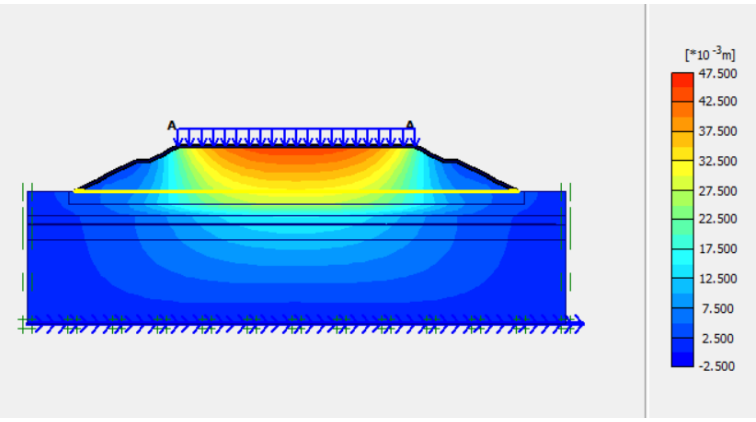
Sedangkan nilai *total displacement* untuk variasi timbunan dengan tinggi 2,5 m, 5 m dan 7,5 m dapat dilihat untuk beban merata pada Gambar 5.89, Gambar 5.90 dan Gambar 5.91, sedangkan untuk beban gempa pada Gambar 5.92, Gambar 5.93 dan Gambar 5.94 berikut.



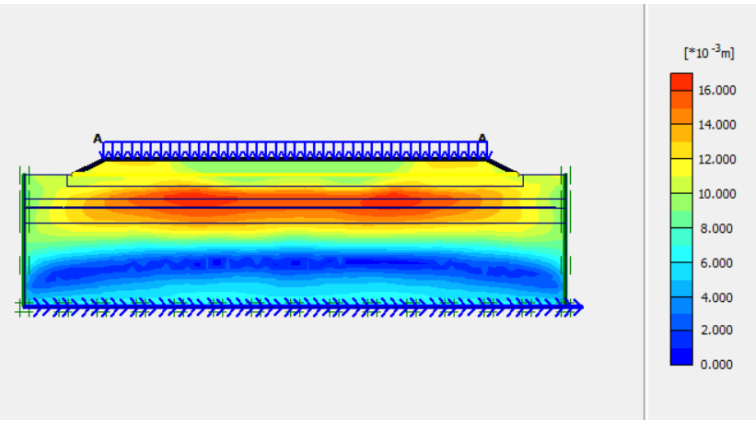
Gambar 5.89 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2,5m *Replacement* Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



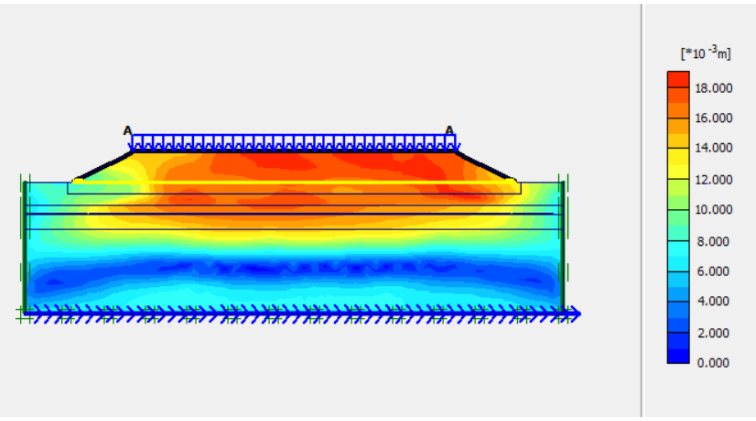
Gambar 5.90 *Total Displacement* Lereng Timbunan 5m *Replacement* Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



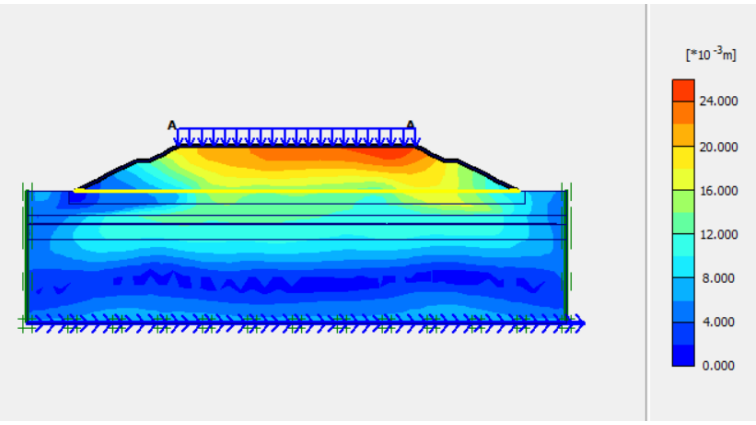
Gambar 5.91 *Total Displacement* Lereng Timbunan 7,5m *Replacement* Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



Gambar 5.92 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2,5m *Replacement* Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

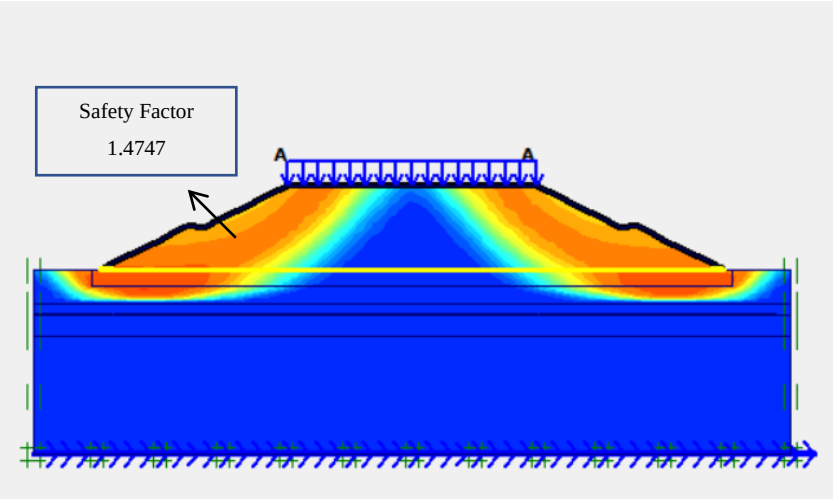


Gambar 5.93 *Total Displacement* Lereng Timbunan 5m *Replacement* Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

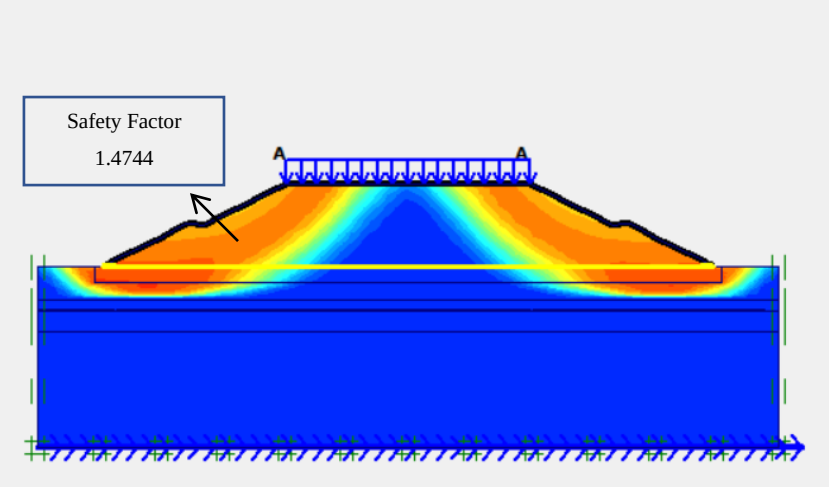


Gambar 5.94 *Total Displacement* Lereng Timbunan 7,5m *Replacement* Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

Area kelongsoran yang terjadi pada lereng timbunan dengan tinggi 10m dapat dilihat pada Gambar 5.95 akibat beban merata dan Gambar 5.96 akibat beban gempa.

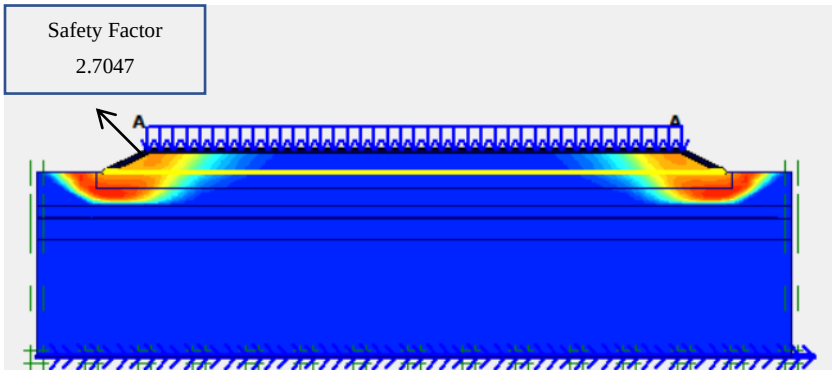


Gambar 5.95 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan

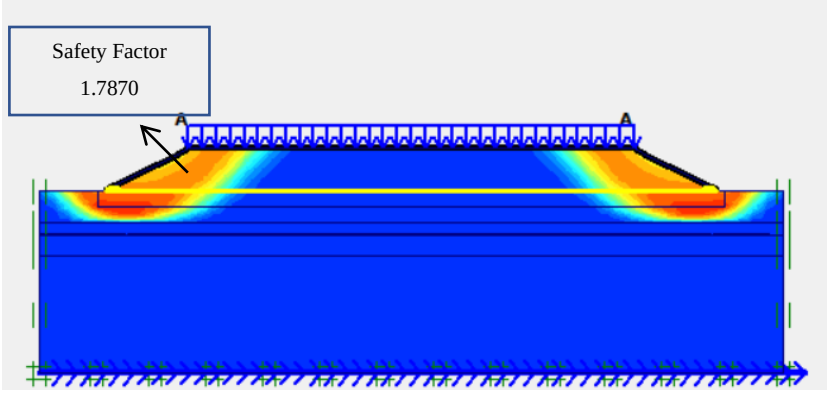


Gambar 5.96 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

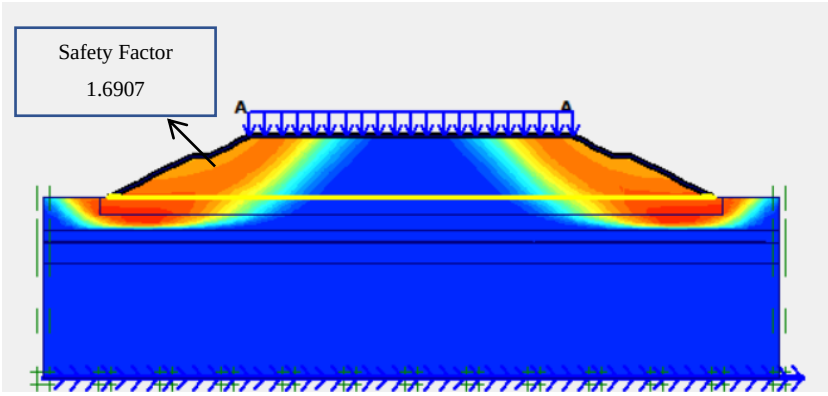
Sedangkan area kelongsoran yang terjadi pada variasi timbunan dengan tinggi 2,5 m, 5 m dan 7,5 m dapat dilihat untuk beban merata pada Gambar 5.97, Gambar 5.98 dan Gambar 5.99, sedangkan untuk beban gempa pada Gambar 5.100, Gambar 5.101 dan Gambar 5.102 berikut.



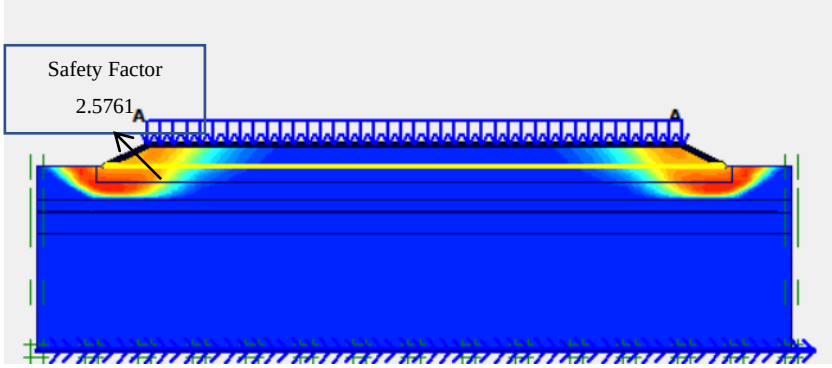
Gambar 5.97 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



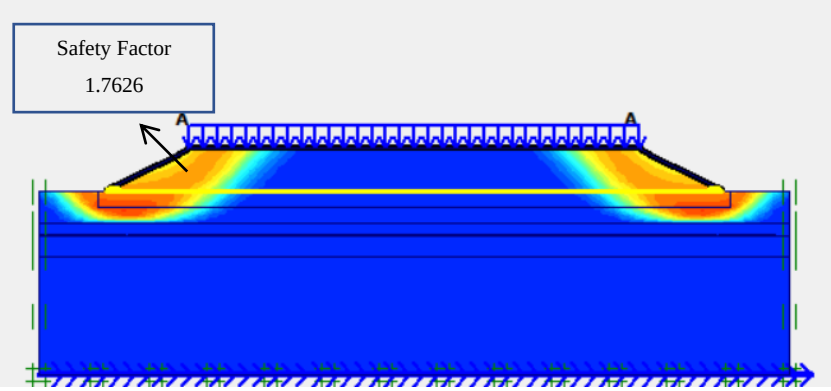
Gambar 5.98 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



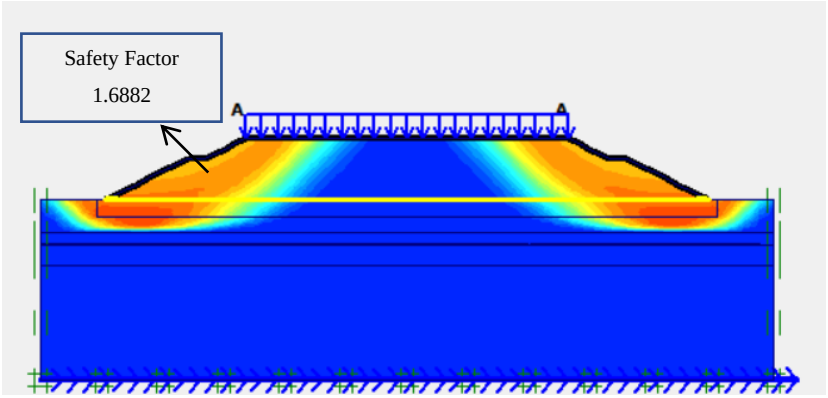
Gambar 5.99 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 7,5m Akibat Beban Merata Dengan Perkuatan



Gambar 5.100 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan



Gambar 5.101 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan



Gambar 5.102 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan

6. Rekapitulasi Angka Keamanan dan Nilai Konsolidasi

   Nilai angka aman dan nilai penurunan konsolidasi pada lereng timbunan dengan tanah *replacement* yang bervariasi dari 2,5m, 5m, 7,5m sampai 10m

yang diberikan perkuatan 1 lapis geotekstil diatas permukaan tanah *replacement* dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor*

REKAPITULASI ANGKA AMAN HASIL ANALISIS PLAXIS 8.6		
JENIS ANALISIS	KONDISI LERENG TANAH *REPLACEMENT* DENGAN PERKUATAN	
	BEBAN MERATA	BEBAN GEMPA
Timbunan 2,5 m	2.7047	2.5761
Timbunan 5 m	1.7870	1.7626
Timbunan 7,5 m	1.6907	1.6882
Timbunan 10 m	1.4747	1.4744

Tabel 5.15 Rekpitulasi Nilai *Consolidation Analysis*

REKAPITULASI KONSOLIDASI HASIL ANALISIS *PLAXIS 8.6*				
JENIS ANALISIS	NILAI KONSOLIDASI KONDISI LERENG TANAH REPLACEMENT DENGAN PERKUATAN			
	1 Hari Beban Merata	1 Hari Beban Gempa	1 Tahun	SATUAN
Timbunan 2,5 m	0.00757	0.03198	0.01669	M
Timbunan 5 m	0.01060	0.03912	0.01873	M
Timbunan 7,5 m	0.01200	0.04524	0.02577	M
Timbunan 10 m	0.01306	0.05087	0.02703	M

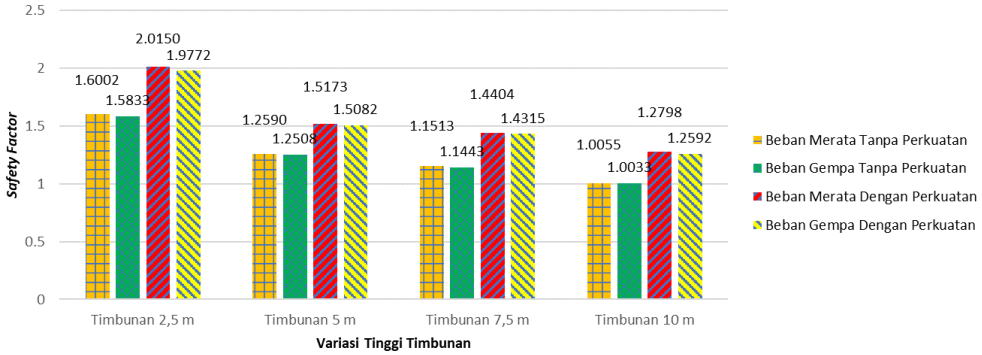
5.6. Pembahasan

5.6.1. Perbandingan Stabilitas Lereng Timbunan dengan Parameter Tanah Asli

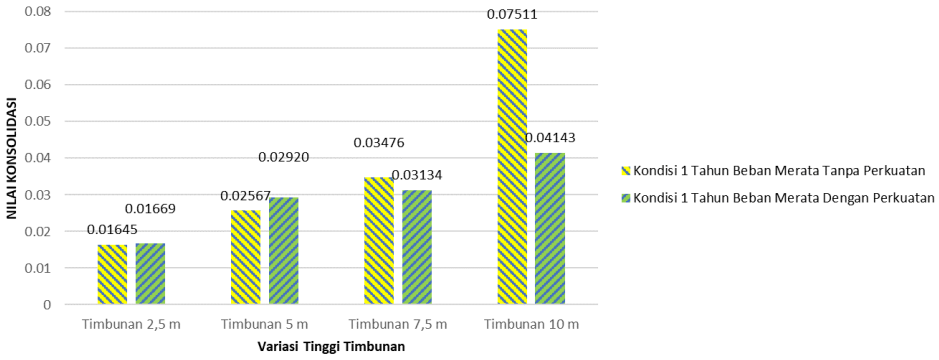
Penelitian mengenai analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan program *Plaxis 8.6* pada proyek Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh Seksi 6 ini dilakukan untuk dapat mengetahui nilai *safety factor.* Perhitungan yang dilakukan menggunakan parameter beban merata akibat adanya beban struktur dan beban lalu lintas kendaraan, serta parameter beban gempa yang sesuai dengan data zonasi gempa pada daerah Baitussalam Kabupaten Aceh Besar.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan didapatkan nilai *safety factor* pada lereng timbunan dengan tanah asli tanpa diberikan kekuatan akibat adanya beban merata dengan variasi tinggi timbunan, yaitu tinggi 2,5m, 5m, 7,5m dan 10m bertutrut sebesar 1,6002; 1,2590; 1,1513; 1,0055, sedangkan akibat adanya beban gempa sebesar 1,5833; 1,2508; 1,1443; 1,0033 karena nilai *safety factor* minimal yang disyaratkan adalah sebesar 1,25 oleh karena itu dibutuhkan perkuatan pada lereng dengan tinggi timbunan 7,5m dan 10m tersebut. lereng timbunan menggunakan perkuatan geotekstil membuat nilai *safety factor* yang lebih besar

dari yang disyaratkan. Pada analisis lereng timbunan bervariasi dengan tanah asli menggunakan perkuatan geotekstil didapatkan nilai *safety factor* akibat beban merata secara berturut sebesar 2,0150; 1,5173; 1,4404; 1,2798, sedangkan akibat adanya beban gempa secara berturut sebesar 1,9772; 1,5082; 1,4315; 1,2592.



Gambar 5.103 Perbandingan Safety Factor Dengan Variasi Tinggi Timbunan Kondisi Lereng Tanah Asli

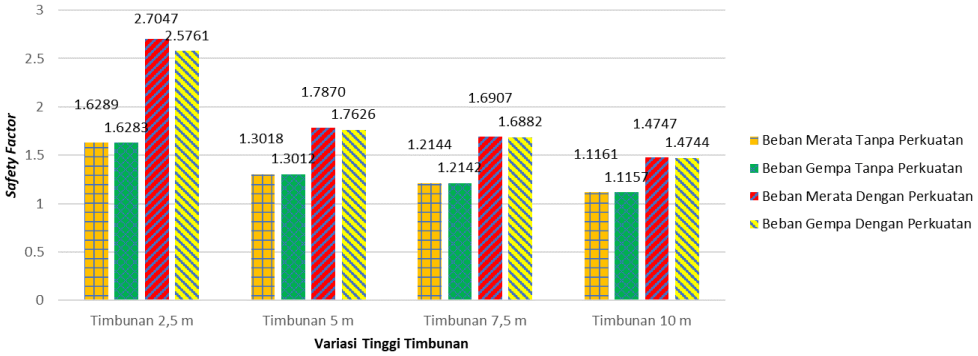


Gambar 5.104 Perbandingan Nilai Konsolidasi Dengan Variasi Tinggi Timbunan Kondisi Lereng Tanah Asli

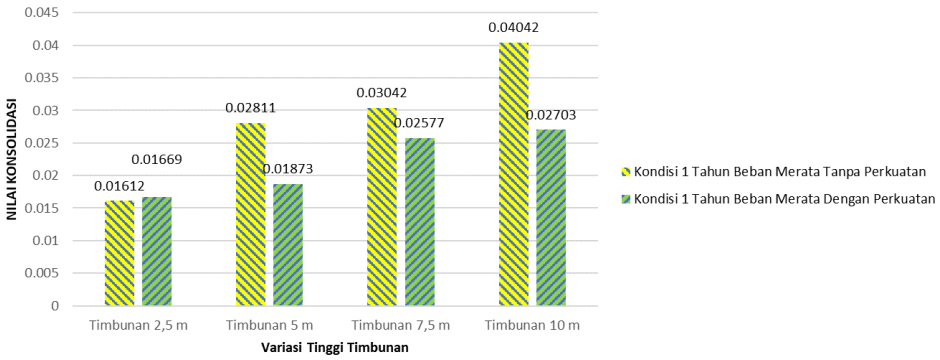
5.6.2. Perbandingan Stabilitas Lereng Timbunan dengan Parameter Tanah *Replacement*

Hasil dari analisis perhitungan pada lereng timbunan bervariasi ynag diberikan *replacement* pada tanah asli setebal 2 m tanpa adanya perkuatan didapatkan nilai *safety factor* akibat beban merata secara berturut sebesar 1,6289; 1,3018; 1,2144; 1,1161, sedangkan akibat beban gempa secara berturut sebesar 1,6283; 1,3012; 1,2142; 1,1157. Karena nilai *safety factor* minimal yang disyaratkan adalah sebesar 1,25 oleh karena itu dibutuhkan perkuatan pada lereng yang telah diberikan *replacement* dengan tinggi timbunan 7,5m dan 10m tersebut. Analisis yang

dilakukan pada lereng timbunan ynag diberikan *replacement* pada tanah asli setebal 2 m dengan menggunakan perkuatan geotekstil nilai *safety factor* pada lereng timbunan bervariasi dari 2,5m, 5m, 7,5m, dan 10m dengan replacement dan penambahan perkuatan geotekstil yang didapat akibat beban merata secara berturut sebesar 2,7047; 1,7870; 1,6907; 1,4747, sedangkan akibat beban gempa secara berturut sebesar 2,5761; 1,7626; 1,6882; 1,4744.



Gambar 5.105 Perbandingan Safety Factor Dengan Variasi Tinggi Timbunan Kondisi Lereng Tanah Replacement



Gambar 5.106 Perbandingan Nilai Konsolidasi Dengan Variasi Tinggi Timbunan Kondisi Lereng Tanah Replacement

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sebagai berikut.

1. Hasil Analisis stabilitas lereng timbunan dengan ketinggian bervariasi dari 2,5m, 5m, 7,5m, dan 10m dengan tanah asli tanpa adanya perkuatan didapatkan nilai angka aman akibat adanya beban merata secara berturut maupun beban gempa secara berturut sebesar 1,6002; 1,2590; 1,1513; 1,0055 dan beban gempa 1,5833; 1,2508; 1,1443; 1,0033, sedangkan pada analisis lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah asli didapatkan angka aman akibat adanya beban merata maupun beban gempa secara berturut sebesar 1,6289; 1,3018; 1,2144; 1,1161 dan beban gempa 1,6283; 1,3012; 1,2142; 1,1157. Kemudian untuk nilai penurunan konsolidasi pada lereng timbunan dengan ketinggian bervariasi dari 2,5m, 5m, 7,5m, dan 10m dengan tanah asli yang diestimasikan dalam kurun waktu satu tahun secara berturut sebesar 0,01645 m; 0,02567 m; 0,03476 m; 0,07511 m, sedangkan pada analisis lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah asli didapatkan nilai penurunan konsolidasi secara berturut sebesar 0,01612 m; 0,02811 m; 0,03042 m; 0,04042 m. Maka dapat disimpulkan bahwa pada lereng timbunan dengan tinggi 2,5m dan 5m tidak diperlukan adanya penambahan perkuatan hal ini disebabkan karena nilai *safety factor* dari lereng timbunan tersebut sudah memenuhi syarat yaitu 1,25.
2. Hasil Analisis stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil satu lapis pada timbunan dengan tanah asli didapatkan angka aman akibat beban merata maupun beban gempa pada tinggi 7,5m sebesar 1,4404 dan 1,4315, pada lereng timbunan dengan tinggi 10m didapatkan nilai *safety factor* akibat beban merata mauapun beban gempa sebesar 1,2798 dan 1,2592. Kemudian pada analisis lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah asli yang ditambahkan

perkuatan geotekstil satu lapis didapatkan nilai angka aman dengan tinggi timbunan 7,5m akibat adanya beban merata maupun beban gempa sebesar 1,6907 dan 1,6882, pada lereng timbunan dengan tinggi 10m didapatkan nilai *safety factor* akibat beban merata maupun beban gempa sebesar 1,4747 dan 1,4744. Kemudian untuk nilai penurunan konsolidasi pada lereng timbunan dengan tanah asli didapatkan pada tinggi timbunan 7,5m sebesar 0,03134 m dan pada ketinggian timbunan 10m sebesar 0,04143 m, sedangkan pada lereng timbunan dengan *replacement* pada tanah asli didapatkan pada tinggi timbunan 7,5m sebesar 0,02577 m dan pada ketinggian timbunan 10m sebesar 0,02703 m.

3. Hasil analisis stabilitas lereng dengan tanah yang diberikan *replacement* pada tanah asli setebal 2 m menghasilkan nilai angka aman yang lebih besar daripada lereng dengan tanah asli. Selisih perbedaan angka aman antara lereng timbunan memakai tanah asli dengan lereng timbunan memakai *replacement* pada tanah asli yaitu sebesar 0,1, dan pada saat setelah menggunakan perkuatan selisih antara lereng tanah asli dengan lereng *replacement* semakin besar. Sedangkan pada konsolidasi yang telah dianalisis pada lereng tanah asli terjadi penurunan yang lebih besar daripada lereng yang diberikan *replacement.*

6.2. Saran

Berdasarkan hasil studi kasus dari penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Parameter tanah menggunakan variasi nilai berat jenis tanah (γb), kohesi (c), atau kuat geser tanah (φ), untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter tanah pada stabilitas lereng.
2. Pada Penelitian ini saat melakukan analisis hanya menganalisis menggunakan satu perkuatan jenis geotekstil, untuk penelitian lebih lanjut dapat dipertimbangkan untuk menggunakan parameter perkuatan tambahan atau pengganti seperti dinding penahan tanah, *sheet pile, borepile*, maupun perkuatan lainnya.

3. Bagi Peneliti yang akan melakukan penelitian lebih lanjut selain memberikan perkuatan pada timbunan dapat dipertimbangkan untuk menggunakan alternatif zat aditif sebagai bahan tambah stabilitas tanah.

DAFTAR PUSTAKA

1726:2019, S. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. In *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.

Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Terjemahan. Erlangga. Jakarta.

Cruden, (1991), *A Simple Definition of a Landslide, Bulletin of the International Association of Engineering Geology*.

Das, B.M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis).* Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Das, B.M. (1995). *Mekanika Tanah I*. Erlangga. Jakarta.

Gati, B.M. (2018), Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan Dan Prediksi Timbunan Yang Terjadi Menggunakan Program *Plaxis.* dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (1994). Mekanika Tanah 2. Edisi Pertama. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Hardiyatmo, H.C. (1996). Mekanika Tanah I. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2002). Mekanika Tanah I. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2003). Mekanika Tanah II. Edisi Ke III Gadjah Mada University Press. Yogyakarta

Hardiyatmo, H.C. (2006). Mekanika Tanah I. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2008). *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya.* Edisi Pertama. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah 1*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi I.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hediyanto, R. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan *Sheetpile* Pada Bantaran Sungai Code. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

Herman, (tanpa tahun). Bahan Ajar Mekanika Tanah II. Institut Teknologi Padang. Padang

Isparmo, 2010. Geotextile Woven, Definisi dan Fungsi. (http://geotextile.web.id//geotextile-woven-definisi-dan-fungsi.html. Diakses 15 November 2020).

Kurniawan, D. (2019). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Sheet pile Baja pada Lereng Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+850 – 3+050. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

Purwanto, Edy. (2012). *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

PT. Cave Sumber Berkat. (Tanpa Tahun). Technical Spesification. Geotextile Non – Woven.

PT. Geocon Rekacipta. (2020). Data Soil Properties Borlog BH – 75 Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh STA 72+600. Aceh

PT. Geocon Rekacipta. (2019). Data Borlog BH – 75 Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh STA 72+600. Aceh

PT. Hutama Karya. (2020). Data Cross Section Seksi 6 Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh STA 72+600. Aceh

PT. Hutama Karya. (2020). Data Soil Properties Common Borrow Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh STA 72+600. Aceh

PUSKIM. 2014. Peta Zonasi Gempa. (http://puskim.pu.go.id/peta-zonasi-gempa/). Diakses 17 November 2020.

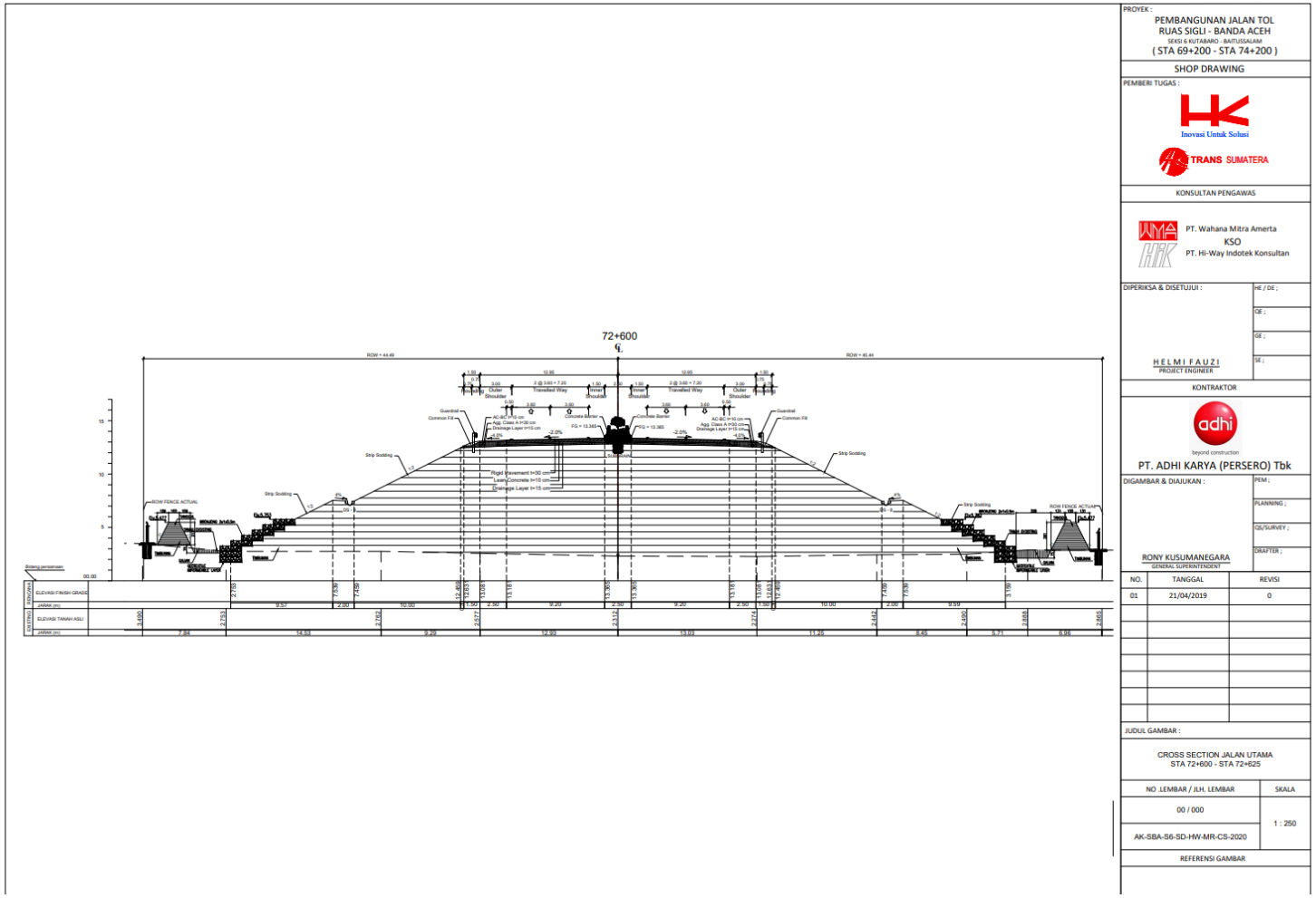
Qayyim, A.I. (2021). Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *PLAXIS* Pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA 3+550. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

Sekarti, D.N.A. (2018). Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga – Kartasura. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

Sosrodarsono, Sunyono, Ir. dan Nakazawa , K. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Geometri Potongan Melintang



Lampiran 2 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah Timbunan

PEMBANGUNAN JALAN TOL RUAS SIGLI - BANDA ACEH
(STA. 00 + 000 S/D STA. 74 + 214)

TRANS SUMATERA

SUMMARY OF LABORATORY TESTING
COMMON BORROW (TIMBUNAN BIASA)

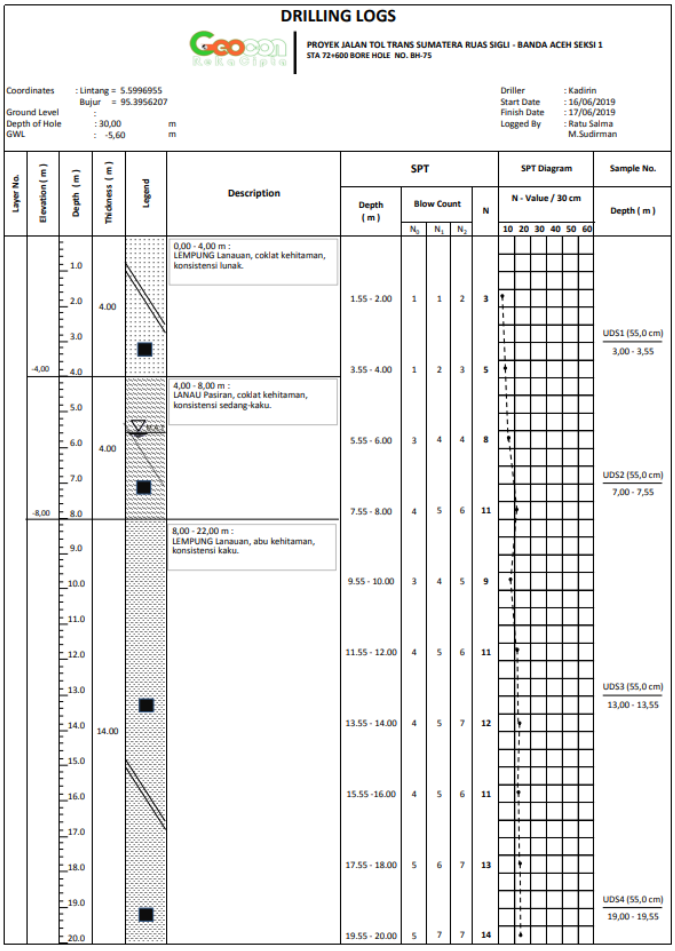
KONTRAKTOR : PT. ADHI KARYA (Persero) Tbk
KONSULTAN : PT. WAHANA MITRA AMERTA

DATE : 24 - 06 - 2020
STATION (STA) : 72 + 600 (COMMON BORROW) BAITUSSALAM

No	Description		Test Result			Specification
1	Max Dry Density		:	1,618	Gr/cm³	~
2	Optimum Moisture Content		:	18,4	%	~
3	Natural Moisture content		:	18,5	%	~
4	Liquid Limit		:	30,8	%	Max. 40
5	Plastic Limit		:	18,1	%	~
6	Plactic Index		:	12,7	%	Min. 11
7	Specific Gravity		:	2,479	Gr/cm³	~
8	CBR		:	7,60	%	Min. 6.0
9	AASHTO Soil Classification System		:	A - 2 - 6		From ASTM (M145)
10	Sieve Analysis		:			
	(mm)	(inchi)				
	9,52	3/8"	:	100,00	%	-
	4,76	#4	:	97,21	%	-
	2,00	#10	:	87,74	%	-
	0,42	#40	:	71,73	%	-
	0,075	#200	:	34,88	%	Max. 35

CONTRACTOR	CONSULTANT
HINAN HARAHAP	AHMAD YANI

Lampiran 3 Data Borlog BH – 75 Sta 72+600



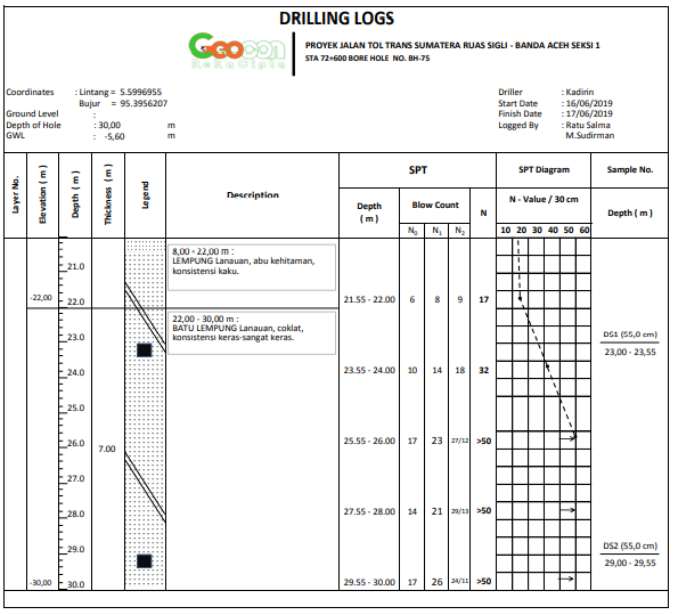
DRILLING LOGS

PROYEK JALAN TOL TRANS SUMATERA RUAS SIGLI - BANDA ACEH SEKSI 1
STA 72+600 BORE HOLE NO. BH-75

Coordinates : Lintang = 5.5996955
Bujur = 95.3956207
Ground Level :
Depth of Hole : 30,00 m
GWL : -5,60 m

Driller : Kadirin
Start Date : 16/06/2019
Finish Date : 17/06/2019
Logged By : Ratu Salma
M.Sudirman

Layer No.	Elevation (m)	Depth (m)	Thickness (m)	Description	SPT Depth (m)	Blow Count N_0	N_1	N_2	N	Sample No. Depth (m)
		1.0		0,00 - 4,00 m : LEMPUNG Lanauan, coklat kehitaman, konsistensi lunak.						
		2.0	4.00		1.55 - 2.00	1	1	2	3	
		3.0								UDS1 (55,0 cm) 3,00 - 3,55
	-4,00	4.0			3.55 - 4.00	1	2	3	5	
		5.0		4,00 - 8,00 m : LANAU Pasiran, coklat kehitaman, konsistensi sedang-kaku.						
		6.0	4.00		5.55 - 6.00	3	4	4	8	
		7.0								UDS2 (55,0 cm) 7,00 - 7,55
	-8,00	8.0			7.55 - 8.00	4	5	6	11	
		9.0		8,00 - 22,00 m : LEMPUNG Lanauan, abu kehitaman, konsistensi kaku.						
		10.0			9.55 - 10.00	3	4	5	9	
		11.0								
		12.0			11.55 - 12.00	4	5	6	11	
		13.0								UDS3 (55,0 cm) 13,00 - 13,55
		14.0	14.00		13.55 - 14.00	4	5	7	12	
		15.0								
		16.0			15.55 -16.00	4	5	6	11	
		17.0								
		18.0			17.55 - 18.00	5	6	7	13	
		19.0								UDS4 (55,0 cm) 19,00 - 19,55
		20.0			19.55 - 20.00	5	7	7	14	



DRILLING LOGS

PROYEK JALAN TOL TRANS SUMATERA RUAS SIGLI - BANDA ACEH SEKSI 1
STA 72+600 BORE HOLE NO. BH-75

Coordinates : Lintang = 5.5996955
Bujur = 95.3956207
Ground Level :
Depth of Hole : 30,00 m
GWL : -5,60 m

Driller : Kadirin
Start Date : 16/06/2019
Finish Date : 17/06/2019
Logged By : Ratu Salma
M.Sudirman

Layer No.	Elevation (m)	Depth (m)	Thickness (m)	Description	SPT Depth (m)	Blow Count N_0	N_1	N_2	N	Sample No. Depth (m)
		21.0		8,00 - 22,00 m : LEMPUNG Lanauan, abu kehitaman, konsistensi kaku.						
	-22,00	22.0			21.55 - 22.00	6	8	9	17	
		23.0		22,00 - 30,00 m : BATU LEMPUNG Lanauan, coklat, konsistensi keras-sangat keras.						DS1 (55,0 cm) 23,00 - 23,55
		24.0			23.55 - 24.00	10	14	18	32	
		25.0								
		26.0	7.00		25.55 - 26.00	17	23	27/12	>50	
		27.0								
		28.0			27.55 - 28.00	14	21	29/13	>50	
		29.0								DS2 (55,0 cm) 29,00 - 29,55
	-30,00	30.0			29.55 - 30.00	17	26	24/11	>50	

Lampiran 4 Data Uji Lab Sampel Tanah Asli dari Hasil Borlog

Project : Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Sigli - Banda Aceh Seksi 6
Location : STA 72+600
Check by : Faldy
Date : Jun.19
Boring No. : BH-75

Laboratory Test Resume

No. Sample				UDS1	UDS2	UDS3	UDS4		
Depth				3.00-3.55	7.00-7.55	13.00-13.55	19.00-19.55		
Index Properties		symbol	unit						
1.	Density	γ	t/m^3	1.268	1.294	1.317	1.320		
2.	Water content	ω	%	49.16	47.31	39.82	39.46		
3.	Specific of gravity	Gs	-	2.70	2.68	2.69	2.69		
	Dry density	γ_d	t/m^3	0.85	0.88	0.94	0.95		
	Void ratio	e	-	2.18	2.06	1.86	1.84		
	Porosity	n	-	0.69	0.67	0.65	0.65		
	Degree of saturation	Sr	%	60.92	61.76	57.71	57.59		
4.	Plastic limit	PL	%	24.95	33.23	17.99	19.64		
	Liquid limit	LL	%	57.35	50.98	47.95	48.08		
	Plasticity index	PI	%	32.40	17.75	29.96	28.44		
5.	Grain size Gravel	G	%	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Sand	S	%	13.08	39.25	5.86	10.48		
	Silt	M	%	29.53	54.86	34.30	31.13		
	Clay	C	%	57.39	5.89	59.84	58.39		
Engineering properties									
6.	Unconfined	q_u	$kg\backslash cm^2$	0.497	1.095	1.174	1.206		
	Compression Test	q_u'	$kg\backslash cm^2$	0.357	0.892	0.753	0.841		
		S_t	-	1.391	1.227	1.559	1.434		
		c_u	$kg\backslash cm^2$	0.248	0.548	0.587	0.603		
7.	Triaxial UU Test	φ	°	10.34	15.13	16.77	17.60		
		c	$kg\backslash cm^2$	0.122	0.253	0.422	0.458		
8.	Consolidation Test	Cc	-	0.619	0.321	0.498	0.494		
		C_v	cm2/scd	1.299E-02	9.211E-03	7.358E-03	6.614E-03		

Laboratory Test Resume

No. Sample				DS1	DS2				
Depth				23.00-23.55	29.00-29.55				
Index Properties		symbol	unit						
1.	Water content	ω	%	35.95	29.34				
2.	Specific of gravity	Gs	-	2.69	2.70				
3.	Plastic limit	PL	%	21.78	20.83				
	Liquid limit	LL	%	48.57	46.22				
	Plasticity index	PI	%	26.80	25.39				
4.	Grain size Gravel	G	%	11.68	14.32				
	Sand	S	%	5.05	4.90				
	Silt	M	%	33.05	31.11				
	Clay	C	%	50.22	49.67				

Lampiran 5 Data Technical Spesification Geotextile Woven

UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

TECHNICAL SPESIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
Physical Properties					
Mass	g/m^2	ASTM D 5261-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 5199-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
Mechanical Properties					
Strip Tensile Strenght (Wrab/Weft)	kN/m	ASTM D 4595-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4595-94	19/18	20/20	20/20
Grap Tensile Strenght (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4632-91	1210/1200	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strenght (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
Hydraulic Properties					
Pore Size O_{90}	µm	ASTM D 4751-95	320	275	250
Water Permeability	$l/m^2/sec$	100 mm water head	28	16	7.5
Environmental Properties					
Effect of soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil
Effect of soil Acidity	-	-	nil	nil	nil
Effect of Bacteria	-	-	nil	nil	nil
Effect of U.V. Light	-	-	Stabilized	Stabilized	Stabilized
Packaging					
Roll Lenght	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m^2	-	640 - 760	640 - 760	640 - 760
Roll Diameter (Approx)	m	-	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
Roll Weight (Approx)	kg	-	96 - 114	128 - 152	160 - 190

All information, illustration and specification are based on the latest product information available at the time of printing. The right is reserved to make changes at any time without notice.