



**APLIKASI PARAMETER TRIAXIAL TESTING DALAM
PERENCANAAN TIMBUNAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL
UNTUK PEMBANGUNAN JALAN PADA TANAH LOKASI BENCANA
LIKUIFAKSI PALU**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil**

Oleh

Sari Meliana

NIM. 5113416011

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

HALAMAN JUDUL



**APLIKASI PARAMETER TRIAXIAL TESTING DALAM
PERENCANAAN TIMBUNAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL
UNTUK PEMBANGUNAN JALAN PADA TANAH LOKASI BENCANA
LIKUIFAKSI PALU**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil**

Oleh

Sari Meliana

NIM. 5113416011

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Sari Meliana
NIM : 5113416011
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Judul : Aplikasi Parameter Triaxial Testing Dalam Perencanaan Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Untuk Pembangunan Jalan Pada Tanah Lokasi Bencana Likuifaksi Palu

Skripsi/TA ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi/TA Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 18 Mei 2020

Pembimbing,



Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T. M.Sc.

NIP. 197809212005012001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGESAHAN

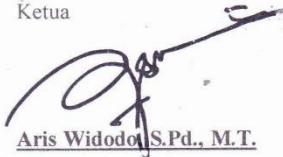
Skripsi / TA dengan judul “Aplikasi Parameter Triaxial Testing Dalam Perencanaan Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Untuk Pembangunan Jalan Pada Tanah Lokasi Bencana Likuifaksi Palu” telah dipertahankan di depan sidang panitia ujian skripsi Fakultas Teknik UNNES pada 18 Mei 2020.

Oleh

Nama : Sari Meliana
NIM : 5113416011
Program Studi : SI Teknik Sipil

Panitia:

Ketua



Aris Widodo, S.Pd., M.T.

NIP. 197102071999031001

Sekretaris



Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T. M.Sc.

NIP. 197809212005012001

Penguji 1



Hanggoro Tri C.A., S.T., M.T.

NIP. 197505292005011001

Penguji 2



Agung Budiwirawan, S.T., M.T.

NIP. 197612252005011002

Penguji 1/ Pembimbing



Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T. M.Sc.

NIP. 197809212005012001

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Orlus, M.T., IPM.

NIP. 196911301994031001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi /TA ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan da ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah dipeeroleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Semarang, 18 Mei 2020

Yang membuat pernyataan,



Sari Meliana

NIM.5113416011

MOTTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain) dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.

(QS. Al-Insyirah : 6-8)

Allah akan meninggikan orang – orang yang beriman diantaramu orang – orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat

(QS. Ar-Ra'ad : 11)

Maka nikmat Rabb-kamu yang manakah yang kamu dustakan

(QS. Ar-Rahman : 13)

Ridha Allah bergantung pada ridha orang tua dan murka Allah bergantung pada murka orang tua

(HR. Tirmidzi)

RINGKASAN

APLIKASI PARAMETER TRIAXIAL TESTING DALAM PERENCANAAN TIMBUNAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTILE UNTUK PEMBANGUNAN JALAN PADA TANAH LOKASI BENCANA LIKUIFAKSI PALU

Sari Meliana

Program studi Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Semarang, Indonesia

Email : sarimeliana455@gmail.com

Gempa Bumi adalah sutau bencana alam yang umumnya disebabkan oleh pergeseran kerak bumi dan letusan gunung berapi. Indonesia adalah salah satu negara yang sering mengalami bencana gempa bumi. Dikarenakan Indonesia termasuk dalam *Ring Of Fire* (Cincin Api), dimana memiliki banyak gunung berapi dan berada pada siklum Pasifik yang sangat berpotensi mengalami gempa bumi. Salah satu permasalahan yang disebabkan oleh gempa bumi adalah bahaya likuifaksi. Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan geser tanah akibat kenaikan tekanan air pori yang disebabkan oleh beban dinamik berupa gempa. Kompilasi seluruh kejadian likuifaksi di Indonesia sangat diperlukan sebagai dasar perencanaan pembangunan struktur dan infrastruktur jangka menengah dan jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah yang mengalami likuifaksi, dimana dari hasil penelitian tersebut akan dilakukan perencanaan timbunan dengan perkuatan geotekstile untuk pembangunan jalan pada tanah lokasi bencana likuifaksi palu.

Dalam mendapatkan parameter kuat geser tanah dilakukan uji Triaxial UU (*Unconsolidated Undrained*). Pengujian ini digunakan untuk menentukan kekuatan geser sampel tanah yang tidak diizinkan untuk mengalir. Pengujian diselesaikan dengan 3 sampel uji UU (*Unconsolidated Undrained*). Hasil pengujian tersebut dianalisis untuk menentukan selubung keruntuhan *Mohr-Coulomb*, sudut geser, ketahanan geser dan modulus elastisitas young. Data parameter kuat geser tanah digunakan untuk perencanaan timbunan dengan perkuatan geotekstil untuk pembangunan jalan dengan menggunakan metode plaxis.

Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa kelima sampel tanah yang telah diuji termasuk kedalam tanah berpasir dan berpotensi mengalami likuifaksi. Untuk nilai kohesi (c) dari sampel satu hingga lima berturut-turut adalah 45,184; 55,87; 47,577; 83,805; 14,15, sedangkan untuk nilai sudut geser (ϕ) dari sampel satu hingga lima berturut-turut adalah 19; 5; 19; 7; 33. Dari data parameter kelima sampel yang diuji, tanah dua digunakan sebagai tanah dasar dan tanah empat sebagai tanah timbunan. Data tersebut dimasukkan kedalam analisis numeris timbunan dengan *software* plaxis dan menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 10,17.

Kata Kunci : Likuifaksi, Triaxial, Timbunan, Geotekstil

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi / TA yang berjudul “**Aplikasi Parameter Triaxial Testing Dalam Perencanaan Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstile Untuk Pembangunan Jalan Pada Tanah Lokasi Bencana Likuifaksi Palu**”. Skripsi / TA ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua mendapatkan syafaat-Nya di yaumul qiyamah nanti, aamin.

Penyelesaian Skripsi/TA ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak sehingga penyusunan Skripsi /TA ini dapat terselesaikan dengan baik, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik, Aris Widodo, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan teknik Sipil, dan Dr. Rni Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc., selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah berkenan memberikan bimbingan dan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisna Skripsi/TA ini.
4. Hanggoro Tri Cahyo .A., S.T.,M.T., dan Agung Budiwirawan, S.T., M.T., selaku dosen penguji 1 dan dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan yang sangat berharga sehingga menambah bobot dan kualitas Skripsi/TA ini.
5. Semua Dosen Jurusan Teknik Sipil FT UNNES yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan yang sangat berharga.
6. Bapak Jakpari dan Ibu Suprpti selaku orang tua saya yang sselalu memberi dukungan, motivasi dan doa yang tiada henti untuk anaknya.
7. Keluarga tercinta yang selalu menjadi motivasi saya untuk semangat dan bergerak menuju langkah yang lebih baik.
8. Teman-teman dekat dan sepembimbing seperjuangan serta semua teman-teman Prodi S1 Teknik Sipil angkatan 2016 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang selalu membantu ataupun memberikan dorongan motivasi untuk menyelesaikan Skripsi/TA ini.
9. Berbagai pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kesalahan dalam proses pelaksanaan hingga pembuatan Skripsi/TA ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan waktu. Oleh karena itu, penulis mohon kritik dan saran untuk membangun dan meningkatkan kualitas Skripsi/TA ini agar jauh lebih baik dan sempurna. Semoga Skripsi/TA ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya dan semua pihak yang membaca ataupun berkepentingan pada umumnya.

Semarang, 18 Mei 2020

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized letters that appear to be 'JP' followed by a series of loops and a long tail.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH..	Error! Bookmark not defined.
MOTTO	iv
RINGKASAN.....	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Perumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Gempa Bumi	4
2.1.1 Definisi Gempa Bumi.....	4
2.1.2 Jenis – jenis gempa bumi.....	5
2.2 Likuifaksi	7
2.2.1 Faktor terjadinya likuifaksi.....	8
2.2.2 Potensi likuifaksi	9
2.2.3 Perilaku likuifaksi pada tanah	10
2.3 Perkuatan Geotekstil	12
2.4 Perkuatan Timbunan untuk tanah lunak	12
2.5 Plaxis.....	16
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Lokasi Pengambilan Data Penelitian	19
3.2 Jenis Pengujian	20
3.3 Tahap Persiapan	20
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	20
3.4.1 Data primer	21
3.4.2 Data Sekunder	23

3.5	Analisis numeris perkuatan tanah	24
3.5.1	Plaxis	24
3.6	Alur Penelitian	25
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		26
4.1	Hasil Pengujian Laboratorium	26
4.1.1	Pengujian indeks properties Tanah.....	26
4.1.2	Pengujian gradasi butiran tanah.....	27
4.1.3	Pengujian Triaksial	29
4.2	Hasil Analisis Potensi Likuifaksi.....	30
4.3	Perencanaan Perkuatan Geotekstil untuk timbunan.....	30
4.3.1	Permodelan Timbunan.....	31
4.3.2	Parameter Timbunan dengan geotekstil	32
4.3.3	Data Tanah dasar (Menggunakan data tanah 2)	32
4.3.4	Data Tanah timbunan (Menggunakan data tanah 4).....	33
4.4	Analisis Numeris Perencanaan Perkuatan Geotekstil untuk timbunan menggunakan metode Plaxis.....	33
4.4.1	Analisis Permodelan Timbunan.....	33
4.4.2	Analisis program masukan	34
4.4.3	Program Perhitungan Numeris	38
4.4.4	Hasil Analisis Program Numeris	40
BAB V PENUTUP		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....		48
LAMPIRAN		51
Lampiran B. Analisis numeris perkuatan timbunan tanah dengan software plaxis.....		67
Lampiran C. Hasil Pengujian Laboratorium.....		76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas.....	16
Tabel 3. 1. Titik Koordinat Pengambilan Sampel.....	20
Tabel 4. 1. Hasil pengujian <i>indeks properties</i> tanah.....	26
Tabel 4. 2. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai berat jenis (Wesley, 1977)	27
Tabel 4. 3. Hasil pengujian analisis butiran tanah	28
Tabel 4. 4 Klasifikasi jenis tanah berdasarkan USCS.....	29
Tabel 4. 5. Data benda uji	29
Tabel 4. 6. Nilai kohesi dan Sudut Geser hasil pengujian <i>Unconsolidated Undrained</i>	29
Tabel 4. 7. Data permodelan timbunan	31
Tabel 4. 8. Data Geotekstil	32
Tabel 4. 9. Data parameter timbunan dengan geotekstil.....	32
Tabel 4. 10. Data tanah dasar.....	32
Tabel 4. 11. Data tanah timbunan	33
Tabel 4. 12. Tahapan perhitungan.....	39
Tabel 4. 13. Hasil rekapitulasi <i>phi-c reduction</i> atau faktor keamanan (SF).....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Ilustrasi terjadinya gempa bumi	4
Gambar 2. 2. Gempa tektonik	5
Gambar 2. 3. Gempa Vulkanik	6
Gambar 2. 4. Gempa runtuhan	6
Gambar 2. 5. Gempa buatan	7
Gambar 2. 6. Likuifaksi yang terjadi di Palu, Sulawesi Tengah tahun 2018.....	8
Gambar 2. 7. Peristiwa sand boiling setelah terjadi gempa bumi pada tahun 2011 di Canterbury, New Zealand.....	11
Gambar 2. 8. Timbunan diatas tanah lunak	13
Gambar 2. 9. Timbunan diatas tanah lunak	14
Gambar 2. 10. Mode Keruntuhan pada Timbunan yang Diperkuat.....	15
Gambar 2. 11. Simbol untuk Dimensi Timbunan	15
Gambar 3. 1. Lokasi pengambilan sampel tanah	19
Gambar 3. 2. Proses pengovenan sampel tanah	21
Gambar 3. 3. Piknometer 250 ml untuk pengujian berat jenis.....	22
Gambar 3. 4. Penimbangan sampel tanah selesai oven.....	22
Gambar 3. 5. Pengujian Hydrometer analysis.....	22
Gambar 3. 6. Kondisi sampel setelah pengujian triaksial Unconsolidated Undrained.....	23
Gambar 3. 7. Diagram Alur Penelitian	25
Gambar 4. 1. Grafik gradasi butiran tanah (Grain Size)	28
Gambar 4. 2. Grafik Analisa potensi likuifaksi berdasarkan gradasi butiran tanah (Grain Size) menurut usulan Sitharam	30

Gambar 4. 3 Permodelan Timbunan	31
Gambar 4. 4. Permodelan timbunan menggunakan software plaxis	34
Gambar 4. 5. Tampilan pemilihan sifat material pada jendela plaxis	34
Gambar 4. 6. Tampilan pemilihan sifat material pada jendela plaxis	35
Gambar 4. 7. Tampilan pemilihan model perilaku tanah pada jendela plaxis	35
Gambar 4. 8. Tampilan pemilihan parameter tanah pada jendela plaxis	36
Gambar 4. 9. Hasil input data parameter tanah pada permodelan timbunan menggunakan software Plaxis.....	36
Gambar 4. 10. Hasil generate mesh pada permodelan lereng menggunakan software plaxis	37
Gambar 4. 11. Tampilan penambahan garis freaktif pada permodelan timbunan	37
Gambar 4. 12. Tampilan Tekanan Air Pori Aktif	37
Gambar 4. 13. Tegangan – tegangan efektif	38
Gambar 4. 14. Tampilan parameter perhitungan	38
Gambar 4. 15. Tampilan proses perhitungan	39
Gambar 4. 16. Pemodelan tanah (a) kemudian dianalisis dengan Plaxis menghasilkan nilai (b) deformasi, (c) total displacement, (d) vertical displacement, dan (e) horizontal displacement	41
Gambar 4. 17. Pemodelan tanah (a) kemudian dianalisis dengan Plaxis menghasilkan nilai (b) tegangan total dan (c) tegangan regangan pada tanah dasar	43
Gambar 4. 18. Gaya aksial geotekstil	44
Gambar 4. 19. Perpindahan total pada geotekstil	44
Gambar 4. 20. Perpindahan horizontal pada geotekstil	44
Gambar 4. 21. Perpindahan vertikal pada geotekstil	45
Gambar 4. 22. Tegangan total pada tanah timbunan 0,5 m dengan lapisan geotekstil dibawahnya.....	45

Gambar 4. 23. Regangan total pada tanah timbunan 0,5 m dengan lapisan geotekstil
dibawahnya.....45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Prosedur Pengujian Sifat Fisik Tanah, Pengujian Gradasi Butiran Tanah, dan Pengujian Triaksial Unconsolidated Undrained	51
Lampiran B. Analisis numeris perkuatan timbunan tanah dengan software plaxis.....	67
Lampiran C. Hasil Pengujian Laboratorium	76
Lampiran D. Hasil analisis numeris timbunan dengan software Plaxis	84

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Letak Indonesia yang berada di lingkaran cincin api dunia membuat Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat kerawanan bencana yang tinggi. Terletak di antara pertemuan tiga lempeng tektonik yang bertumbukan yaitu lempeng Indo – Australia, Lempeng Eurasia, dan lempeng pasifik membuatnya rawan terkena berbagai macam bencana alam. Indonesia juga terletak pada jalur *Pacific Ring of Fire* yang terbentang dari belahan bumi bagian barat tepatnya di Chile, kemudian melewati Jepang dan Asia Tenggara (Israel, 2010). Hal tersebut menyebabkan Indonesia berada pada jalur gempa bumi dan gunung berapi yang dinilai paling dahsyat (Utomo, 2016).

Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 28 September 2018 di Provinsi Sulawesi Tengah, Kabupaten Donggala, Sigi, Parigi, Moutong dan Kota Palu mengakibatkan terjadinya tsunami beserta fenomena geologi permukaan berupa likuifaksi (Pusat Studi Gempa Nasional, 2018). Menurut Tohari (2007), likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat kenaikan tegangan air pori yang disebabkan oleh beban dinamik berupa gempa.

Menurut Kusumawardani (2018) Fenomena likuifaksi merupakan salah satu bencana sekunder yang mengiringi kejadian bencana gempa yang dapat menimbulkan kerusakan struktur dan infrastruktur serta korban luka dan hilangnya nyawa. Bencana gempa bumi, tsunami dan likuifaksi yang terjadi di Kota Palu, kabupaten Donggala, Sigi dan Parigi Moutong menyebabkan 2.256 orang meninggal dunia, kerusakan bangunan dan infrastruktur yakni, 68.451 unit rumah, 327 unit rumah ibadah, 265 unit sekolah, perkantoran 78 unit, toko 362 unit, jalan 168 titik retak, jembatan 7 unit dan sebagainya (Nugroho, 2018). Likuifaksi yang ditemukan di Kota Palu, Kabupaten Sigi (Kecamatan Sigi Biromaru), dan Kabupaten Donggala (Kecamatan Sindue, Sirenja dan Balaesang) merupakan jenis likuifaksi *lateral spreading* dan *sand boil*, sedangkan likuifaksi yang ditemukan di daerah Petobo dan Balaroa berkembang menjadi aliran, dan mengakibatkan bencana parah di dua lokasi tersebut (Pusat Studi Gempa Nasional, 2018). Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan analisis potensi likuifaksi sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa.

Hakam (2013) menyatakan bahwa analisis potensi likuifaksi dapat dilakukan didasarkan pada investigasi lapangan berupa penetrasi standar (SPT) dan tahanan konus (CPT). Seed dan Idriss (1982) telah melakukan studi komprehensif tentang likuifaksi tanah berdasarkan sejumlah kejadian sebelumnya berdasarkan uji penetrasi standar. Kemudian Shibata dan

Teparaksa (1988) mengusulkan metode untuk evaluasi likuifaksi potensial berdasarkan uji sondir. Aplikasi metode analisis likuifaksi dengan sondir telah diterapkan untuk menyelidiki potensi likuifaksi deposit tanah pasir berlumpur (Hakam dan Oscar, 2007). Selain menggunakan investigasi lapangan, analisis potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan pengujian laboratorium berupa analisis gradasi butiran dan uji triaksial. Menurut Oka (1995) dan Tsuchida (1970), distribusi butiran tanah dapat dijadikan bahan analisis pendahuluan potensi likuifaksi tanah. Selain analisis gradasi butiran, analisis potensi likuifaksi di laboratorium dapat menggunakan pengujian geser berupa uji geser langsung dan uji triaksial. Nugroho (2012) menyatakan bahwa uji geser triaksial adalah pengujian yang paling dapat diandalkan dalam memnetukan parameter tegangan geser tetapi lebih mahal dan butuh waktu cukup lama. Pengujian triaksial terdiri dari tiga metode pengujian yaitu Consolidated Drained (CD), Consolidated Undrained (CU), Unconsolidated Undrained (UU). Pada penelitian Rahayu dkk. (2015) pengujian tanah gambut dilakukan uji triaksial *Consolidated - Undrained* dan *Unconcolidated - Undrained* didapatkan nilai kohesi efektif (c') 7,55 kPa untuk uji *Unconsolidated - Undrained* dan nilai kohesi (c) 26,26 kPa.

Pada penelitian ini akan dilakukan uji triaksial dengan menggunakan metode UU (*Unconsolidated – Undrained*) terhadap tanah lempung. Hasil dari penelitian ini digunakan sebagai dasar perencanaan pembangunan infrastruktur jangka panjang berupa perencanaan timbunan untuk pembangunan jalan menggunakan perkuatan geotekstil di salah satu lokasi yang mengalami bencana likuifaksi yakni kota Palu.

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun identifikasi masalahnya adalah sebagai berikut:

- a. Indonesia memiliki potensi gempa bumi cukup besar;
- b. Gempa bumi dengan skala richter yang besar menyebabkan likuifaksi;
- c. Jenis tanah pada lokasi bencana gempa bumi mempengaruhi terjadinya likuifaksi;
- d. Fenomena likuifaksi memicu terjadinya pergeseran tanah;
- e. Data kuat geser tanah digunakan untuk desain perencanaan timbunan pada pembangunan jalan.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah yang diambil berdasarkan identifikasi masalah di atas diantaranya:

- a. Analisis proses terjadinya likuifaksi ini dilakukan berdasarkan data properties fisik tanah dan UU (*Unconsolidated Undrained*).

- b. Data tanah gradasi butiran serta uji triaxial UU didapatkan dari pengujian sampel tanah di laboratorium mekanika tanah Universitas Negeri Semarang.
- c. Menganalisis hasil pengujian untuk menentukan kuat geser tanah.
- d. Perencanaan timbunan dengan perkuatan geotekstil dikerjakan dengan bantuan *software* Plaxis 2D

1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang diambil adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana hasil pengujian gradasi butiran pada tanah di daerah penelitian?
- b. Bagaimana hasil pengujian kuat geser dari uji triaxial UU pada tanah di daerah penelitian?
- c. Bagaimana hasil analisis potensi likuifaksi pada daerah penelitian?
- d. Bagaimana hasil desain timbunan dengan perkuatan geotekstil berdasarkan hasil pengujian tanah di daerah penelitian?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang diangkat dalam latar belakang diatas, dapat diambil tujuan penelitian yaitu:

- a. Mengetahui hasil pengujian gradasi butiran pada tanah di daerah penelitian;
- b. Mengetahui hasil pengujian kuat geser dari uji triaxial UU pada tanah di daerah penelitian;
- c. Mengetahui hasil analisis potensi likuifaksi pada daerah penelitian;
- d. Mengetahui hasil desain timbunan dengan perkuatan geotekstil berdasarkan hasil pengujian tanah di daerah penelitian.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat praktis dari penelitian ini adalah diharapkan penelitian ini dapat digunakan untuk perkembangan ilmu pengetahuan teknik sipil, khususnya dalam mengetahui desain perencanaan perkuatan timbunan berdasarkan pengujian laboratorium properties fisik tanah dan CU (*Consolidated Undrained*), sebagai tambahan informasi untuk praktisi maupun akademisi dalam mempelajari prosedur pengujian properties fisik, dan yang terakhir dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam kegiatan perencanaan timbunan dengan perkuatan geotekstil untuk pembangunan jalan.

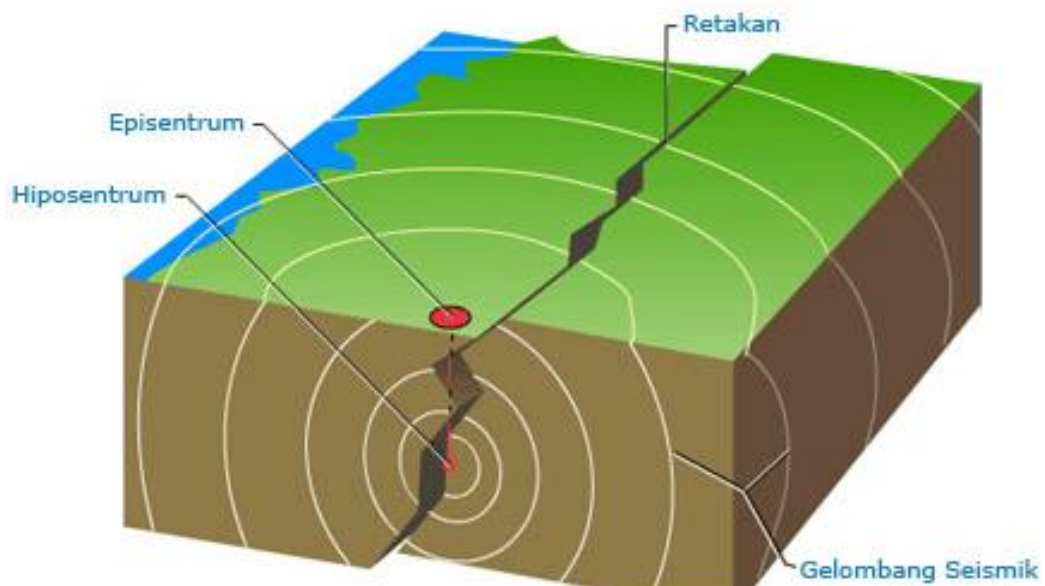
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Gempa Bumi

2.1.1 Definisi Gempa Bumi

Menurut Howel dalam Mulyo (2004), gempa bumi adalah getaran atau serentetan getaran dari kulit bumi yang bersifat tidak abadi dan kemudian menyebar ke segala arah. Kulit bumi bergetar secara kontinyu walaupun relatif sangat kecil. Getaran tersebut tidak dikatakan gempa bumi karena memiliki sifat getaran yang terus menerus. Jadi, gempa bumi harus memiliki waktu awal dan waktu akhir yang jelas.

Sedangkan menurut Bayong (2006:12) gempa bumi adalah gerakan atau getaran pada kulit bumi yang disebabkan oleh tenaga endogen. Tenaga endogen adalah tenaga yang berasal dari dalam bumi yang disebabkan oleh perubahan pada kulit bumi. Tenaga endogen memiliki sifat yang membentuk permukaan bumi menjadi tidak rata. Dimungkinkan suatu daerah memiliki permukaan bumi yang rata (datar) tetapi akibat tenaga endogen ini berubah menjadi gunung, bukit atau pegunungan. Pada bagian lain permukaan bumi turun menjadikan adanya suatu lembaga ataupun jurang. Secara umum tenaga endogen tersebut dibagi kedalam tiga jenis yakni vulkanisme, tektonisme, dan seisme atau gempa. Vulkanisme dibagi lagi menjadi plutonisme dan vulkan.



Gambar 2. 1. Ilustrasi terjadinya gempa bumi

(Anonim, 2013)

2.1.2 Jenis – jenis gempa bumi

Berdasarkan penyebabnya , gempa bumi dikelompokkan sebagai berikut :

1. Gempa Tektonik

Gempa tektonik terjadi karena pergeseran lempeng tektonik. Lempeng tektonik pada bumi bergerak saling mendekat atau menjauh, beberapa diantaranya saling menggeser secara horizontal. Tepian lempeng yang tidak rata menyebabkan terjadinya gesekan hingga menimbulkan friksi. Friksi tersebut mengakumulasi energi yang kemudian dapat melepaskan energi guncangan menjadi sebuah gempa (Mustafa, 2010).



Gambar 2. 2. Gempa tektonik

(Bukhori, 2017)

2. Gempa Vulkanik

Gempa vulkanik disebabkan oleh kegiatan vulkanik atau gunung api. Magma yang berada di dalam gunung api mendapat tekanan dan melepaskan energinya secara tiba – tiba sehingga menimbulkan getaran tanah. Gempa vulkanik juga dapat dijadikan gejala/petunjuk akan terjadinya letusan gunung berapi. Biasanya gempa vulkanik tidak merusak dikarenakan kekuatannya yang kecil, sehingga dampak dari gempa tersebut hanya dirasakan oleh orang – orang yang berada dalam radius kecil dari sebuah gunung berapi (Mustafa, 2010).



Gambar 2. 3. Gempa Vulkanik
(Bukhori, 2017)

3. Gempa Runtuhan

Gempa runtuh merupakan gempa lokal yang terjadi apabila suatu gua di daerah topografi karst atau di daerah pertambangan runtuh atau massa batuan yang cukup besar di sebuah lereng bukit runtuhan/longsor. Kekuatan gempa akibat runtuhan massa batuan ini juga kecil sehingga tidak berbahaya (Mustafa, 2010).



Gambar 2. 4. Gempa runtuh
(Bukhori, 2017)

4. Gempa Buatan

Gempa buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia, misalnya dalam kegiatan eksplorasi bahan tambang atau untuk keperluan teknik sipil dalam rangka mencari batuan dasar (bedrock) sebagai dasar fondasi bangunan. Kekuatannya juga kecil sehingga tidak menimbulkan bahaya bagi manusia dan bangunan (Mustafa, 2010).

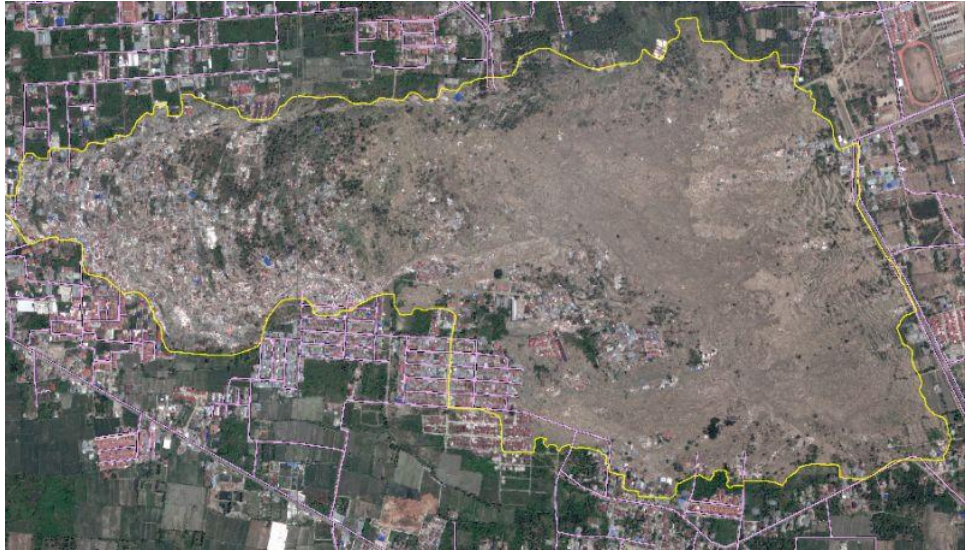


Gambar 2. 5. Gempa buatan
(Bukhori, 2017)

2.2 Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang ditimbulkan akibat beban siklis dinamis. Bahaya likuifaksi ditimbulkan oleh gempa yang terjadi pada karakteristik tanah tertentu, yang mengakibatkan naiknya tegangan pori tanah itu sendiri. Saat likuifaksi berlangsung, kekuatan tanah menurun dan kemampuan deposit tanah untuk menhane beban menurun. Tegangan efektif tanah akibat beban siklik yang diterima tanah dengan karakteristik berbutir, jenuh air dan kepadatan sedang sampai lepas, dimana tanah tersebut mengalami perubahan sifat dari *solid* ke *liquid* sehingga tegangan tanah menjadi nol (Noor, 2017).

Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblesan, keruntuhan, tilting pada bangunan, ground cracking, kelongsoran, dan merusakkan sarana public. Sebagai contoh saat gempa bumi Nigata 1964, Kobe 1995, Turki 2002, Taiwan 1999, India 2001, Maumere 1 Desember 1992, Aceh dan Nias 26 Desember 2004, Bengkulu 2000, Jogjakarta 27 Mei 2006 yang diikuti dengan fenomena peristiwa likuifaksi. Pengetahuan potensi dan kerawanan likuifaksi sangat penting untuk melakukan usaha mitigasi yang disesuaikan dengan derajat kerentanan suatu wilayah terhadap bahaya likuifaksi (Soebowo dkk, 2007).



Gambar 2. 6. Likuifaksi yang terjadi di Palu, Sulawesi Tengah tahun 2018

(Rani, 2018)

2.2.1 Faktor terjadinya likuifaksi

Menurut Widodo (2012), faktor – faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi, antara lain:

a. Karakteristik Getaran

Semakin besar getaran dinamis (gempa bumi) yang terjadi, semakin besar kemungkinan terjadinya likuifaksi.

b. Jenis Tanah

Tanah berpasir lebih berpotensi terjadi likuifaksi dibandingkan tanah lempung dikarenakan pada jenis tanah pasir, ketika terjadi guncangan gempa, tanah pasir mempunyai sifat tidak bisa memadat. Tanah pasir akan lepas ketika kena guncangan gempa, jenuh air langsung lepas ikatannya. Ikatan tanah pasir hanya sentuhan antar partikel. Karena tidak stabil, saat diguncang gempa kuat, tanah itu akan mengalami likuifaksi atau pencairan tanah.

c. Muka air tanah

Likuifaksi hanya terjadi pada tanah jenuh, sehingga kedalaman muka air tanah akan mempengaruhi kerentanan terhadap likuifaksi. Kerentanan terhadap likuifaksi akan menurun dengan bertambah dalamnya muka air tanah.

d. Distribusi diameter butir

Sementara tanah yang bergradasi baik (*well graded soil*) umumnya mempunyai tahanan terhadap likuifaksi lebih besar dibandingkan dengan tanah yang bergradasi jelek (*poor graded soil*).

Likuifaksi hanya terjadi pada tanah yang tersaturasi, maka efeknya seringkali hanya diamati pada area yang dekat dengan badanair seperti sungai, danau, dan laut. Efek yang disebabkan

oleh likuifaksi dapat berupa longsor besar ataupun terjaidnya retakan – retakan pada tanah yang parallel dengan badan air, seperti kasus yang terjadi pada Montagua River, Guatemala pada tahun 1976. Saat terjadinya likuifaksi, kekutaan tanah menjadi berkurang dan kemampuan tanah untuk mendukung pondasi dari bangunan di atasnya akan berkurang pula. Likuifaksi juga dapat memberikan tekanan yang besar pada dinding – dinding penahan tanah yang dapat menyebabkan dinding penahan tanah menjadi miring ataupun bergeser. Naiknya tekanan air pori juga dapat memicu terjadinya longsor (*land slides*) serta rusaknya bendungan (Ikhsan, 2011).

2.2.2 Potensi likuifaksi

Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah yang bergradasi seragam (*uniformly graded soil*). Sementara tanah yang bergradasi baik (*well graded soil*) umumnya mempunyai tahanan terhadap likuifaksi lebih besar dibandingkan dengan tanah yang bergradasi jelek (*poor graded soil*). Hal ini disebabkan oleh partikel – partikel kecil yang terdapat pada tanah bergradasi baik akan dapat mengisi rongga yang ada diantara partikel yang besar, sehingga potensi untuk mengalami perubahan volume pada kondisi drain akan menjadi lebih kecil akibat *undrained loading* (Ikhsan, 2011).

Likuifaksi terjadi pada tanah pasiran atau yang di dominasi pasir. Sedangkan pada tanah lempung potensinya kecil. Tanah berpasir memiliki permeabilitas yang relative lebih tinggi. Ketika air di pori – pori tidak bisa mengalir dengan bebas, gaya geser menyebabkan kontraksi di tanah berpasir yang longgar dan air yang terperangkap. Likuifaksi atau pencairan tanah bisa terjadi pada kondisi tanah pasiran saat terjadi gempa kuat. Likuifaksi umumnya ada dua jenis. Jenis pertama yang tanahnya sangat berpasir, bisa membuat tanah seperti bubur lumpur akibat terobosan air dalam tanah yang terguncang oleh gempa kuat. Contoh kasusnya di Palu yang membenamkan perumahan, serta di lokasi lain yang memindahkan posisi rumah (Irsyam, 2018).

Kusumawardani (2018) menyatakan bahwa gempa bumi dengan intensitas besar, umumnya memicu terjadinya fenomena likuifaksi. Fenomena likuifaksi terjadi ketika lapisan pasir berubah menjadi seperti cairan akibat meningkatnya tekanan air pori dalam rongga tanah sehingga tak mampu menopang beban bangunan didalam atau di atasnya. Faktor – faktor yang menjadi syarat terjadinya likuifaksi adalah tanah bersifat lepas (tidak padat), lapisan tanah jenuh air, dan terjadi getaran yang kuat. Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblesan, keuruntuhan, *tilting* pada bangunan, retakan tanah, kelongsoran, dan lain – lain. Sebagai contoh, gempa bumi yang memicu terjadinya likuifaksi dan menimbulkan korban jiwa yaitu gempa Niigata (Jepang) 1964, Alaska (USA) 1964, Flores 1992, Maumere 1 Desember 1992, Kobe

1995, Biak 1996, Taiwan 1999, Bengkulu 2000, India 2001, Turki 2002, Aceh dan Nias 26 Desember 2004, gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006, serta gempa bumi Padang 30 September 2009.

2.2.3 Perilaku likuifaksi pada tanah

Menurut Kusumawardani (2018) massa tanah yang terbebani secara dinamis akan mempunyai perilaku yang berbeda dibanding ketika terbebani secara statis. Pada tanah dengan kondisi kenyang air, pembebanan secara dinamis akan mempengaruhi perilaku tekanan air pori terhadap waktu. Perubahan nilai tekanan air pori tergantung pada besaran beban yang bekerja serta frekuensi pembebanan yang diterapkan. Secara teoritis, perubahan tekanan air pori di dalam massa tanah akan memberikan pengaruh terhadap kemampuan tanah dalam menumpu beban di atasnya. Secara teoritis, keduanya mempunyai hubungan terbalik sehingga apabila nilai tekanan air pori dalam tanah mengalami peningkatan maka dapat diartikan juga bahwa tahanan tanah dalam menerima beban mengalami penurunan. Penelitian mengenai perilaku kenaikan tekanan air pori pada tanah akibat beban siklis yang bekerja biasanya dikaitkan dengan peristiwa likuifaksi.

Secara umum perilaku likuifaksi terjadi pada tanah lepas seperti halnya pasir, kejadian likuifaksi dimulai ketika tekanan air pori mencapai tekanan batas, pasir akan mengalami perubahan bentuk. Pada pasir lepas tekanan air pori akan meningkat secara tiba – tiba mencapai nilai yang sama dengan tekanan batas, dan pasir akan berubah bentuk. Jika perubahan bentuk pasir menjadi tidak terbatas tanpa diiringi daya tahanan yang berarti maka tanah ini bisa dikatakan terlikuifaksi. Dengan adanya perubahan sifat tanah tersebut menyebabkan kondisi tanah di area yang terlikuifaksi menjadi tidak stabil bahkan bergerak sehingga menyebabkan jalan ataupun bangunan di atasnya rusak (Rais, 2019).

Menurut Siahaan (2015) secara umum perilaku likuifaksi pada tanah berdasarkan mekanisme terjadinya dibedakan atas dua bagian yaitu *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*.

a. *Flow liquefaction*

Flow liquefaction adalah peristiwa rusaknya keseimbangan statis tanah akibat beban statis maupun dinamis pada deposit tanah dengan kekuatan residual tanah rendah. Kekuatan residual ini merupakan sisa kekuatan dari tanah yang terlikuifaksi. *Flow liquefaction* mampu menghasilkan efek yang paling dinamis dari semua peristiwa yang berkaitan dengan perilaku likuifaksi pada tanah, dan instabilitas luar bisa yang dikenal sebagai *flow failures*. *Flow liquefaction* terjadi pada saat tegangan geser yang dibutuhkan untuk menjaga keseimbangan statis suatu massa tanah lebih besar daripada kekuatan geser tanah pada saat terlikuifaksi. Pada

dasarnya, besarnya deformasi yang dihasilkan oleh *flow liquefaction* sangat dipengaruhi oleh tegangan geser statis.

Tegangan siklik dapat dengan mudah membuat ketidakstabilan pada tanah ketika tanah mempunyai tahanan yang cukup untuk melawan static stress. Gempa bumi, ledakan, dan getaran yang dihasilkan dari pile driving hammer merupakan contoh beban dinamis yang dapat memicu terjadinya likuifaksi pada tanah. Ketika beban ini bekerja tanah tidak mempunyai waktu yang cukup untuk mempertahankan tegangan statis yang terjadi pada tanah sebelum terjadinya gangguan. Kerusakan yang disebabkan oleh *flow liquefaction* selalu ditandai dengan pergerakan yang besar dan cepat yang dapat mengakibatkan kegagalan luar biasa dalam hal kemampuan tanah memikul beban.

b. Cyclic mobility

Cyclic Mobility adalah sebuah fenomena likuifaksi yang terjadi akibat beban siklik pada saat regangan geser static lebih kecil daripada kekuatan geser tanah terlikuifaksi. Deformasi yang dihasilkan adalah berupa kegagalan cyclic mobility yang terus meningkat selama guncangan gempa berlangsung. Berlawanan dengan *flow liquefaction*, *cyclic mobility* terjadi akibat beban siklik dan tegangan geser static. Beban siklik merupakan beban getaran yang dialami tanah akibat gempa bumi. Pada fase ini deformasi tanah yang disebabkan oleh cyclic mobility berkembang secara cepat akibat tegangan statis dan dinamis dari tanah masih bekerja selama gempa bumi berlangsung. Disamping itu, likuifaksi yang terjadi menyebabkan naiknya tegangan air pori yang dapat mengakibatkan air pori mengalir dengan cepat ke permukaan tanah dengan membawa butiran pasir yang terlepas dari ikatan partikel berupa semburan lumpur dan letupan pasir (*sand boiling*) melalui celah yang terbentuk dari proses likuifaksi yang terjadi.



Gambar 2. 7. Peristiwa sand boiling setelah terjadi gempa bumi pada tahun 2011 di Canterbury, New Zealand

(Wikipedia, 2018)

2.3 Perkuatan Geotekstil

Menurut SNI perkuatan tanah dengan geosintetik tahun 2009 berdasarkan sifat permeabilitasnya, geosintetik terbagi menjadi kedapair dan lolos air. Geotekstil adalah jenis geosintetik yang lolos air yang berasal dari bahan tekstil. Geomembran merupakan jenis geosintetik kedap air yang biasa digunakan sebagai penghalang zat cair.

Dalam proses pembuatan geotekstil, elemen tekstil seperti serat – serat atau beberapa untaian serat (*yarn*) dikombinasikan menjadi struktur tekstile lembaran. Elemen tersebut dapat berupa filament (serat menerus) berbentuk benang polimer tipis dan panjang atau serabut serat (*staple fiber*) berbentuk filament pendek dengan panjang antara 20 – 150 mm. Elemen tekstil tersebut juga dapat dibuat dengan memotong suatu lembaran plastic atau film untuk membentuk pita tipis datar. Pada filamen dan potongan film (*silt film*), proses pengeluaran atau penarikan akan memanjangkan polimer dalam arah penarikan sehingga meningkatkan kekuatan filament.

Jenis geotekstil kemudian dibagi berdasarkan metode yang digunakan untuk mengkombinasikan filamen atau pita menjadi struktur lembaran. Jenis geotekstil yang utama adalah tak-teranyam (*non-woven*) dan teranyam (*woven*). Geotekstil teranyam terbuat dari monofilamen, multifilamen, fibrillated yarns atau dari potongan film dan pita. Proses penganyaman untuk geosintetik teranyam sama dengan pembuatan tekstil biasa. Geotekstil tak-teranyam dilakukan dengan teknologi canggih dimana serat polimer atau filamen didesak keluar dan dipuntir secara menerus, ditiup atau ditempatkan pada suatu sabuk berjalan. Kemudian massa filamen atau serat tersebut disatukan dengan proses mekanis dengan tusukan jarum-jarum kecil atau disatukan dengan panas dimana serat tersebut “dilas” oleh panas dan/atau tekanan pada titik kontak serat dengan massa tekstil tak-teranyam.

Penyambungan geotekstil diperlukan untuk suatu aplikasi perkuatan yang memerlukan perkuatan menerus tanpa terputus. Teknik penyambungan geosintetik terdiri dari tumpang tindih, penjahitan, penempelan, pengikatan, pemanasan, pengelasan dan perekatan. Beberapa teknik tersebut hanya sesuai untuk sebagian tipe geosintetik.

2.4 Perkuatan Timbunan untuk tanah lunak

Berdasarkan panduan geoteknik 1 No. Pt T-08-2002-B (DPU, 2002a). Jika menggunakan korelasi dari AASHTO M288-06 ($CBR \approx 30 C_u$), maka nilai kuat geser ini setara dengan nilai CBR lapangan kurang dari 1.

Menurut SNI perkuatan tanah dengan geosintetik tahun 2009, timbunan yang dibangun di atas tanah lunak memiliki kecenderungan untuk menyebar secara lateral akibat tekanan tanah horizontal yang bekerja di dalam timbunan. Tekanan tanah ini menimbulkan tegangan geser

horizontal pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi. Apabila tanah pondasi tidak memiliki tahanan geser yang cukup, maka akan terjadi keruntuhan. Pemasangan geotekstil atau geogrid berkekuatan tinggi yang direncanakan dengan tepat akan berfungsi sebagai perkuatan untuk meningkatkan stabilitas serta mencegah keruntuhan. Geotekstil atau geogrid juga akan mengurangi pergeseran horizontal dan vertikal tanah dibawahnya, sehingga dapat mengurangi penurunan differensial.

3.5.2 Fungsi dan Aplikasi Perkuatan timbunan

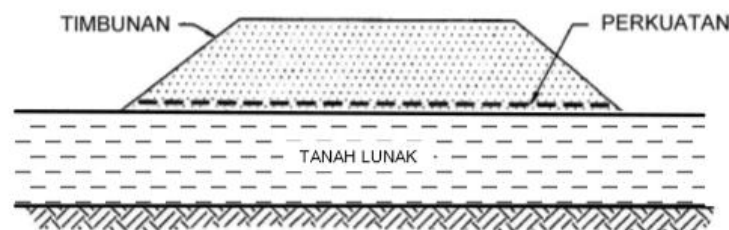
Fungsi perkuatan pada konstruksi timbunan adalah sebagai berikut:

- A. Meningkatkan faktor keamanan rencana;
- B. Menambah tinggi timbunan;
- C. Mencegah pergeseran timbunan selama pelaksanaan;
- D. Memperbaiki kinerja timbunan karenan penurunan pasca konstruksi yang seragam.

Pada umumnya aplikasi perkuatan timbunan yang dibangun diatas tanah lunak akan berada dalam dua kondisi, antara lain:

1. Timbunan dibangun di atas deposit yang seragam

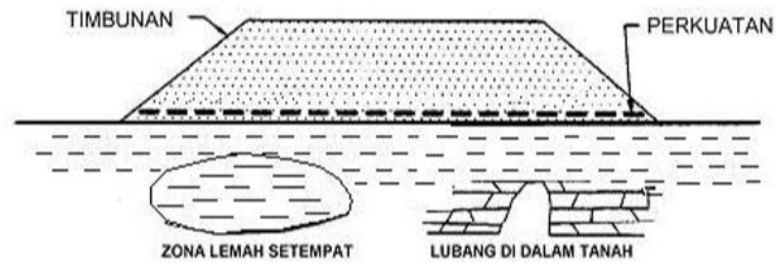
Aplikasi perkuatan timbunan unutk kondisi ini pada umumnya adalah timbunan jalan, tanggul, atau bendungan yang dibangun diatas lapisan lanau, lempung atau gambut jenuh air yang sangat lunak. dalam kondisi seperti ini, arah terkuat geosintetik ditempatkan tegak lurus terhadap garis tengah timbunan. Perkuatan tambahan dengan arah terkuat ditempatkan sejajar dengan garis tengah timbunan dapat juga dibutuhkan pada ujung timbunan.



Gambar 2. 8.Timbunan diatas tanah lunak

2. Timbunan dibangun diatas zona lemah lokal

Aplikasi perkuatan timbunan ini berada di atas tanah yang mempunya zona lemah local atau tanah berongga. Zona atau rongga ini diakibatkan oleh lubang amblasan (sink hole), aliran sungai tua, kantung lanau, lempung atau gambut. Dalam aplikasi ini, fungsi perkuatan adalah sebagai jembatan diatas zona lemah lokal atau rongga, dan perkuatan tarik yang dibutuhkan dapat lebih dari satu arah. Oleh karena itu, arah terkuat dari geosintetik harus ditempatkan dengan arah yang benar terhadap garis tengah timbunan.



Sumber (Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga. Direktorat Bina Marga)

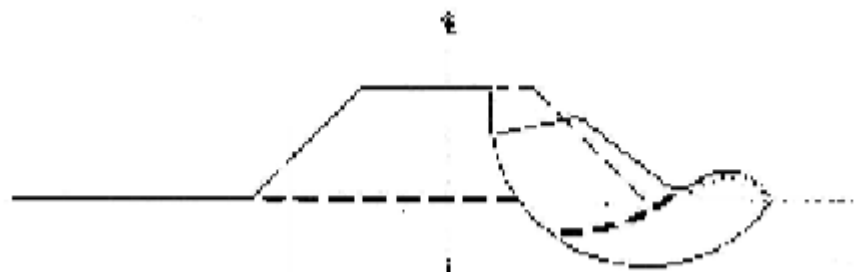
Gambar 2. 9. Timbunan diatas tanah lunak

3.5.3 Pertimbangan perencanaan

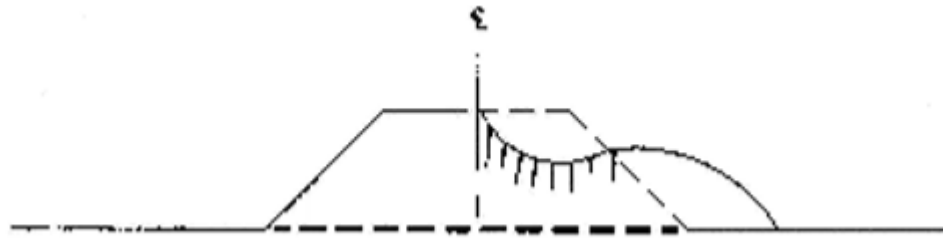
Perencanaan timbunan yang diperkuat menggunakan landasan pendekatan berupa perencanaan untuk mencegah keruntuhan. Gambar dibawah ini akan menunjukkan keruntuhan yang mungkin terjadi pada timbunan yang diperkuat. Keruntuhan pada timbunan yang diperkuat memiliki tiga kemungkinan dimana setiap kemungkinan tersebut memberikan indikasi jenis analisis stabilitas yan dibutuhkan. Selain itu, yang perlu dipertimbangkan adalah penurunan timbunan dan potensi rangkak pada perkuatan.



a. Keruntuhan daya dukung



b. Keruntuhan Rotasional

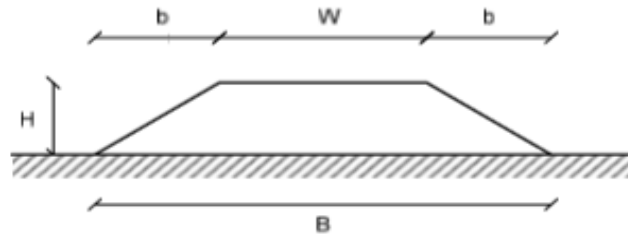


c. Keruntuhan akibat pergerakan lateral

Gambar 2. 10. Mode Keruntuhan pada Timbunan yang Diperkuat

3.5.4 Prosedur perencanaan perkuatan timbunan

Perencanaan perkuatan timbunan di atas tanah lunak menggunakan perkuatan geosintetik menggunakan prosedur yang didasarkan pada SNI No.003/BM/2019 mengenai Perencanaan dan Pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik.



Gambar 2. 11. Simbol untuk Dimensi Timbunan

Panduan geoteknik 4 No Pt T-10-2002-B (DPU, 2002b) memberikan panduan untuk analisis stabilitas tanah dalam menentukan beban lalu lintas berdasarkan kelas jalan. Beban lalu lintas dalam panduan tersebut dimodelkan sebagai beban merata yang harus diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan. Dalam analisis stabilitas, kasus tanah dasar yang sangat lunak (C_u antara 1-5 kPa), timbunan rendah kurang dari 1 m serta untuk jalan akses maka tidak diperlukan beban lalu lintas. Beban lalu lintas juga tidak perlu dimasukkan kedalam analisis penurunan pada tanah lempung. Sedangkan untuk gambut berserat perhitungan beban lalu lintas harus ditambahkan pada seluruh lebar permukaan timbunan.

Tabel 2. 1. Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m ²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Kolektor	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

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

2.5 Plaxis

Menurut Brinkgreve (2007) plaxis 2D – Versi 8 dimaksudkan sebagai suatu alat bantu analisis untuk digunakan oleh ahli geoteknik yang tidak harus menguasai metode numerik. Umumnya para praktisi menganggap bahwa perhitungan dengan metode elemen hingga yang non – linier adalah sulit dan menghabiskan banyak waktu. Tim riset dan pengembangan Plaxis menjawab masalah tersebut dengan merancang prosedur – prosedur perhitungan yang handal dan baik secara teoritis, yang kemudian dikemas dalam suatu kerangka yang logis dan mudah digunakan. Hasilnya, banyak praktisi geoteknik diseluruh dunia yang telah menerima dan menggunakannya untuk keperluan rekayasa teknis.

Plaxis Versi 8 merupakan paket program elemen hingga untuk digunakan dalam analisis deformasi dan stabilitas dua dimensi dalam rekayasa geoteknik. Aplikasi geoteknik umumnya membutuhkan model konstitutif tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku tanah maupun batuan yang non-linier, bergantung pada waktu serta anisotropis. Selain itu, karena tanah merupakan material multi – fase, maka diperlukan prosedur – prosedur khusus untuk melakukan analisis terhadap tekanan hidrostatik dan tekanan non – hidrostatik dalam tanah. Meskipun pemodelan dari material tanah sendiri merupakan hal yang penting, namun banyak proyek terowongan yang juga harus mengikutsertakan pemodelan struktur dan interaksi antara struktur dan tanah. Plaxis dilengkapi oleh beberapa fitur untuk menghadapi berbagai aspek struktur dan geoteknik yang kompleks. Ringkasan mengenai fitur – fitur penting dalam plaxis diantaranya adalah:

1. Geogrid atau geotekstil sering digunakan dalam praktek untuk timbunan yang membutuhkan kekuatan alat untuk struktur penahan tanah. Elemen – elemen ini dapat dimodelkan dalam Plaxis dengan menggunakan elemen – elemen yang khusus untuk

menahan gaya tarik. Elemen ini juga dapat dikombinasikan dengan elemen antarmuka untuk memodelkan interaksi dengan tanah sekelilingnya.

2. Model Mohr – Coulomb, model yang sederhana namun handal ini didasarkan pada parameter – parameter tanah yang dikenal baik dalam rekayasa teknik sipil. Walaupun demikian, tidak semua fitur non – linier tercakup dalam model ini. Model *Mohr Coulomb* dapat digunakan untuk menghitung tegangan pendukung yang realistis pada muka terowongan, beban batas pada pondasi dan lain – lain. Model ini juga dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan menggunakan pendekatan ‘*Reduksi phi-c*’
3. Tekanan air pori berlebih, plaxis membedakan antara tanah yang bersifat terdrainase (*drained*) dan tak terdrainase (*undrained*) untuk memodelkan tanah pasir yang permeable serta tanah lempungan yang hampir bersifat impermeabel atau kedap air. Tekanan air pori akan dihitung dalam proses perhitungan plastis saat suatu aisan tanah yang tak terdrainase menerima pembebanan. Kondisi pembebanan tak terdrainase seringkali menjadi penentu dalam stabilitas struktur – struktur geoteknik.
4. Peningkatan beban otomatis, program plaxis dapat dipilih untuk dijalankan pada modus ukuran rentang beban otomatis maupun pada ukuran rentang waktu otomatis. Hal ini menghindarkan penggunaan untuk memilih peningkatan beban yang cocok untuk perhitungan plastis dan menjamin proses perhitungan yang efisien dan handal.
5. Tahapan konstruksi, fitur yang snagta begruna dalam plaxis ini memungkinkan simulasi yang realistis dari suatu proses konstruksi ataupun penggalian, yaitu dengan cara mengaktifkan atau menonaktifkan elemen klaser atau beban, mengubah elevasi muka air, dan sebagainya. Proedur ini memungkinkan prediksi tegangan dan deformasi yang terjadi dengan realistis, misalnya pada saat penggalian tanah dalam suatu konstruksi bawah tanah.
6. Analisis konsolidasi : Semakin berkurangnya tekanan air pori berlebih terhadap waktu dapat dihitung dengan menggunakan sebuah analisis konsolidasi. Suatu perhitungan konsolidasi membutuhkan masukan berupa koefisien permeabilitas tanah untuk tiap lapisan tanah. Penggunaan prosedur peningkatan langkah waktu secara otomatis akan membuat analisis menjadi mudah dilakukan namun tetap handal.
7. Faktor keamanan : Faktor keamanan umumnya didefinisikan sebagai perbandingan dari beban runtuh terhadap beban kerja. Definisi ini tepat untuk pondasi, tetapi tidak tepat untuk turap maupun timbunan. Untuk struktur-struktur semacam ini, akan lebih tepat untuk menggunakan definisi faktor keamanan dalam mekanika tanah, yaitu perbandingan antara kuat geser yang tersedia terhadap kuat geser yang dibutuhkan

untuk mencapai keseimbangan. PLAXIS dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan ini dengan menggunakan prosedur 'Reduksi phi-c'.

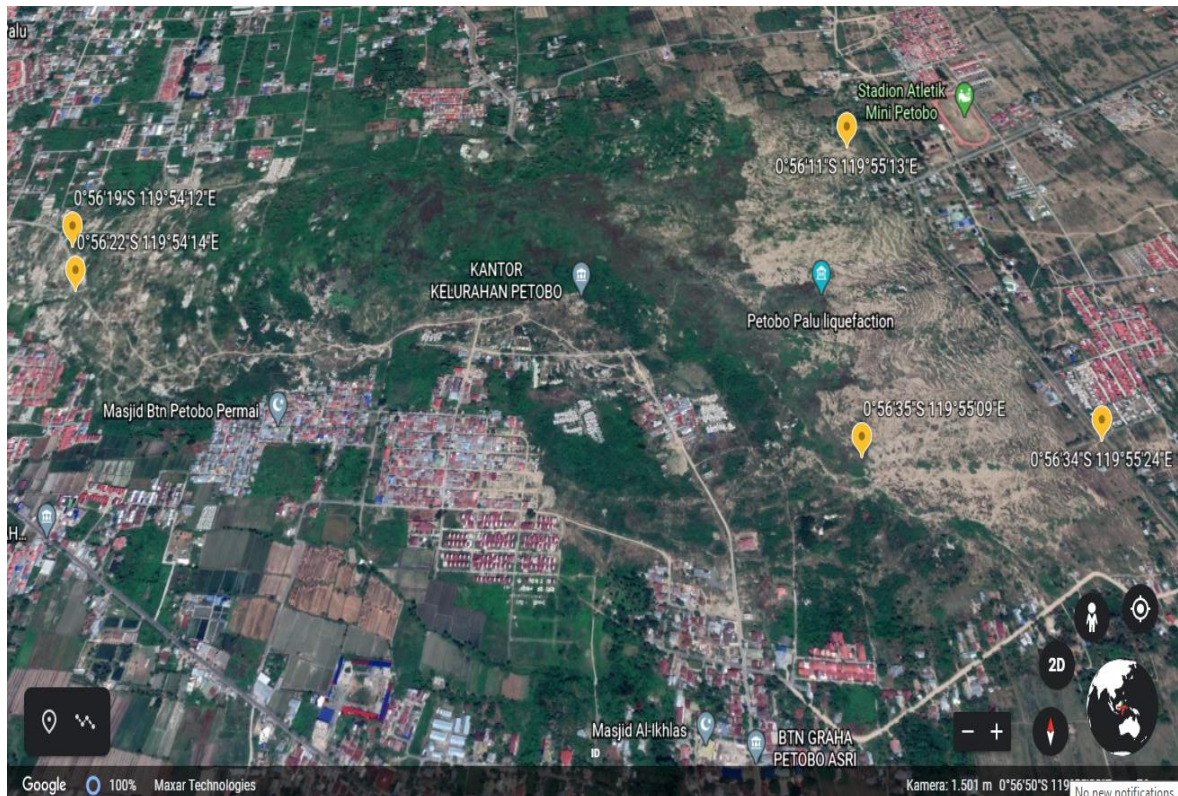
8. Tampilan dari keluaran : Program PLAXIS memiliki fitur-fitur grafis yang sangat baik untuk menampilkan hasil-hasil dari perhitungan. Nilai-nilai perpindahan, tegangan, regangan dan gaya-gaya dalam dari elemen struktural dapat diperoleh dari tabel keluaran. Keluaran berbentuk grafis maupun tabel dapat langsung dicetak, disimpan ke media penyimpan ataupun langsung ke dalam memori clipboard dari Windows® untuk dapat digunakan dalam perangkat lunak lain.
9. Lintasan tegangan : Sebuah pilihan khusus tersedia untuk menggambarkan kurva beban terhadap perpindahan, lintasan tegangan atau jalur tegangan, lintasan regangan, kurva tegangan-regangan serta kurva penurunan terhadap waktu. Visualisasi dari lintasan tegangan akan memberikan informasi yang berharga terhadap perilaku tanah secara lokal dan memungkinkan analisis yang mendetil terhadap hasil dari perhitungan dengan PLAXIS.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Pengambilan Data Penelitian

Berdasarkan Pusat Studi Gempa Nasional pengamatan lapangan pasca gempa Palu 2018 mulai 9 Oktober – 12 Oktober 2018. Dari aspek geoteknis, pengamatan dilakukan secara khusus pada lokasi yang terkena dampak signifikan akibat gempa ini, yaitu Balaroa, Jono Oge, Petobo, dan Sibalaya Selatan. Lokasi – lokasi tersebut memiliki jarak 1 km hingga 7,2 km dari sesar Palu – Koro yang dianggap sebagai sumber utama gempa Palu 2018.

Lokasi pengambilan sampel dalam penelitian ini adalah kelurahan Petobo kota Palu. Kerusakan signifikan bangunan pasca gempa Palu 2018 di Petobo terletak sekitar 7,2 km di timur sesar Palu – Koro. Kerusakan ini meliputi area sekitar 158 Ha dengan keliling 6,58 km. Area Petobo yang terdampak umumnya adalah perumahan dan jalan. Pergerakan tanah di lokasi ini memiliki *crown* di dekat stadion Minipetobo dan *toe* di sekitar Jl. Dewi Sartika. Kemiringan awal antara *crown* dan *toe* diperkirakan sekitar 1° . Pengamatan lapangan di Petobo menunjukkan adanya indikasi pergerakan tanah terjadi akibat *flow* likuifaksi. Namun demikian, penyelidikan tanah lanjutan sedang dilaksanakan di lokasi ini untuk dapat mengetahui mekanisme pergerakan tanah yang sebenarnya terjadi (Pusat Studi Gempa Nasional).



Gambar 3. 1. Lokasi pengambilan sampel tanah

Berikut adalah titik lokasi pengambilan sampel di kelurahan Petobo, Kota Palu:

Tabel 3. 1. Titik Koordinat Pengambilan Sampel

No.	Nomor Sampel	Koordinat
1.	Sampel 1	0°56'11"S 119°55'13"E
2.	Sampel 2	0°56'34"S 119°55'24"E
3.	Sampel 3	0°56'35"S 119°55'09"E
4.	Sampel 4	0°56'22"S 119°54'14"E
5.	Sampel 5	0°56'19"S 119°54'12"E

3.2 Jenis Pengujian

Pada penelitian ini, sampel diuji di laboratorium mekanika tanah teknik sipil Universitas Negeri Semarang. Jenis pengujian yang dilakukan adalah *indeks properties*, analisa butiran (*grain size*), dan pengujian triaksial *Unconsolidated Undrained* dan *Consolidated Undrained*.

3.3 Tahap Persiapan

Berikut adalah persiapan pengambilan tanah sampel untuk pengujian di laboratorium:

1. Penentuan lima titik lokasi pengambilan sampel tanah.
2. Sebelum pengambilan tanah sampel, tanah pada lokasi pengambilan sampel digali sedalam 60 cm dari permukaan tanah.
3. Tanah diambil secukupnya dari kedalaman 60 cm hingga secukupnya.
4. Tanah yang sudah diambil dimasukkan kedalam karung.
5. Tanah yang diambil termasuk pada tanah kondisi terganggu (*Tanah Disturb*)
6. Tanah yang sudah diambil, dimasukkan kedalam karung dengan lima karung berbeda.
7. Tanah dikirim dari kota Palu, kelurahan Petobo ke Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
8. Tanah dikeringkan dan dihaluskan menggunakan palu dan martil karet sampai tanah tersebut lolos saringan no. 40.
9. Tanah yang sudah lolos saringan no. 40 dilakukan pengujian sifat fisik tanah dan pengujian kuat geser tanah menggunakan uji triaksila tipe CU (*Consolidated Undrained*).

3.4 Metode Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data terkait penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dalam dua tahap, yaitu berupa data primer dan data sekunder.

3.4.1 Data primer

Data primer didapatkan dari hasil pengujian sampel tanah di laboratorium. Berikut jenis pengujian tanah yang dilaksanakan beserta prosedur pengujiannya :

3.4.1.1 Pengujian Kadar Air (ASTM 2216 – 10)

Berdasarkan ASTM 2216 – 10 pengukuran kadar air terutama digunakan untuk menentukan berat volume di tanah. Kadar air juga merepresentasikan besarnya dari kembang susut dan kekuatan karakteristik tanah kohesif seperti yang ditunjukkan dalam pengujian batas cair dan batas plastis. Kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat tanah kering dalam persen.



Gambar 3. 2. Proses pengovenan sampel tanah

3.4.1.2 Pengujian Berat Jenis (ASTM 854 – 14)

Berdasarkan ASTM D854 – 14 berat jenis tanah (G_s) adalah kepadatan massa pada mineral butiran tanah yang dinormalisasi relative terhadap kepadatan massa air. Atau dapat dilihat sebagai masa volume tertentu kepadatan tanah dinormalisasi relative terhadap massa yang setara volume air. Berat jenis biasanya dinyatakan dengan menggunakan tiga digit. Untuk tanah jenis pasir, G_s serung diasumsikan 2,65 karena ini adalah berat jenis kuarsa. Berdasarkan mineralogi, tanah lempung lebih bervariasi, dan sering diasumsikan berada diantara 2,70 dan 2,80 tergantung pada mineralogy.



Gambar 3. 3. Piknometer 250 ml untuk pengujian berat jenis

3.4.1.3 Pengujian Berat Volume (ASTM 7263 – 09)

Metode pengujian berat volume ini untuk menentukan kepadatan tanah dengan metode drive-silinder. Kepadatan tanah dinyatakan sebagai massa tanah dibagi dengan volume tanah dan biasanya ditulis dalam gram per centimeter kubik (g/cm^3).



Gambar 3. 4. Penimbangan sampel tanah selesai oven

3.4.1.4 Pengujian Analisa Butiran (ASTM 6913 – 04 (Rcap 09))

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan distribusi ukuran butir (ukuran butir dibandingkan persen berat) dari tanah, dan untuk menentukan persentase lolos (melewati saringan nomor 200) di tanah. Informasi ini digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan referensi USCS. Pengujian analisa butiran menggunakan dua metode pengujian yakni penyaringan mekanik (*Mechanical Sieving*) dan analisis hydrometer (*Hydrometer analysis*).

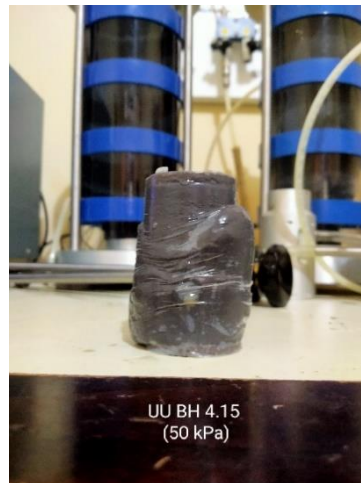


Gambar 3. 5. Pengujian Hydrometer analysis

3.4.1.5 Pengujian Triaxial

Unconsolidated Undrained (UU) (ASTM 2850 – 15)

Uji triaxial tidak terkonsolidasi tidak terdrainase (Unconsolidated Undrained triaxial strength test) adalah sebuah cara untuk mengukur kekuatan geser tidak terdrainase (S_u) specimen silinder yang terkonsolidasi berlebihan pada tanah kohesif. Informasi ini digunakan untuk memperkirakan daya dukung tanah pada pondasi langsung dan struktur lain saat ditaruh dideposit tanah kohesif. Dalam pengujian ini specimen ditempatkan dalam sel triaxial tertekan dengan σ_3 sama dengan tekanan sel, dan σ_1 sama dengan tekanan sel ditambah tegangan deviator yang diterapkan diatas specimen dengan sebuah piston. Pengujian triaxial tidak terkonsolidasi tidak terdrainase membutuhkan penggunaan sel triaxial. Spesimen tanah disegel dalam membrane lateks, ditempatkan dengan penekanan, sel triaxial diisi air, dan diuji.



Gambar 3. 6. Kondisi sampel setelah pengujian triaxial *Unconsolidated Undrained*

3.4.2 Data Sekunder

3.4.2.1 Geotekstil Untuk Perkuatan Timbunan pada Tanah Lunak

Menurut Hardiyatmo (2013), geotekstil untuk perkuatan timbunan dapat berupa geotekstil anyam dan nir anyam, maupun geogrid. Fungsi geotekstil, dalam hal ini sebagai tulangan, pemisah atau drainase. Bila timbunan terletak pada tanah lunak, deformasi yang berlebihan menyebabkan timbunan menjadi melengkung ke bawah. Melengkungnya tubuhnya timbunan ini merusakkan bangunan di atasnya. Pada prinsipnya, timbunan berperilaku sama seperti balok yang dibebani, yaitu bila timbunan melengkung terlalu tajam, maka akan timbul retak – retak dibagian bawahnya. Analisis mekanika tanah dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi tanah dan geometri timbunannya.

Pada penelitian ini, jenis geotekstil yang akan digunakan dalam analisis numeris perkuatan tanah adalah geotekstil woven dengan type Tencate Mirafi PET dengan nilai kuat tarik berkisar 0 – 1600 kN/m. Geotekstil ini diproduksi oleh Tencate Geosynthetic. Geotekstil ini dibuat dari

benang poliester berketahanan tinggi yang sifatnya berkuatan tinggi dalam jangka panjang ideal untuk aplikasi perkuatan timbunan.

3.5 Analisis numeris perkuatan tanah

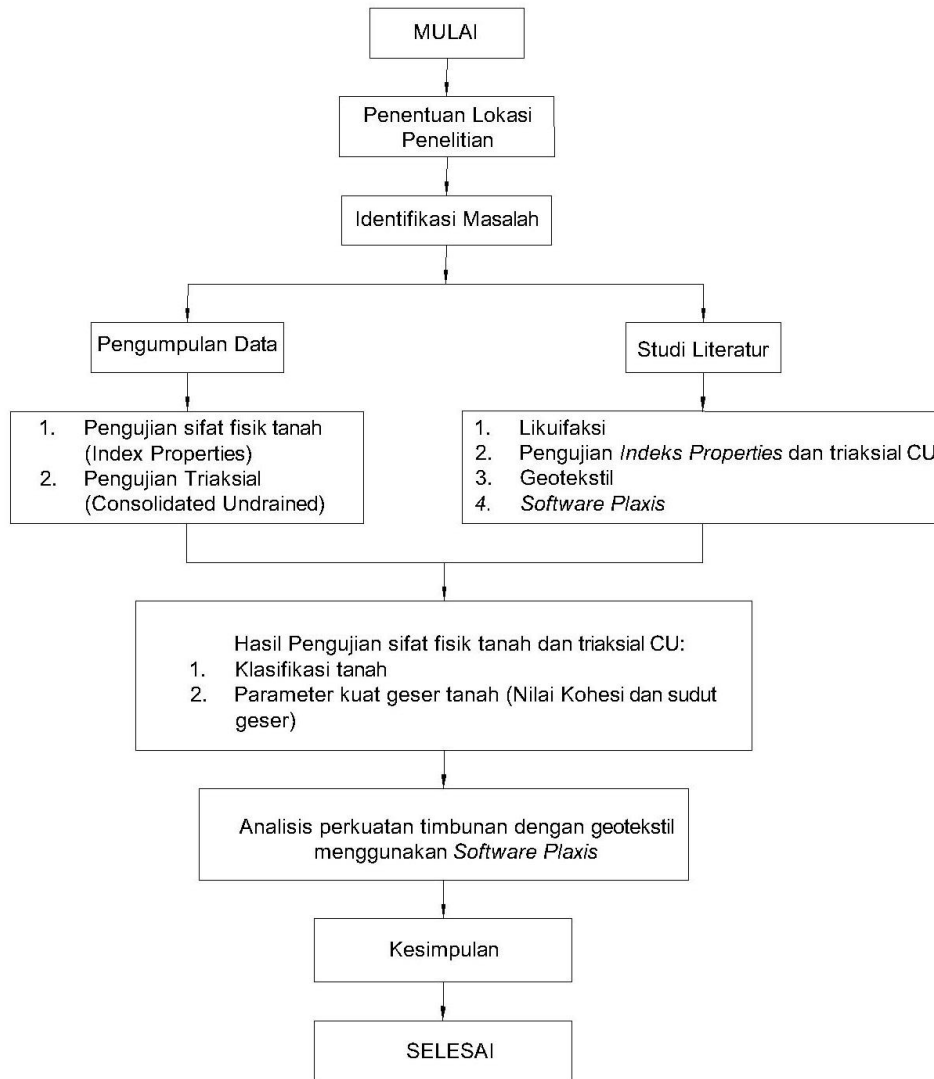
3.5.1 Plaxis

Menurut Brinkgreve (2007) plaxis 2D – Versi 8, untuk setiap proyek baru yang akan dianalisis, penting untuk terlebih dahulu membuat model geometri. Sebuah model geometri adalah representasi 2D (dua dimensi) dari model tiga dimensi sesungguhnya, dan terdiri dari komponen titik, komponen garis serta komponen klaster. Sebuah model geometri yang lengkap akan meliputi massa tanah yang berbeda, elemen – elemen struktural, tahapan – tahapan konstruksi serta pembebanan. Ukuran model harus dibuat cukup besar sedemikian rupa sehingga batas – batas model tidak mempengaruhi hasil dari permasalahan yang dianalisis.

Konstruksi suatu timbunan di atas tanah lunak dengan elevasi muka air tanah yang tinggi akan menyebabkan peningkatan tekanan air pori. Akibat perilaku tak terdrainase ini, maka tegangan efektif akan tetap rendah sehingga diperlukan rentang waktu konsolidasi tertentu agar timbunan dapat dikonstruksi dengan aman. Selama proses konsolidasi tekanan air pori berlebih akan terdisipasi sehingga tanah dapat memperoleh kuat geser yang cukup agar proses konstruksi dapat dilanjutkan. Plaxis 2D – versi 8 membahas mengenai suatu konstruksi timbunan untuk jalan dimana mekanisme di atas akan dianalisis secara mendetil. Dalam analisis ini akan diperkenalkan tiga buah pilihan perhitungan yang baru, yaitu analisis konsolidasi, analisis jaring elemen yang diperbaharui dan perhitungan faktor keamanan dengan menggunakan *Reduksi phi-c*.

3.6 Alur Penelitian

Alur penelitian dalam memperoleh hasil akhir dari penelitian ini tersaji dalam diagram alur pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 7.Diagram Alur Penelitian

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium untuk penelitian ini adalah pengujian sifat fisik tanah dengan sampel tanah yang diperoleh dari lima titik *bore hole* pada lokasi yang berbeda disetiap *bore hole*-nya. Pengujian sifat fisik tanah ini meliputi pengujian *indeks properties* tanah, pengujian analisis butiran, dan triaxial UU (*unconsolidated undrained*). Metode pengujian pada penelitian ini menggunakan acuan dari ASTM.

4.1.1 Pengujian indeks properties Tanah

Pengujian *indeks properties* terdiri dari pengujian kadar air, pengujian berat jenis, dan pengujian berat volume. Dalam penelitian ini, pengujian *indeks properties* ini dilakukan dengan dua pengujian meliputi pengujian berat volume dan pengujian berat jenis. Sedangkan untuk pengujian kadar air ditiadakan dikarenakan kondisi tanah yang sudah kering akibat mobilisasi sampel dari proses pengambilan di kota Palu hingga sampai pada laboratorium mekanika tanah teknik sipil Universitas Negeri Semarang. Meskipun pengujian kadar air ditiadakan, nilai kadar air tetap didapat dari perhitungan melalui kerapatan relatif tanah (D_r) sebesar 20% yang telah ditentukan oleh peneliti. Data hasil pengujian dan perhitungan *indeks properties* tanah dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Hasil pengujian *indeks properties* tanah

No	Judul Pengujian	Hasil					Satuan	Standar
		1	2	3	4	5		
	Sampel Tanah							
1	Kadar air (w)	0,06	0,05	0,08	0,07	0,07	%	ASTM D2216-10
2	Berat jenis (Gs)	2,67	2,65	2,65	2,66	2,66	-	ASTM D854-14
3	Berat volume tanah kering (γ_d)	2,10	1,75	1,76	1,58	1,41	gr/cm ³	ASTM D7263-09
4	Porositas (n)	0,20	0,34	0,32	0,39	0,47	%	ASTM D7263-09
5	Angka pori (e)	0,26	0,52	0,48	0,65	0,87	-	ASTM D7263-09

Berdasarkan hasil pengujian lima sampel tanah pada penelitian ini, diketahui kadar air yang dihitung berdasarkan kerapatan relatif tanah (D_r) sebesar 20% memiliki nilai yang cukup rendah.

Pengujian berat jenis yang dilakukan pada suhu 27° C ini, menunjukkan nilai dengan rentan 2,65 hingga 2,66. Berdasarkan klasifikasi tanah (Wesley, 1977) dalam (Amaanullah, 2017) yang dapat dilihat pada tabel 4.2 dengan nilai berat jenis tersebut termasuk dalam jenis tanah pasir.

Tabel 4. 2. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai berat jenis (Wesley, 1977)

Jenis Tanah	Berat jenis, Gs
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung anorganik	2,58 – 2,65
Lempung organik	2,68 – 2,75

Pada pengujian berat volume tanah didapatkan hasil pengujian berupa nilai berat volume kering (γ_d), porositas, dan angka pori. Berat volume kering (γ_d) merupakan hubungan antara berat butiran tanah padat dengan volume tanah total. Pada pengujian sampel satu dihasilkan nilai berat volume kering (γ_d) sebesar 2,10 gr/cm³ atau 21 kN/m³, yang berarti butiran tanah pada setiap volume 1 m³ memiliki berat 21 kN, hal tersebut juga berlaku pada sampel tanah 2, 3, 4 dan 5.

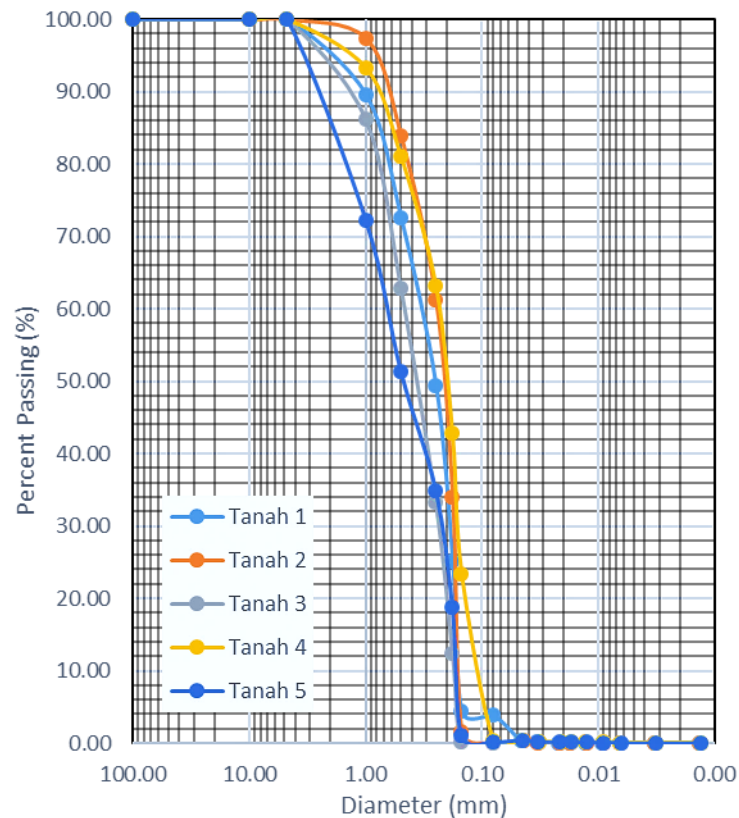
Parameter porositas menunjukkan perbandingan antar volume pori yang terdapat dalam tanah dengan volume tanah secara keseluruhan. Sedangkan nilai angka pori menunjukkan perbandingan antar volume pori yang terdapat dalam tanah dengan volume butir tanah. Hasil pengujian sampel tanah satu pada penelitian ini menunjukkan nilai angka pori sebesar 0,26. Hasil tersebut menunjukkan perbandingan antara volume pori dengan volume butir tanah adalah 0,26:1.

4.1.2 Pengujian gradasi butiran tanah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ukuran butir dari suatu tanah dengan cara analisis saringan dan analisis hydrometer. Hasil pengujian karakteristik tanah berdasarkan pengujian analisis gradasi butiran tanah (*grain size*) terangkum pada tabel 4.3, dan grafik klasifikasi butiran tanah (*sieve size*) dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4. 3. Hasil pengujian analisis butiran tanah

Parameter Pengujian	Satuan	Hasil				
		1	2	3	4	5
Sieve size (D_{10})	mm	0,15	0,15	0,15	0,08	0,15
Sieve size (D_{30})	mm	0,18	0,15	0,18	0,15	0,18
Sieve size (D_{50})	mm	0,25	0,18	0,25	0,18	0,50
Sieve size (D_{60})	mm	0,25	0,18	0,25	0,18	0,50
Pasir, <i>Grain size</i> (4,75 mm – 0,075 mm)	%	96,17	99,86	99,97	99,66	99,85
Lanau, <i>Grain size</i> (0,075 mm – 0,002 mm)	%	3,83	0,14	0,03	0,34	0,15
Coefficien of uniformity (C_u)		1,67	1,2	1,67	2,25	3,33
Coefficien of gradation (C_c)		0,86	0,83	0,86	1,56	0,43
Klasifikasi USCS					SP	

**Gambar 4. 1.** Grafik gradasi butiran tanah (Grain Size)

Pada Tabel 4.3 didapatkan prosesntase komposisi besar kandungan lanau dan pasir pada lima sampel tanah yang diuji. Dari pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel tanah yang

diambil dalam penelitian ini memiliki kadar pasir yang lebih banyak. Hasil pengujian ini juga ditunjukkan berdasarkan tabel USCS (*Unified System Clasification of Soil*) yang menunjukkan klasifikasi tanah berjenis pasir berlempung (SP) yang ditunjukkan oleh tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Klasifikasi jenis tanah berdasarkan USCS

Criteria for assigning group symbols				Group symbol
Coarse-grained soils More than 50% of retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Less than 5% fines ^a	$C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^c$	GP
		Gravels with Fines	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3)	GM
		More than 12% fines ^{a,d}	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	GC
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
		Less than 5% fines ^b	$C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^c$	SP
		Sands with Fines	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3)	SM
		More than 12% fines ^{b,d}	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	SC
Fine-grained soils 50% or more passes No. 200 sieve	Silts and clays Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3) ^e	CL
		Organic	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) ^e	ML
	Silts and clays Liquid limit 50 or more	Inorganic	$\frac{\text{Liquid limit — oven dried}}{\text{Liquid limit — not dried}} < 0.75$; see Figure 5.3; OL zone	OL
			PI plots on or above "A" line (Figure 5.3)	CH
		Organic	PI plots below "A" line (Figure 5.3)	MH
			$\frac{\text{Liquid limit — oven dried}}{\text{Liquid limit — not dried}} < 0.75$; see Figure 5.3; OH zone	OH
Highly Organic Soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			Pt

4.1.3 Pengujian Triaksial

Dalam pembuatan benda uji untuk pengujian triaksial *Unconsolidated Undrained*, kadar air ditentukan berdasarkan kerapatan relative (D_r) 20%. Dari kadar air tersebut dihasilkan berat tanah dan berat air pada masing masing sampel tanah yang akan dijadikan benda uji, yang kemudian dicetak kedalam mold berdiamater 37,5 mm dan tinggi 76,4 mm. Berikut adalah data benda uji:

Tabel 4. 5. Data benda uji

No.	Keterangan	Satuan	Sampel Tanah				
			1	2	3	4	5
1	Kadar Air	%	0,06	0,05	0,08	0,07	0,07
2	Berat Tanah	gr	153,59	128,23	128,94	115,75	102,72
3	Berat Air	gr	9,17	6,68	9,68	8,14	6,72

Berikut adalah hasil pengujian *Unconsolidated Undrained*:

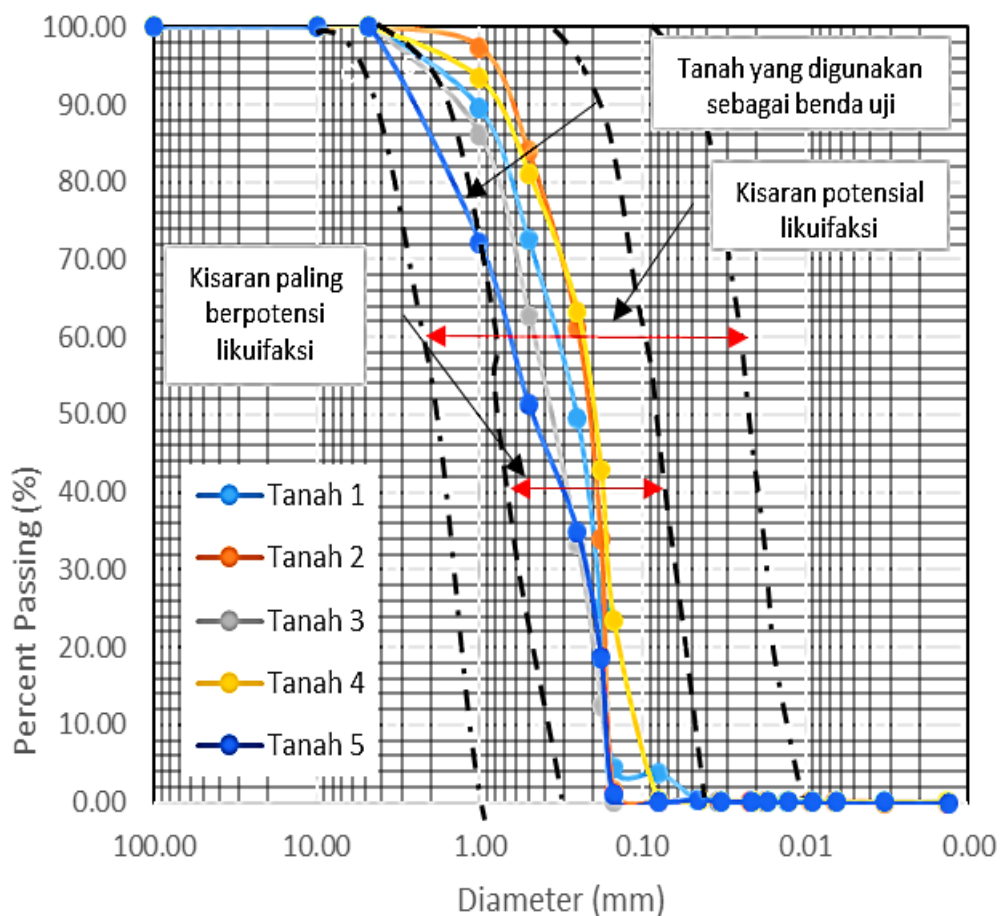
Tabel 4. 6. Nilai kohesi dan Sudut Geser hasil pengujian *Unconsolidated Undrained*

No.	Kode Sampel	Nilai Kohesi, c (kg/cm ²)	Sudut Geser, ϕ (°)
1.	Tanah 1	45,184	19
2.	Tanah 2	55,87	5

3.	Tanah 3	47,577	19
4.	Tanah 4	83,805	7
5.	Tanah 5	14,15	33

4.2 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi

Berdasarkan gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa lima sampel tanah yang telah diuji gradasi butiran (*grain size*) dengan pengujian saringan dan pengujian hydrometer di laboratorium teknik sipil Universitas Negeri Semarang termasuk kedalam jenis tanah yang berpotensi likuifaksi.



Gambar 4. 2. Grafik Analisa potensi likuifaksi berdasarkan gradasi butiran tanah (Grain Size) menurut usulan Sitharam

4.3 Perencanaan Perkuatan Geotekstil untuk timbunan

Berdasarkan pengujian gradasi butiran, dianalisis bahwa kelima sampel tanah yang diuji termasuk kedalam tanah berpasir dan berpotensi mengalami likuifaksi. Tanah berpasir memiliki permeabilitas yang relatif lebih tinggi. Ketika air di pori – pori tidak bisa mengalir dengan bebas, gaya geser menyebabkan kontraksi di tanah berpasir yang longgar dan air yang terperangkap. Likuifaksi atau pencairan tanah bisa terjadi pada kondisi tanah pasiran saat terjadi

gempa kuat. Dalam mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan penimbunan tanah (*embankment*) dengan perkuatan geotekstil. Sebagai perkuatan timbunan, geotekstil memiliki fungsi meningkatkan faktor keamanan rencana, menambah tinggi timbunan, mencegah pergeseran timbunan selama pelaksanaan, serta memperbaiki kinerja timbunan karena penurunan pasca konstruksi yang seragam.

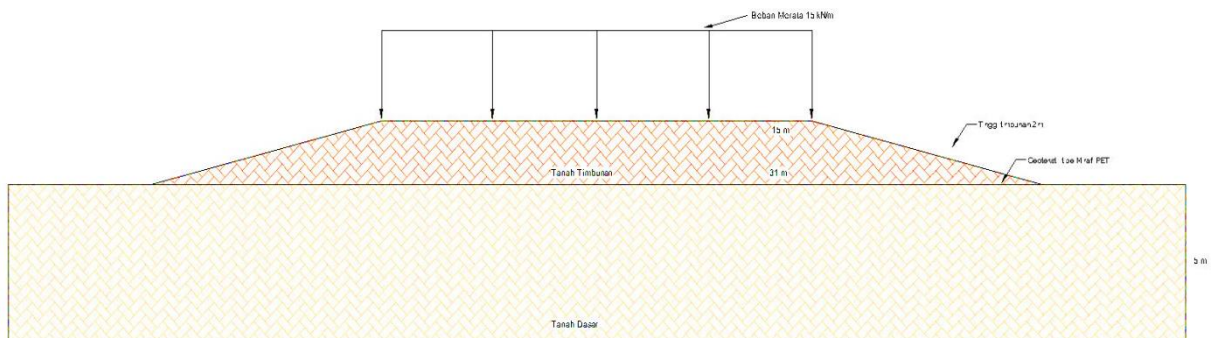
Pada penelitian ini, geotekstil yang digunakan bertujuan sebagai stabilisasi *embankment* (timbunan). Jenis geosintetik yang digunakan dalam penelitian ini adalah geotekstil tipe Tencate Mirafi dengan nilai kuat tarik berkisar 0 – 1600 kN/m. Geotekstil dipasang diantara tanah dasar dan tanah timbunan dengan dimensi sesuai dengan panjang timbunan yakni 31 m.

4.3.1 Permodelan Timbunan

Dalam suatu perencanaan konstruksi dalam bidang teknik sipil, tidak jarang ditemukan kondisi tanah asli yang labil sehingga daya dukung tanah yang rendah dan tidak mampu menahan suatu sitem pembebanan diatasnya. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan itmbunan tanah diatas lapisan tanah asli dengan tanah yang memiliki potensi daya dukung memadai. Jenis tanah inilah yang dinamakan tanah timbunan. Pada penelitian ini, digunakan timbunan untuk mengatasi permasalahan tanah likuifaksi. Berikut data permodelan timbunan yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4. 7. Data permodelan timbunan

Tinggi timbunan, H	: 2,0 m
Panjang timbunan, L	: 31 m
Lebar atas/puncak timbunan, W	: 15 m
Kemiringan lereng, b/H	: 4H : 1V
Beban luar	: 15 kN/m ² (Jalan Primer dengan sistem jaringan Arteri)



Gambar 4. 3 Permodelan Timbunan

4.3.2 Parameter Timbunan dengan geotekstil

Tabel 4. 8. Data Geotekstil

Jenis Geosintetik	: Woven
Merk dan Type	: Tencate Mirafi
Aplikasi	: Menahan pergerakan timbunan kearah luar
Tensile Strength	: 0 – 1600 kN/m

Tabel 4. 9. Data parameter timbunan dengan geotekstil

Simbol	Keterangan	Nilai	Satuan
C_u	Kohesi dari tanah dasar	47,57	(kg/cm ²)
G_s	Berat Jenis tanah dasar	2,60	
ϕ'	Sudut Geser tanah timbunan	33	°
γ_{fill}	Berat jenis tanah timbunan	2,63	
R	Kuat geser geotekstil per satuan panjang	100	kN/m
H	Ketinggian timbunan	2	m
W	Lebar puncak timbunan	15	m
D	Kedalaman tanah lunak	5	m
q	Beban	15	kN/m
n	Gradien Kemiringan tanah	4H:1V	

4.3.3 Data Tanah dasar (Menggunakan data tanah 2)

Tanah dasar merupakan bagian terpenting yang akan menjadi tumpuan dan mendukung seluruh beban konstruksi yang berada di atasnya. Untuk itu dari lima sampel tanah yang telah diuji, diambil tanah 2 dengan nilai kohesi dan sudut geser yang rendah. Dimana dalam penelitian ini, tanah 2 ini akan diperkuat dengan tanah timbunan dan perkuatan tanah berupa geotekstil. Berikut data properties tanah dasar yang menggunakan data sampel tanah 2.

Tabel 4. 10. Data tanah dasar

γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	E_{ref} (kN/m ²)	μ	e	c (kN/m ²)	ϕ (°)	Ψ
20,9	17,5	13000	0,3	0,52	55,87	5	0

4.3.4 Data Tanah timbunan (Menggunakan data tanah 4)

Dalam suatu perencanaan konstruksi dalam bidang teknik sipil, tidak jarang ditemukan kondisi tanah asli yang labil sehingga daya dukung sangat rendah dan tidak memungkinkan untuk menahan suatu sistem pembebanan di atasnya. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan timbunan tanah diatas lapisan tanah asli dengan tanah yang memiliki potensi daya dukung memadai. Dikarenakan tanah dasar yang digunakan adalah tanah yang memiliki nilai kohesi dan sudut geser rendah, maka tanah timbunan yang digunakan adalah sampel tanah 4. Tanah 4 memiliki nilai kohesi dan sudut geser yang lebih tinggi dibandingkan tanah 2, untuk itu tanah 4 tepat dijadikan sebagai tanah timbunan untuk tanah 2. Berikut adalah data tanah timbunan yang menggunakan data properties data tanah 4.

Tabel 4. 11. Data tanah timbunan

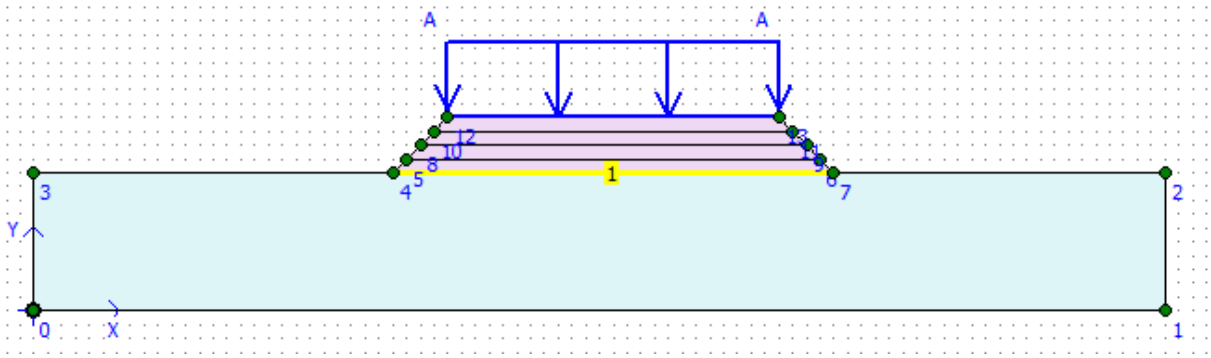
γ_{sat}	γ_{unsat}	E_{ref}	μ	e	c	ϕ	Ψ
(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ²)			(kN/m ²)	(°)	
19,8	15,8	8000	0,3	0,65	83,805	7	0

4.4 Analisis Numeris Perencanaan Perkuatan Geotekstil untuk timbunan menggunakan metode Plaxis

Program yang digunakan dalam penelitian ini adalah program PLAXIS 8.6. Program plaxis adalah program analisa geoteknik, terutama untuk analisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa hingga mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dianalisa memungkinkan untuk diinput dan diteliti. Program ini menyediakan berbagai analisa seperti perpindahan total, jaring elemen terdeformasi, tekanan air pori aktif, tekanan air pori berlebih, penurunan, tegangan – tegangan yang terjadi pada tanah, angka keamanan, pola keruntuhan, dan lain – lain.

4.4.1 Analisis Permodelan Timbunan

Perkuatan timbunan dengan geotekstil untuk tanah lunak ini dimodelkan dengan *software* Plaxis. Analisis permodelan timbunan digunakan untuk mengetahui kondisi eksisting timbunan terhadap nilai faktor keamanan yang dihasilkan. Gambar 4.6 menunjukkan permodelan timbunan yang nantinya akan dilakukan analisis menggunakan *software* plaxis.



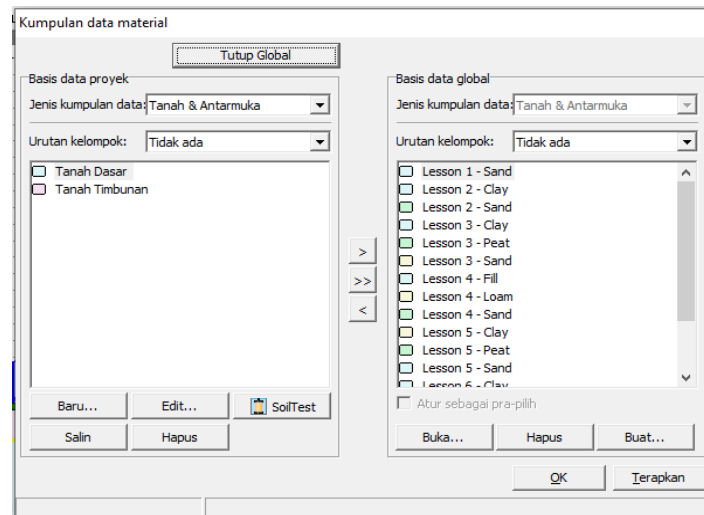
Gambar 4. 4. Permodelan timbunan menggunakan software plaxis

4.4.2 Analisis program masukan

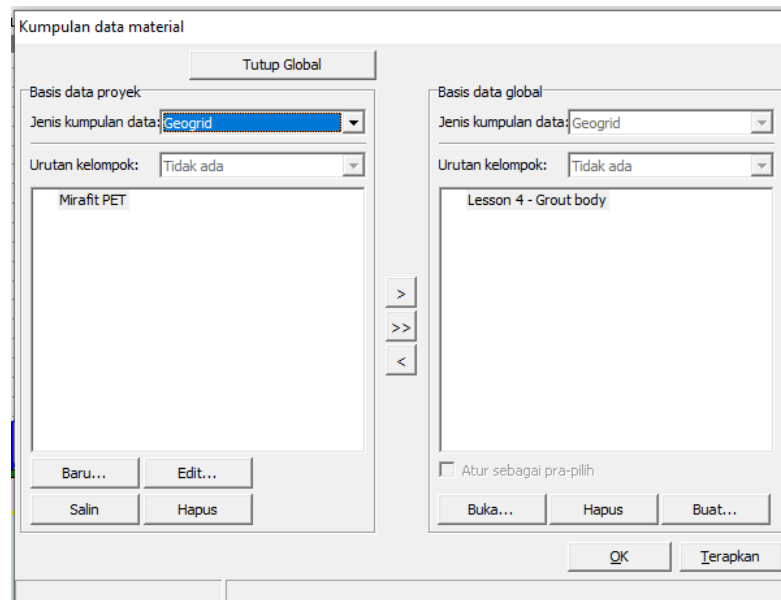
Pada analisis program masukan ini terbagi menjadi beberapa tahapan yang menyangkut data kondisi eksisting pada tanah. Beberapa tahap tersebut yaitu mengenai sifat – sifat material yang pada lapisan tanah, perilaku kondisi tanah, pembuatan jaring – jaring elemen, serta kondisi air tanah.

4.4.2.1 Sifat – sifat material

Berdasarkan jenis sifat – sifat material dalam plaxis, pada penelitian ini digunakan jenis material yaitu data tanah dan antarmuka (*soil and interfaces*). Tampilan pada plaxis dalam pemilihan sifat - sifat material dapat dilihat pada Gambar 4.7.



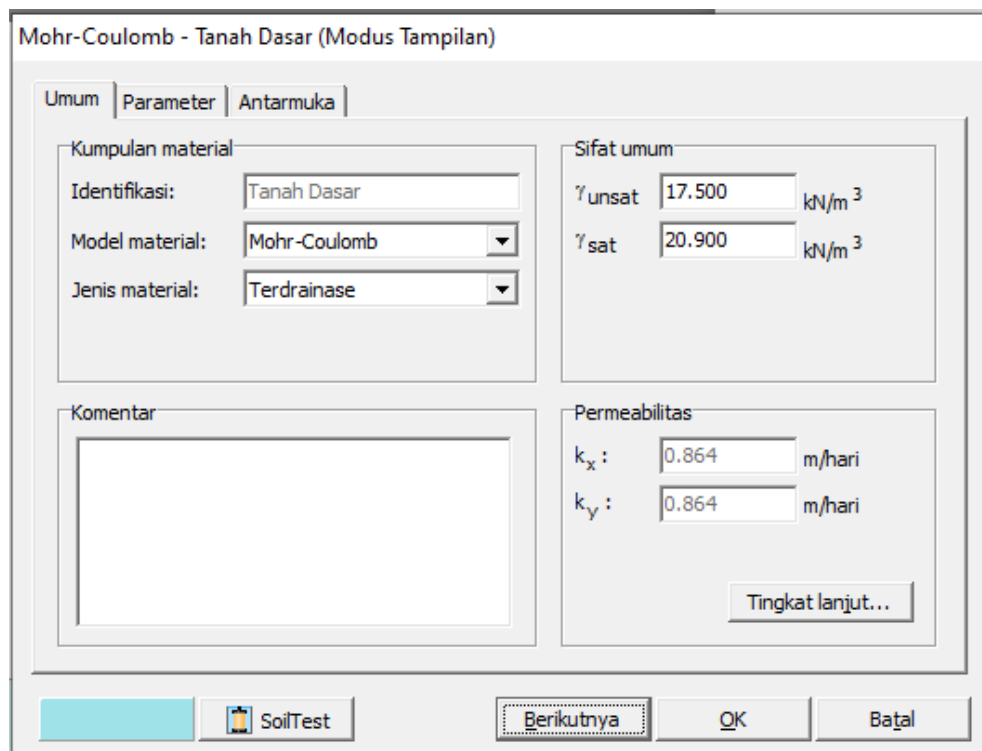
Gambar 4. 5. Tampilan pemilihan sifat material pada jendela plaxis



Gambar 4. 6. Tampilan pemilihan sifat material pada jendela plaxis

4.4.2.2 Permodelan perilaku tanah

Pemilihan model material dalam permodelan ini digunakan *Model Mohr Coloumb* yaitu digunakan untuk pendekatan awal terhadap perilaku tanah secara umum. Model ini meliputi lima buah parameter, yaitu Modulus Young (E), angka poisson (ν), kohesi (c), sudut geser (ϕ), dan sudut dilantasi (ψ). Tampilan pemilihan model perilaku tanah dan parameter tanah pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4. 7. Tampilan pemilihan model perilaku tanah pada jendela plaxis

Mohr-Coulomb - Tanah Dasar

Umum Parameter Antarmuka

Kekakuan

E_{ref} : 1.300E+04 kN/m²

ν (nu) : 0.300

Kekuatan

c_{ref} : 47.570 kN/m²

ϕ (phi) : 19.000 °

ψ (psi) : 0.000 °

Alternatif

G_{ref} : 5000.000 kN/m²

E_{oed} : 1.750E+04 kN/m²

Kecepatan

V_s : 52.760 m/dtk

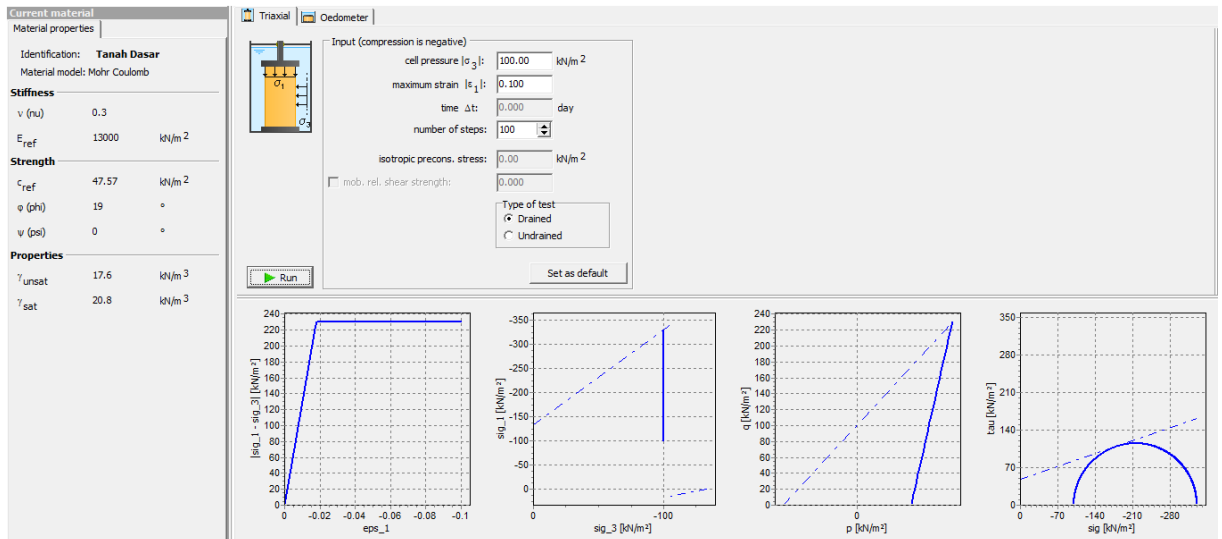
V_p : 98.710 m/dtk

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batal

Gambar 4. 8. Tampilan pemilihan parameter tanah pada jendela plaxis

Berdasarkan data parameter tanah yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium, berikut hasil penginputan data parameter tanah pada permodelan timbunan menggunakan *software* Plaxis yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.

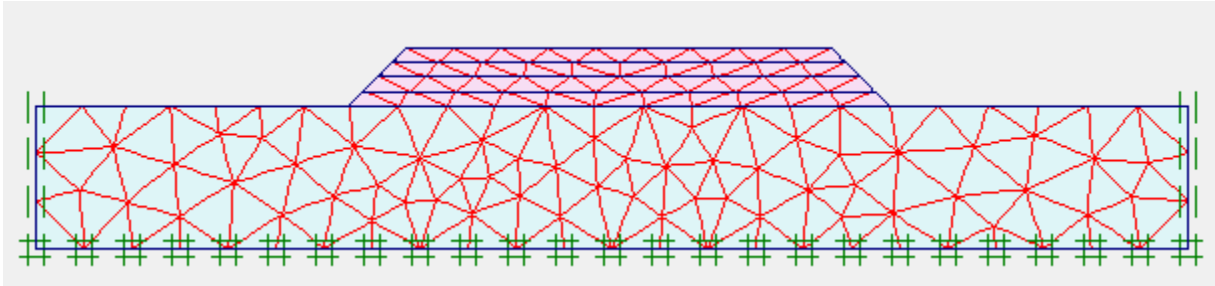


Gambar 4. 9. Hasil input data parameter tanah pada permodelan timbunan menggunakan *software* Plaxis.

4.4.2.3 Perlakuan jaring – jaring elemen (*Generate Mesh*)

Masukan yang diperlukan untuk pembentuk jaring elemen adalah sebuah model geometri yang terdiri dari titik, garis dan klaster, dimana klaster (bidang yang tertutup oleh garis – garis) secara otomatis dibentuk dalam pembuatan model geometri. Garis dan titik geometri juga dapat

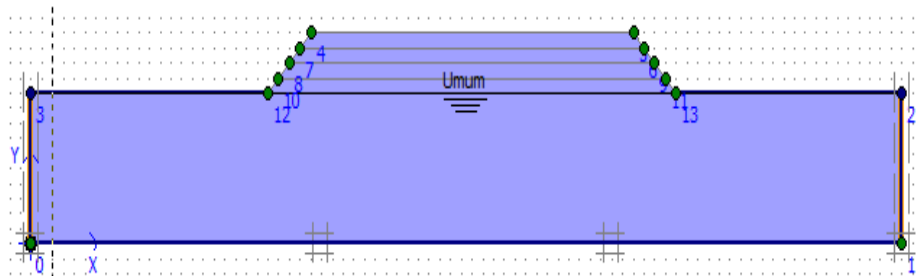
digunakan untuk mempengaruhi posisi dan distribusi dari elemen elemen. Gambar 4.11 menunjukkan hasil *generate mesh* pada permodelan Plaxis.



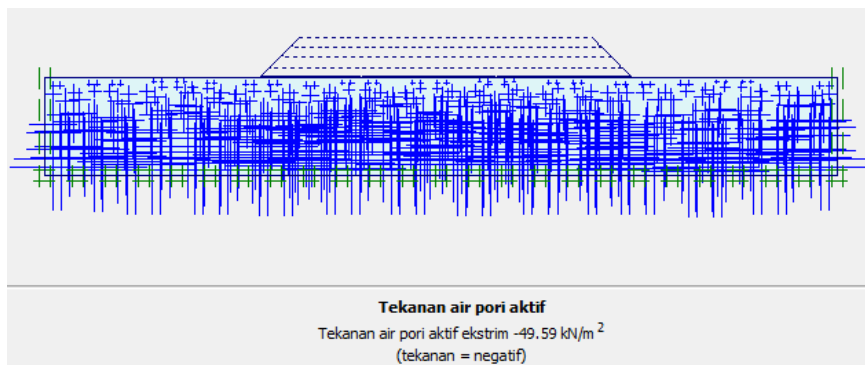
Gambar 4. 10. Hasil generate mesh pada permodelan lereng menggunakan software plaxis

4.4.2.4 Kondisi air tanah

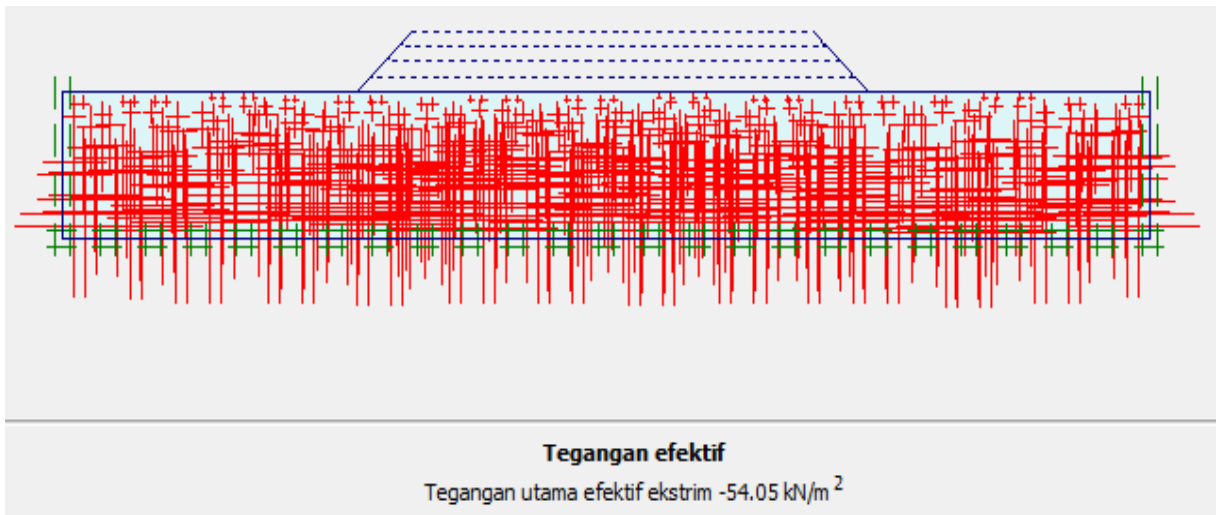
Plaxis umumnya digunakan untuk analisis tegangan efektif dimana ada perbedaan antara tekanan air pori aktif dan tegangan efektif. Tekanan air pori dan tegangan efektif tersebut dapat dibentuk berdasarkan garis freaktif. Sebuah garis freaktif merupakan kumpulan beberapa titik dimana tekanan air adalah nol. Pada permodelan ini dibuat garis freaktif sedlam 5 m, hal itu berkaitan dengan kondisi muka air tanah berdasarkan data penelotian, yaitu sedalam 5 m. Dengan menggunakan masukan berupa garis freaktif, tekanan air akan meningkat secara linier terhadap kedalaman sesuai dengan berat isi air yang dimasukkan (variasi tekanan diasumsikan adalah hidrostatik).



Gambar 4. 11. Tampilan penambahan garis freaktif pada permodelan timbunan



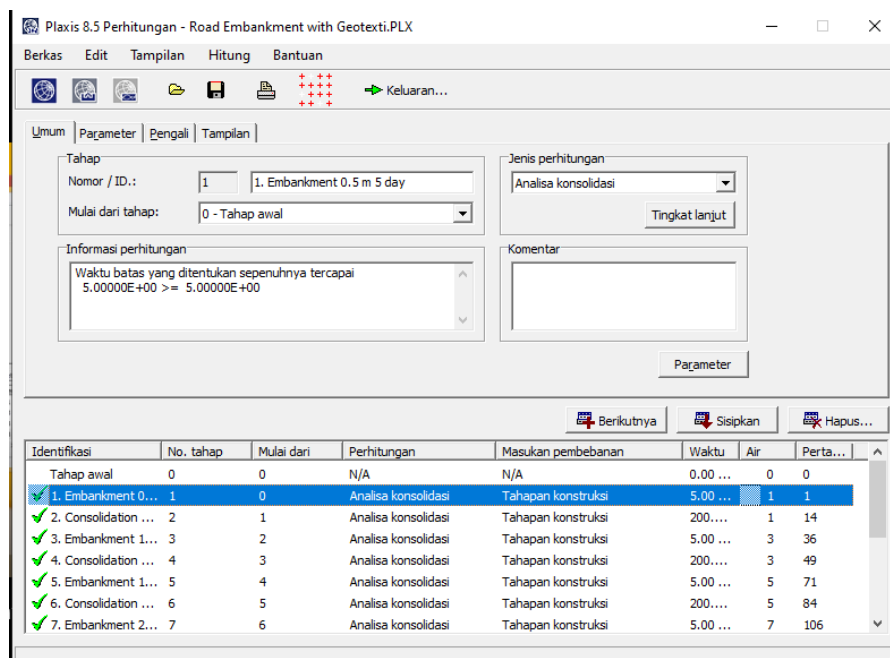
Gambar 4. 12. Tampilan Tekanan Air Pori Aktif



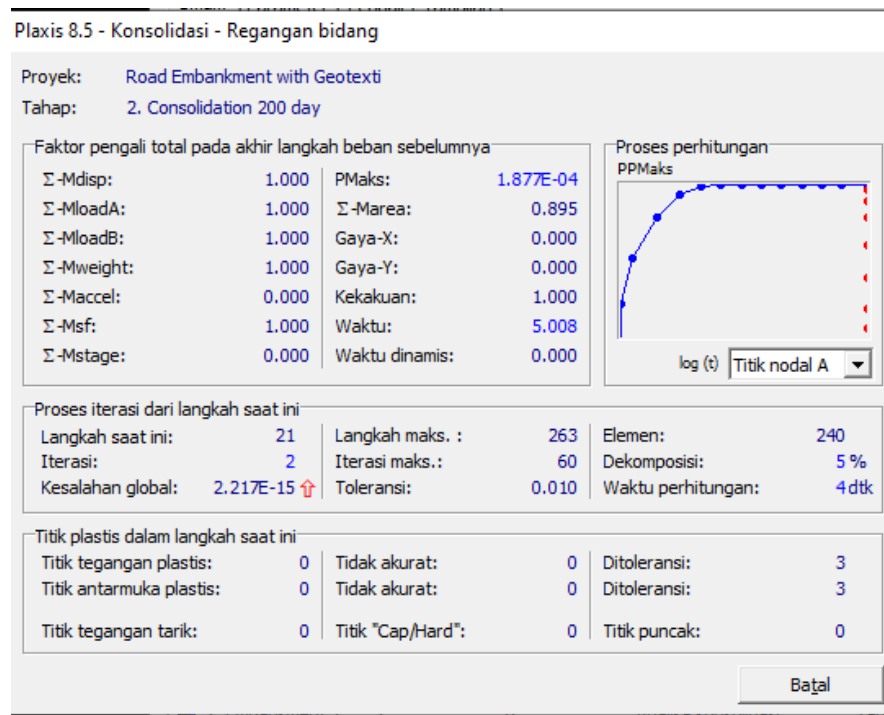
Gambar 4. 13. Tegangan – tegangan efektif

4.4.3 Program Perhitungan Numeris

Setelah penyusunan model elemen hingga, perhitungan elemen hingga dapat dilakukan. Karena itu, perlu untuk mendefinisikan jenis perhitungan yang akan dilakukan dan jenis pembebanan atau tahapan konstruksi mana saja yang akan diaktifkan dalam perhitungan. Hal ini dilakukan dalam program perhitungan. Dalam program perhitungan ini, tahapan konstruksi yang diaktifkan adalah timbunan pada kedalaman 0,5 m: 1 m; 1,5 m; dan 2 m. Tampilan pada program perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.



Gambar 4. 14. Tampilan parameter perhitungan



Gambar 4. 15. Tampilan proses perhitungan

Tabel 4. 12. Tahapan perhitungan

Tahap	Thp-No.	Tahap mulai	Jenis perhitungan	Masukan beban	Langkah pertama	Langkah terakhir
Tahap awal	0	0		-	0	0
1. Embankment 0.5 m 5 day	1	0	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	1	13
2. Consolidation 200 day	2	1	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	14	35
3. Embankment 1 m 5 day	3	2	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	36	48
4. Consolidation 1 m 200 day	4	3	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	49	70
5. Embankment 1.5 m 5 day	5	4	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	71	83
6. Consolidation 1.5 m 200 day	6	5	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	84	105
7. Embankment 2 m 5 day	7	6	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	106	118

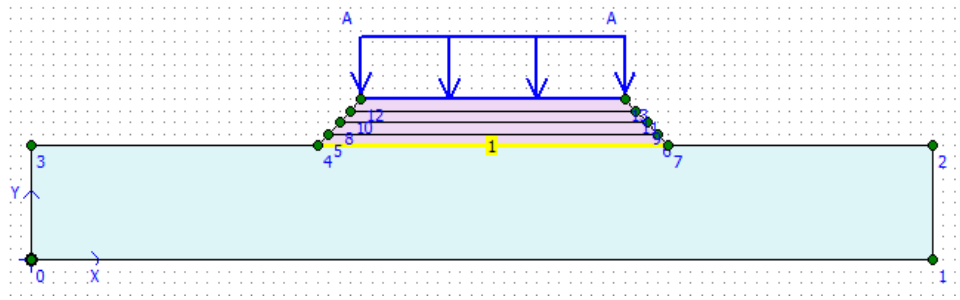
Tahap	Thp-No.	Tahap mulai	Jenis perhitungan	Masukan beban	Langkah pertama	Langkah terakhir
8. Consolidation 2 m 200 day	8	7	Analisa konsolidasi	Tekanan air pori minimum	119	119
9. Phi - c 0.5 m	14	1	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	120	219
10. Phi - C 1 m	10	3	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	220	319
11. Phi - C 1.5 m	11	5	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	320	419
12. Phi - C 2 m	12	7	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	420	519
13. Phi - C consolidation	13	8	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	520	619

4.4.4 Hasil Analisis Program Numeris

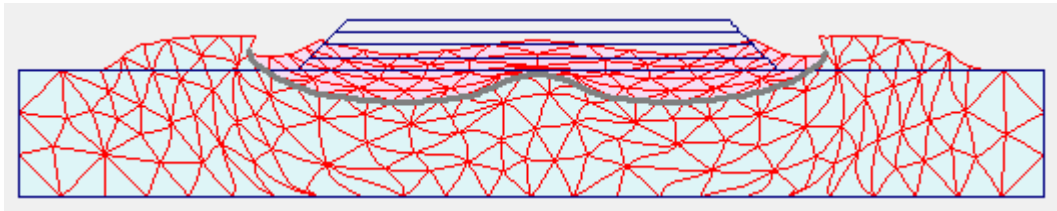
Keluaran utama dari suatu perhitungan elemen hingga adalah perpindahan pada titik – titik nodal dan tegangan pada titik – titik nodal dan tegangan pada titik – titik tegangan. Selain itu saat model elemen hingga mengikutsertakan elemen – elemen struktural, maka gaya – gaya struktural juga akan dihitung dalam elemen – elemen ini. Program keluaran memuat seluruh fasilitas untk menampilkan hasil dari perhitungan elemen hingga.

4.4.4.1 Analisis deformasi tanah dasar

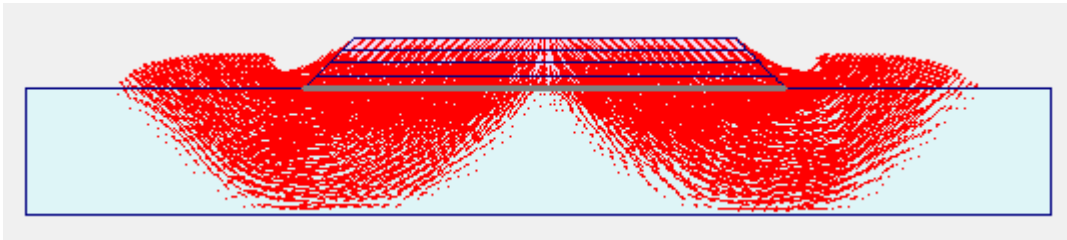
Deformasi dapat didefinisikan sebagai perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi baik merupakan bagian dari alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang. Deformasi dapat terjadi jika suatu benda atau materi dikenai gaya (*force*). Deformasi terbagi menjadi dua jenis yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan oleh pemberian beban, dimana apabila beban dihilangkan maka bentuk dan ukuran akan kembali ke bentuk semula atau deformasi yang terjadi akan hilang. Daerah deformasi elastis berlaku hukum *Hooke* yaitu regangan akan sebanding dengan tegangan sesuai dengan modulus elastisitas. Sedangkan deformasi plasti adalah perubahan bentuk yang merupakan kelanjutan dari deformasi elastis yang bersifat permanen meskipun beban dihilangkan.



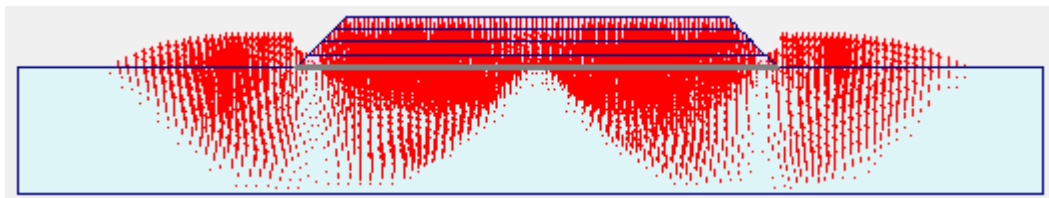
(a)



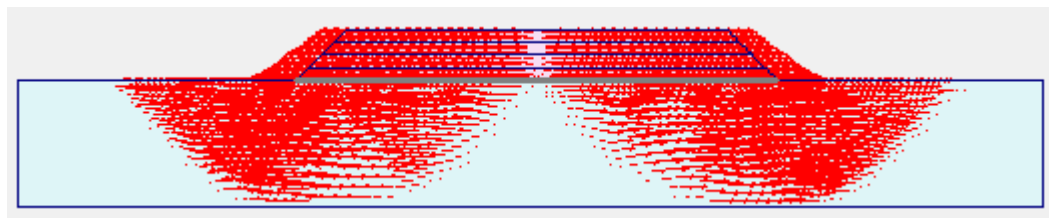
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4. 16. Pemodelan tanah (a) kemudian dianalisis dengan Plaxis menghasilkan nilai (b) deformasi, (c) total displacement, (d) vertical displacement, dan (e) horizontal displacement

Pada permodelan timbunan yang dapat dilihat pada gambar 4.17.(a) dilakukan analisis numeris dengan metode plaxis dan menghasilkan nilai deformasi dengan perpindahan total

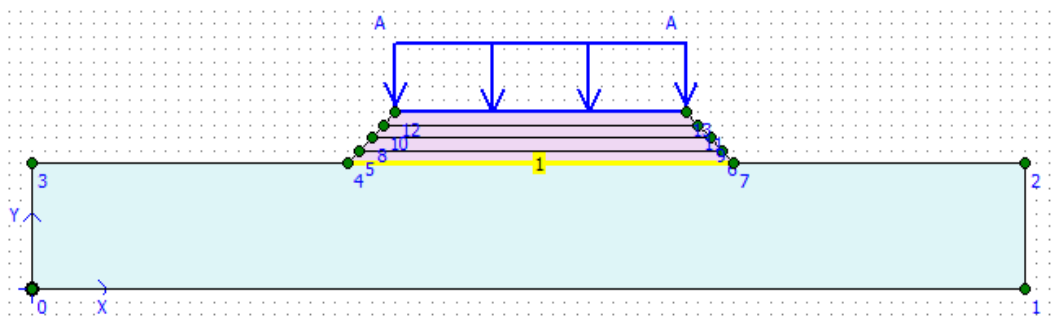
ekstrim sebesar 2.08×10^3 m, total displacement dengan nilai ekstrim U_{tot} sebesar 2.08×10^3 m, Vertical displacement dengan nilai ekstrim U_y sebesar 1.38×10^3 m, dan horizontal displacement dengan nilai ekstrim U_x sebesar 1.96×10^3 m.

Pada gambar 4.17 (b, c, d, e), simbol *arrow* berwarna merah menggambarkan arah perpindahan tanah yang telah mengalami pembebanan lalu lintas sebesar 15 kN/m di atasnya dan mengalami tekanan air pori yang disebabkan oleh jenis tanah itu sendiri.

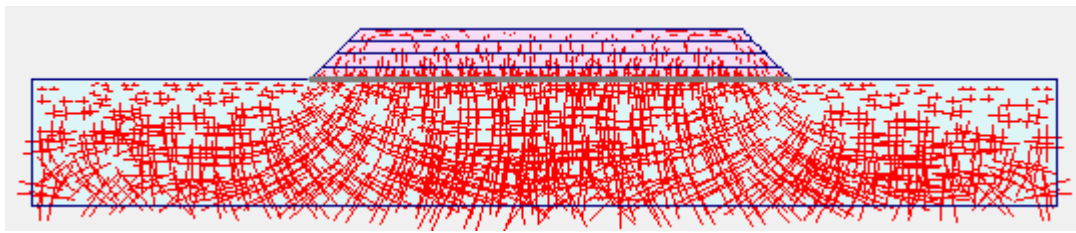
Pada gambar 4.17.b dapat dilihat bahwa arah total displacement atau perpindahan total bergerak dari tanah timbunan paling atas menuju ke tanah dasar dan bergerak merata ke arah kiri dan kanan kemudian bergerak lagi keatas melalui tanah yang tidak terlapiasi oleh geotekstil. Perpindahan ini merupakan gabungan dari vertical displacement atau perpindahan vertikal (gambar 4.17.c) dan horizontal displacement atau perpindahan horizontal (gambar 4.16.d).

4.4.4.2 Analisis tegangan-regangan tanah dasar

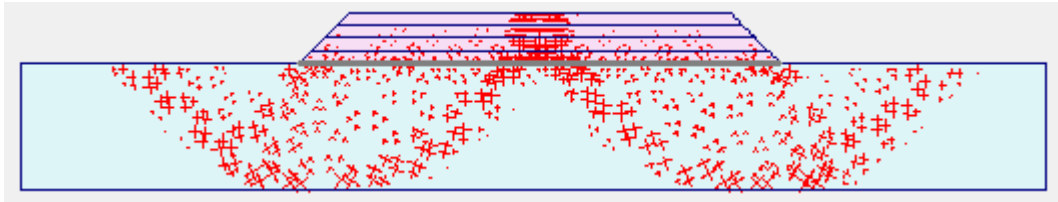
Tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) merupakan dua buah jenis deformasi yang bergantung pada sifat elastis benda. Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda, tegangan juga didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Sedangkan regangan didefinisikan sebagai perbandingan antar pertambahan panjang batang dengan panjang mula-mula atau juga dapat dikatakan sebagai ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada materi dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan materi terhadap tegangan. Pada daerah elastis, besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut disebut modulus elastisitas atau modulus Young.



(a)



(b)



(c)

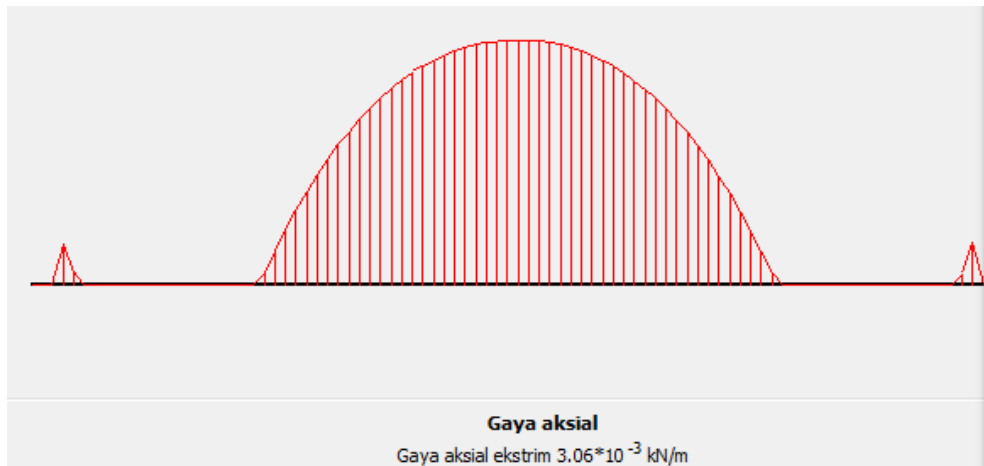
Gambar 4. 17. Pemodelan tanah (a) kemudian dianalisis dengan Plaxis menghasilkan nilai (b) tegangan total dan (c) regangan total

Dari permodelan tanah timbunan pada gambar 4.18.a dilakukan analisis numeris pada *software* dihasilkan nilai tegangan total dengan tegangan utama total ekstrim sebesar -153.91 kN/m^2 dan regangan total dengan regangan utama ekstrim $-309.61 \times 10^3\%$.

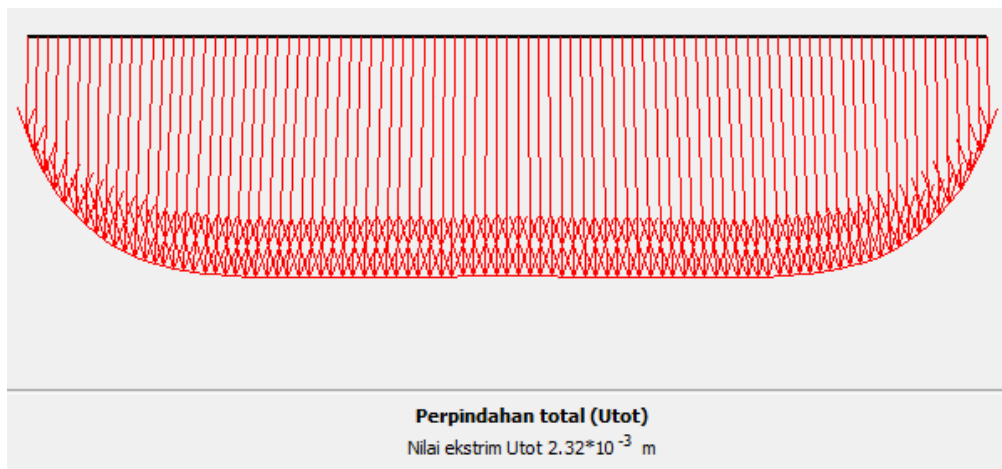
Dari gambar 4.18.b dapat dilihat garis merah yang menggambarkan terjadinya tegangan pada tanah menyebar secara keseluruhan dan merata dari tanah timbunan hingga tanah dasar. Akan tetapi tegangan paling besar terjadi pada posisi tengah tanah dasar. Sedangkan pada gambar 4.18.c menggambarkan regangan pada tanah terjadi pada tengah timbunan dan bagian kanan kiri dari tanah dasar.

4.4.4.3 Analisis tegangan-regangan geotekstil

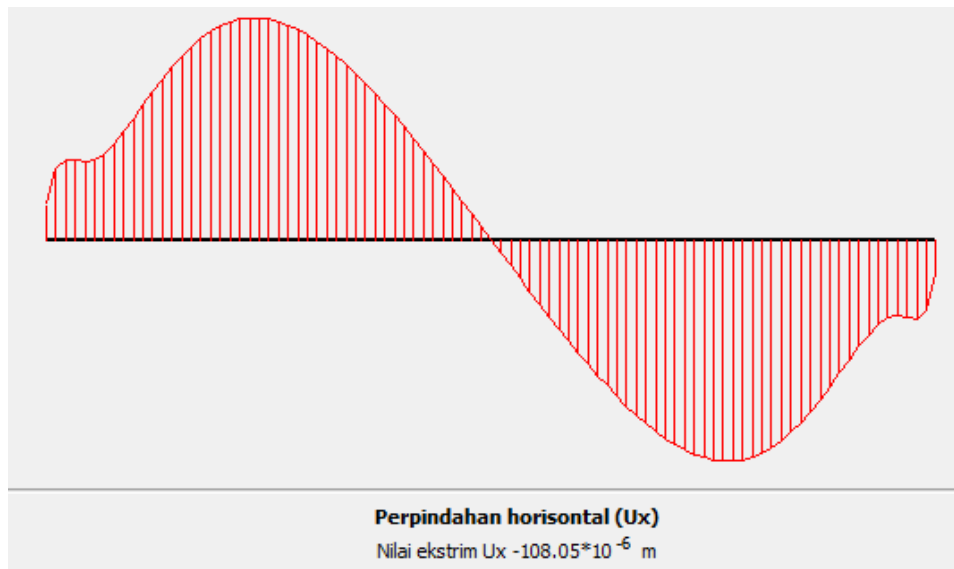
Pada penelitian ini, geotekstil digunakan sebagai perkuatan tanah dan mengurangi kemungkinan terjadinya penurunan tanah. Geotekstil diletakkan pada dasar tanah timbunan, yakni persis di bawah tanah timbunan 0,5 m. Untuk itu tanah timbunan 0,5 m mengalami interaksi langsung dengan geotekstil. Berikut adalah gaya aksial, perpindahan total, perpindahan horizontal, dan perpindahan vertikal serta tegangan total dan regangan total yang dialami oleh geotekstil selama tahap konstruksi yang dianalisis secara numeris oleh *software* plaxis.



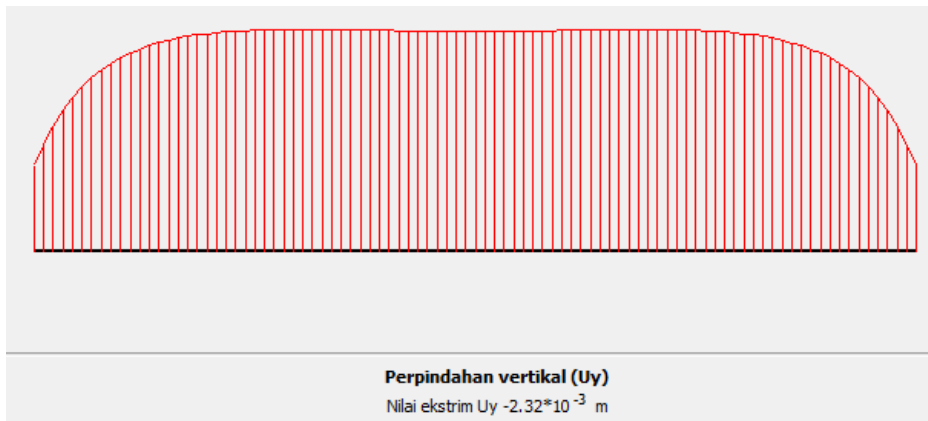
Gambar 4. 18. Gaya aksial geotekstil



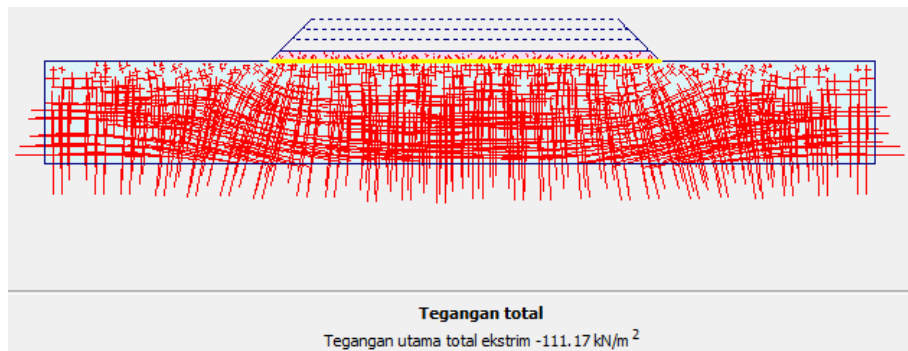
Gambar 4. 19. Perpindahan total pada geotekstil



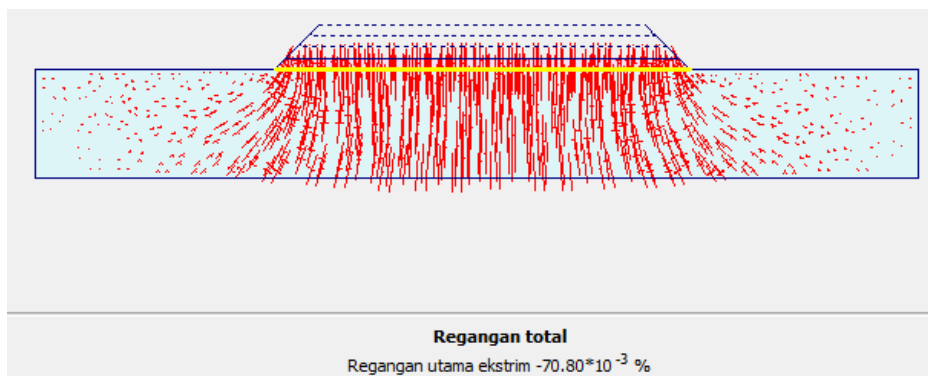
Gambar 4. 20. Perpindahan horizontal pada geotekstil



Gambar 4. 21. Perpindahan vertikal pada geotekstil



Gambar 4. 22. Tegangan total pada tanah timbunan 0,5 m dengan lapisan geotekstil dibawahnya



Gambar 4. 23. Regangan total pada tanah timbunan 0,5 m dengan lapisan geotekstil dibawahnya

Geotekstil yang digunakan pada penelitian ini mengalami gaya aksial sebesar 3.06×10^{-3} , perpindahan total sebesar 2.32×10^{-3} , perpindahan horizontal sebesar -108.05×10^{-6} , dan perpindahan vertikal sebesar -2.32×10^{-3} .

Pada tanah timbunan 0,5 m yang berinteraksi langsung dengan geotekstil sebagai perkuatan tanah, didapatkan nilai tegangan total sebesar $-111,17 \text{ kN/m}^2$ dan regangan total sebesar $-70.80 \times 10^{-3} \%$. Tegangan dan regangan total ini lebih rendah dibanding dengan tanah timbunan 2 m yang tidak berinteraksi langsung dengan geotekstil.

4.4.4.4 Safety factor

Untuk menganalisa stabilitas dari embankment atau timbunan maka pada tahap perhitungan ditambah perhitungan *phi-c reduction*. Pada masing-masing tinggi timbunan yakni timbunan 0,5 m; 1 m; 1,5 m; dan 2 m dilakukan perhitungan *phi-c reduction*. Dari hasil perhitungan *phi-c reduction* didapatkan analisa keamanan pada setiap tinggi timbunan. Berikut adalah tabel hasil rekapitulasi *phi-c reduction*:

Tabel 4. 13. Hasil rekapitulasi *phi-c reduction* atau faktor keamanan (SF)

Thp-No.	Perpind.	Beban A	Beban B	Berat	Percepatan	Waktu	s-f
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	5.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	205.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	210.0000	1.0000
4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	410.0000	1.0000
5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	415.0000	1.0000
6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	615.0000	1.0000
7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	1.0000
8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	1.0000
14	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	5.0000	43.7220
10	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	210.0000	19.6930
11	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	415.0000	13.3500
12	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	10.1700
13	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	10.1700

Berdasarkan hasil *phi-c reduction* dari permodelan timbunan didapatkan faktor keamanan akhir pada yaitu pada timbunan 2 m adalah sebesar 10,17. Menurut Bowles (1989) untuk faktor keamanan diatas 1,25 memiliki intensitas kelongsoran jarang atau dengan kata lain timbunan yang direncanakan pada penelitian ini termasuk dalam kategori aman.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengkajian dan penelitian mengenai analisis timbunan dengan perkuatan geotekstil pada tanah lokasi bencana likuifaksi, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut USCS, hasil pengujian gradasi butiran yang dilakukan dengan dua metode yakni saringan (*Mechanical Sieving*) dan hidrometer (*Analysis Hydrometer*) adalah tanah yang masuk dalam kategori (*SP*). Dimana tanah tersebut termasuk dalam tanah pasir bergradasi buruk dan mengandung sedikit butiran halus.
2. Hasil pengujian kuat geser tanah dengan uji triaksial *unconsolidated undrained* didapatkan nilai kohesi (c) dari sampel satu hingga lima berturut-turut adalah 45,184 kN/m²; 55,87 kN/m²; 47,577 kN/m²; 83,805 kN/m²; 14,15 kN/m², sedangkan untuk nilai sudut geser (ϕ) dari sampel satu hingga lima berturut-turut adalah 19°; 5°; 19°; 7°; 33°.
3. Berdasarkan hasil pengujian gradasi butiran tanah dan grafik potensi likuifaksi menurut usulan Sitharam, kelima tanah yang telah dianalisis termasuk kedalam tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi.
4. Berdasarkan permodelan timbunan dengan perkuatan geotekstil (*type tencate mirafi*) dilakukan analisis numeris dengan metode plaxis menghasilkan nilai deformasi dengan perpindahan total ekstrim sebesar 2.08×10^3 m, total displacement dengan nilai ekstrim Utot sebesar 2.08×10^3 m, *vertical displacement* dengan nilai ekstrim Uy sebesar 1.38×10^3 m, dan *horizontal displacement* dengan nilai ekstrim Ux sebesar 1.96×10^3 m serta nilai tegangan total dengan tegangan utama total ekstrim sebesar -153.91 kN/m² dan regangan total dengan regangan utama ekstrim $-309.61 \times 10^3\%$. Hasil analisis numeris timbunan dengan *software* plaxis menunjukkan nilai faktor keamanan (SF) adalah sebesar 10,17.

5.2 Saran

1. Pengambilan data ketika pengujian triaksial *unconsolidated undrained* diambil dengan interval 100 agar semua data dapat dimasukkan kedalam *software* T5.
2. Diperlukan ketelitian ketika mengisi data properties tanah dasar dan timbunan di *software* plaxis, agar hasil yang keluar akurat.
3. Tanah timbunan harus memiliki daya dukung yang lebih baik dari tanah dasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Rahayu, Wiwik, Puspita Lisdiyanti, And Rendy Eka Pratama. "Tanah Gambut Melalui Uji Triaksial Consolidated Undrained Dan Unconsolidated Undrained." *Journal Of Civil Engineering* 22.3 (2015): 201-208.
- Richard, Joseph, Daniel Tjandra, And Paravita Sri Wulandari. "Analisis Penggunaan Geotekstil Untuk Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak Dengan Menggunakan Aplikasi Plaxis 2d." *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil* 7.1 (2018): 188-194.
- Haza, Zainul Faizien. "Analisis Numerik Penggunaan Geotekstil Di Lapisan Tanah Dasar Pada Proyek Pembangunan Jalan Poncosari-Greges (Kabupaten Bantul, Propinsi Di Yogyakarta)." *Science Tech: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi* 3.1 (2017): 67-74.
- Sentosa, Gregorius Sandjaja, Inda Sumarli, And Aniek Prihatiningsih. "Karakteristik Parameter Kekuatan Tanah Yang Dipadatkan Dengan Uji Triaksial Metode Uu." *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan* 2.2 (2018): 590-597.
- Sutejo, Yulindasari, Et Al. "Analisis Pengaruh Campuran Pupuk Urea Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung Lunak Dengan Uji Triaxial." *Cantilever, Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil* 4.1 (2015): 14-19.
- Nugroho, Sri Cahyadi. "The Easerum Epicentre Pusat Studi Gempa Bumi Di Kabupaten Bantul, Di Yogyakarta." *Fakultas Teknik Program Studi Arsitektur, Universitas Atma Jaya. Yogyakarta* (2017).
- Reza, Sri Fatma. *Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas Tinggi Menggunakan Analisis Statis Nonlinier*. Diss. Riau University, 2010.
- Utomo, Masitha Hanum, And Wenty Marina Minza. "Perilaku Menolong Relawan Spontan Bencana Alam." *Gajah Mada Journal Of Psychology (Gamajop)* 2.1 (2017): 48-59.
- Israel, Brett. "Indonesia's Explosive Geology Explained." *Retrieved From Live Science: Http://Www. Livescience. Com/8823-Indonesia-Explosive-Geology-Explained. Html* (2010).
- Mase, Lindung Zalbuin. "The Empirical Analysis Of Soil Liquefaction In Imogiri Site, Yogyakarta, Indonesia." *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik* 21.1 (2019): 37-41.
- Halim, Ninda Nurul, And Edy Widodo. "Clustering Dampak Gempa Bumi Di Indonesia Menggunakan Kohonen Self Organizing Maps (Som)." *Prosiding Si Manis (Seminar Nasional Integrasi Matematika Dan Nilai-Nilai Islami)*. Vol. 1. No. 1. 2017.
- Nasrullah, Andi Dibya Widadi, Sherly Hanifarianty, And Ihwan Fauzi. "Pola Sebaran Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Bumi Berbasis Metode Inverse Distance Weighting (Studi Kasus Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah)." *Jurnal Pendidikan Ilmu Sosial* 28.2: 94-104.
- Das, Braja M. 1992. *Principles Of Soil Dynamic*. Usa: Pws Kent Publishing Company.
- Das, Braja M. 1993. *Mekanikak Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

- Amaanullah, I. 2017. Identifikasi Parameter Geser Tanah Dengan Menggunakan Metode Curved Surface Envelope Da Apliednya Dalam Perhitungan Stabilitas Lereng. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Negeri Semarang.
- Astika, A.R.W. 2019. Aplikasi Parameter Triaxial Testing Dalam Perencanaan Flexibe Pavement. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Negeri Semarang.
- Rais, M. Z. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Beban Gempa D Iarea Pltu Tanjung Jati B Unit 5 Dan 6 Jepara. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Negeri Semarang.
- Kusumawardani, R., & Nugroho, U. (2015). Analisis Kenaikan Tekanan Air Pori Clean Sand Menggunakan Metode Cyclic Shear-Strain Controlled. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 17(1), 63-72.
- Kusumawardani, R., Nugroho, U., & Isnaeni, N. N. (2018). Back Analysis Fenomena Likuifaksi Akibat Gempa Padang 2009 Menggunakan Metode Semi Empiric. In *Prosiding Seminar Nasional & Internasional* (Vol. 1, No. 1).
- Kusumawardani, R., Apriyatno, H., Rachmawati, R. J., & Anggraini, R. (2016). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang-Rakit Pada Daerah Rawan Gempa Menggunakan Metode Poulus Dan Program Numeris Plaxis. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 18(2), 127-138.
- Surachmat, D., Wijaya, H., & Kawanda, A. (2019). Analisis Penurunan Tanah Dengan Menggunakan Geotekstil Pada Timbunan. *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), 197-202.
- Mase, L. Z. (2014, June). Analisis Pendahuluan Potensi Likuifaksi Di Kali Opak Imogiri Daerah Istimewa Yogyakarta. In *Proceeding Of* (Pp. 10-11).
- Halim, N. N., & Widodo, E. (2017, July). Clustering Dampak Gempa Bumi Di Indonesia Menggunakan Kohonen Self Organizing Maps (Som). In *Prosiding Si Manis (Seminar Nasional Integrasi Matematika Dan Nilai-Nilai Islami)* (Vol. 1, No. 1, Pp. 188-194).
- Richard, J., Tjandra, D., & Wulandari, P. S. (2018). Analisis Penggunaan Geotekstil Untuk Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak Dengan Menggunakan Aplikasi Plaxis 2d. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 7(1), 188-194.
- Mustafa, B. (2010). Analisis Gempa Nias Dan Gempa Sumatera Barat Dan Kesamaannya Yang Tidak Menimbulkan Tsunami. *Jurnal Ilmu Fisika/ Universitas Andalas*, 2(1), 44-50.
- ASTM International. (2005). *Standard Test Methode For Laboratory Determination Of Water (Moisture) Content Of Soil And Rock By Mass (ASTM D2216-10)*, United State : ASTM International
- ASTM International. (2007). *Laboratory Test Of Density (Unit Weight) Of Soil (ASTM D7263-09)*, United State : ASTM International
- ASTM International. (2002). *Standard Test Methode For Spesific Gravity Of Soil Solids By Water Pycnometer (ASTM D854-14)* United State : ASTM International
- ASTM International. (2007). *Standard Test Methods For Particle Size Distribution (Gradation)Of Soils Using Sieve Analysis (ASTM D6913-04(09))* United State : ASTM International

- ASTM International. (2009). *Standard Test Method For Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test On Cohesive Soils. (ASTM D2850)* United State : ASTM International
- ASTM International. (2009). *Standard Test Method For Consolidated Undrained Triaxial Compression Test For Cohesive Soils (ASTM D4767)* United State : ASTM International
- Anonim. 2013. Terjadinya Gempa Bumi. <http://ilmupengetahuan.org/terjadinya-gempa-bumi/>. Diakses tanggal 25 Januari 2019.
- Bukhori. 2017. Pengertian Gempa Bumi. <https://karyapemuda.com/pengertian-gempa-bumi/>. Diakses tanggal 25 Januari 2019.
- Rani. 2018. Sebab Akibat Tsunami & Likuifaksi Palu yang Mengerikan di Mata 4 Pakar UI-ITB. <https://news.okezone.com/read/2018/10/10/65/1962113/sebab-akibat-tsunami-likuifaksi-palu-yang-mengerikan-di-mata-4-pakar-ui-itb>. Diakses tanggal 28 Januari 2019.
- Widodo, Pawirodikromo. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Ikhsan, R. 2011. Analisis Potensi Likuifaksi Dari Data CPT dan SPT Dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Wikipedia. 2018. Sand Boil. https://en.wikipedia.org/wiki/Sand_boil. Diakses tanggal 28 Januari 2019.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2009. *Perencanaan Dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah Dengan Geosintetik Tahun 2009*. Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta. 178 hal.
- Utami, G. S., Theresia, M. C. A., & Andriani, L. D. STABILISASI TANAH DASAR (SUBGRADE) DENGAN MENGGUNAKAN PASIR UNTUK MENAIKKAN NILAI CBR DAN MENURUNKAN SWELLING.
- Perangin-angin, G. (2009). Studi Potensi Tanah Timbunan Sebagai Material Konstruksi Tanggul Pada Ruas Jalan Negara Liwa-Ranau Di Kabupaten Lampung Barat. *Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 13(2), 141-146.
- Fathurrozi, F., & Rezqi, F. (2016). Sifat-Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Timbunan Badan Jalan Kuala Kapuas. *POROS TEKNIK*, 8(1), 16-24.

LAMPIRAN

Lampiran A. Prosedur Pengujian Sifat Fisik Tanah, Pengujian Gradasi Butiran Tanah, dan Pengujian Triaksial *Unconsolidated Undrained*

3.3.1.1 Pengujian Kadar Air (ASTM 2216 – 10)

Berikut prosedur pengujiannya :

1. Ambil contoh tanah asli (Undisturbed sample) dan masukkan kedalam tiga buah container yang telah ditimbang sebelumnya dan diberi label (contoh I, contoh II, contoh III)
2. Masing – masing container yang telah diisi contoh tanah, ditimbang, dan dicatat.
3. Selanjutnya container – container tersebut dimasukkan ke dalam oven pada temperature lebih kurang 110° Celcius atau sampai bertanya konstan.
4. Setelah dioven selama 16 jam, container + tanah tersebut ditimbang dan dicatat

3.4.2.1 Pengujian Berat Jenis (ASTM 854 – 14)

Berikut prosedur pengujiannya :

1. Contoh tanah yang sudah dioven selama 24 jam diayak dengan saringan nomor 4 dan yang lolos diambil untuk masing – masing piknometer.
2. Piknometer dicuci dan dikeringkan. Kemudian piknometer dan tutupnya ditimbang dengan ketelitian 0,01 gram (W1).
3. Tanah yang lolos ayakan tadi dimasukkan ke dalam piknometer sekitar 1/3 piknometer kemudian bersama piknometer dan tutupnya ditimbang lagu (W2).
4. Kemudian ditambahkan air suling hingga 2/3 tinggi piknometer lalu diguncang – guncang supaya gelembung udara dalam tanah keluar.
5. Piknometer beserta isinya direbus dalam air mendidih selama ± 10 menit kemudian keluarkan lagi. Dinginkan.
6. Setelah dingin, tambahkan air sampai penuh, kemudian ditimbang beratnya, yaitu berat piknometer beserta seluruh isinya (W3). Air dalam piknometer diukur suhunya dnegan thermometer ($t^{\circ}\text{C}$)

3.3.1.2 Pengujian Berat Volume (ASTM 7263 – 09)

Berikut prosedur pengujiannya :

1. Ambil ring silinder dan bersihkan bagian dalamnya serta beri minyak pelumas.
2. Dengan menggunakan Ekstruder, tanah undisturbed dikeluarkan dari tabung sampel dan diisikan ke ring. Kedua permukaan tanah harus diratakan dengan pisau.

3. Ring yang berisi tanah undisturbed tersebut ditimbang dan dicatat.
4. Contoh tanah dikeluarkan, kemudian ring ditimbang.

3.3.1.3 Pengujian Analisa Butiran (ASTM 6913 – 04 (Rcap 09))

Berikut prosedur pengujiannya :

- a. Penyaringan mekanik (*mechanical sieving*) untuk *single sieve-set sieving*
 1. Ambil contoh tanah yang telah dikeringkan selama 24 jam minimal sebanyak 200 gram untuk metode B dengan ukuran partikel terbesar lebih kecil atau sama dengan saringan nomor 4 (4,75 mm).
 2. Rendam tanah tersebut didalam air selama maksimal 24 jam. Agar proses pemisahan antar partikel dapat lebih maksimal dapat menggunakan Sodium hexametaphosphat sebanyak 5 gr yang dilarutkan dalam air sebanyak 100 ml.
 3. Setelah proses rendaman, tanah tersebut dicuci diatas saringan nomor 200 sampai air yang keluar dari saringan menjadi bening. Jika ukuran partikel besar maka bisa ditambahkan saringan nomor 20 sebagai penyaringan awal agar partikel besar tidak merusak saringan nomor 20.
 4. Setelah bening, butiran yang tertahan pada saringan nomor 200 dan 20 dikeringkan kembali dalam oven selama 24 jam.
 5. Setelah 24 jam, contoh tanah diayak dengan satu set saringan dengan menggunakan *sieveshaker* selama 10 menit sd 20 menit. Untuk menguji berapa lama yang dilakukan uji coba pada *sieveshaker* selama 10 menit untuk semua saringan. Kemudian lanjutkan dengan menggunakan tangan selama 1 menit. Bandingkan jika yang jatuh pada pan dibandingkan masa yang tertahan dibawah 0,5 % maka dapat digunakan 10 menit. Jika melebihi maka harus menggunakan waktu yang lebih lama yaitu 15 menit. Jika belum juga, gunakan waktu maksimum selama 20 menit.
 6. Timbang butiran yang tertahan pada masing – masing saringan hingga pan.
- b. Analisis hydrometer (*Hydrometer analysis*)

Sebelum memulai proses Hydrometer, cek terlebih dahulu ukuran Hydrometer yang kita punya harus sesuai dengan standard ASTM dengan ukuran berikut:

1. Ambil contoh tanah kering yang telah dioven, ditumbuk dan diayak di atas saringan nomor 200.
2. Tanah yang lolos saringan nomor 200 diambil sebanyak 45 gram untuk Hydrometer 151H dan 55 gr untuk Hydrometer 152H.

3. Siapkan gelas ukur dan masukkan tanah tersebut kedalam cawan ukuran sedang dengan hati – hati.
4. Cawan yang telah berisi tanah tadi, ditambahkan dengan 100 ml air suling + $5 \pm 0,1$ g Sodium Hexametaphosfat (NaPO_3)₆ secara perlahan – lahan.
5. Aduk campuran tersebut perlahan – lahan hingga menyatu menjadi seperti lumpur. Kemudian didiamkan selama 24 jam.
6. Setelah 24 jam, masukkan kedalam Cup Mixer kedalam gelas ukur 1000 ml. Lalu tambahkan air suling hingga batas gelas ukur 1000 ml.
7. Gunakan agitator seperti pada gambar untuk mengaduk.
8. Masukkan agitator kedalam gelas ukur hingga $\frac{1}{4}$ ketinggian gelas ukur. Gerakkan kebawah dan keatas hingga tidak ada tanah yang terjebak didasar gelas ukur. Kemudian gerakan naik turun sepanjang larutan didalam gelas ukur hingga dasar dari gelas ukur dengan waktu turun sekitar 1 sd 2 detik dan waktu naik sekitar 2 sd 3 detik. Lakukan ini berulang kali hingga ketinggian bagian bawah dari agitator setinggi setengah larutan. Lakukan hingga 1 menit atau larutan suspensi sudah seragam.
9. Jika muncul busa diatas larutan suspensi maka tambahkan 3 tetes isopropil Alkohol.
10. Kemudian tutup bagian atas gelas ukur untuk menghindari dari penguapan dan simpan gelas ukur pada suhu yang konstan. Lalu diamkan selama semalam.
11. Setelah didiamkan semalaman lalu ulangi lagi proses (9)
12. Jika muncul busa lagi tambahkan 3 tetes isopropil alcohol lagi.
13. Masukkan hydrometer kedalam gelas ukur secara perlahan – lahan dengan ketinggian yang sama pada saat pengujian koreksi meniscus.
14. Pengamatan dengan hydrometer dimulai setelah hydrometer tenang di dalam gelas ukur kira – kira selama 15 – 20 detik. Setelah tenang barulah dilakukan pencatatan data dan mulai nyalakan stopwatch seperti tabel yang telah tersedia. Lakukan dengan hati – hati, jangan sampai menimbulkan guncangan. Baca setiap 1, 2, 5, 8, 15, 30, 60, 240 dan 1440 menit.
15. Setelah dilakukan pengambilan data pada waktu yang telah ditentukan, segera angkat hydrometer secara perlahan (sekitar 5 detik) dan bersihkan dengan air. Ulangi pembacaan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan dan angkat lagi hydrometer setelah pembacaan dan seterusnya.
16. Ukur temperature setiap kali sebelum pembacaan.
17. Setelah pembacaan selesai maka tuangkan seluruh larutan suspensi kedalam cawan ukuran besar untuk dimasukkan kedalam oven selama 24 jam atau lebih karena air yang harus dihilangkan jumlahnya banyak. Kemudian setelah semua air menguap maka timbanglah

berat tanah yang ada. Berat tanah ini akan menjadi berat tanah yang dimasukkan kedalam perhitungan hydrometer.

3.3.1.4 Pengujian Triaxial

a. Unconsolidated Undrained (UU) (ASTM 2850 – 15)

Berikut prosedur pengujian triaxial Unconsolidated Undrained pada specimen silinder tanah kohesif:

1. Dapatkan specimen tanah dari instruktur anda. Gunakan caliper untuk mengukur panjang awal (L_0) specimen. Ukur diameter dekat bagian atas, tengah, dan bawah specimen, dan hitung diameter rata – rata (D_0) dan rata- rata area awal (A_0). Ukur juga massa kelembapan specimen (M).
2. Pasang sedikit lapisan vacuum grease ke area sekitar dasar dan penutup untuk membantu menghasilkan segel kedap air (Gbr 5, menggunakan vacuum grease dibagian dasar).
3. Taruh specimen tanah didasar, dan taruh penutup diatas specimen (Gbr. 6, Specimen ditaruh di dasar dan ditutup). Pastikan lobang piston penutup menghadap ke atas.
4. Taruh membrane dan dua cincin O diatas peregang membrane, dan pasang sedikit vacuum ke tabung peregang membrane untuk menarik membrane ke arah dalam dinding peregang membrane (gbr 7, Dengan peregang membrane untuk menyiapkan membrane untuk ditempatkan ke specimen).
5. Langkah berikut ini menjelaskan bagaimana menaruh membrane diatas specimen tanah (Gbr.8):
 - a. Hati – hati menurunkan membrane yang diregangkan diatas specimen tanpa menyentuh specimen.
 - b. Taruh membrane di tengah di atas specimen dan lepaskan vacuum agar menyempit di sekitar specimen.
 - c. Taruh perlahan – lahan ujung membrane ke atas dasar dan penutup sehingga membrane mengelilingi dasar specimen , dan penutup tanpa mengerut.
 - d. Dengan peregang membrane yang masih disekitar specimen, hati – hati gulung cincin O kedalam membran dimana membrane telah kontak dnegan dasar dan penutup. Jika dasar dan penutup bermesin alur, pastikan posisi cincin O duduk di alur.
6. Langkah berikut menjelaskan bagaimana merakit sel triaksial (Gbr.9):
 - a. Taruh sedikit lapisan vacuum grease pada cincin O dialas dan bagia atas.
 - b. Taruh dinding sel diatas alas, dan pastikan alas dan dinding sel duduk dengan baik berlawanan satu sama lain.
 - c. Taruh bagian atas diatas dinding sel, dan pastikan dinding sel dan bagian atas duduk dengan baik berlawanan satu sama lain.

- d. Geser piston ke bawah arah lubang dalam penutup. Ujung piston sebaiknya cukup jauh ke lubang untuk mencegah specimen menjungkir saat sel triaksial digerakkan, tapi tidak boleh meberikn beban apa saja pada penutup. Begitu sudah dalam posisinya, kunci piston pada tempatnya dengan memutar sekrup pengunci di bagian atas.
 - e. Kencangkan setiap tiga batang sel perlahan – lahan dalam satu waktu, bolak balik antar batang sel untuk memastikan segel merapat antara alas, dinding sel, dan bagian atas.
7. Buka katup ventilasi yang ada diatas sel triaksial, dan mulai pengisian sel triaksial dnegan air dari katup alas. Tutup semua katup ke sel triaksial saat air timbul dari katup ventilasi.
 8. Posisikan sel triaksial di rangka beban dengan indicator deformasi dan sel beban (Gbr. 10, Memposisikan sel triaksial dalam rangka beban. Komponen yang ditunjukkan yakni: a. sel Triaksial, b. Load Cell, c. tampilan sel beban, c. tampilan sel beban , d. batang silang, dan e. garis air untuk mengatur sumber tekanan).
 9. Gunakan tekanan sel yang diinginkan σ_3 ke sel melalui katup bawah. Anda akan tahu specimen dalam kondisi tertekan saat mebran muncul untuk merapat berkontak dengan specimen.
 10. Lepaskan piston dengan mengendurkan sekrup pengunci yang ada dibagian atas sel triaksial dan nolkan Load Cell. Jika Proving Ring dipakai sebagai ganti Load Cell, nolkan dial penunjuk dan rekam kekonstanan proving ring K_P .
 11. Nolkan indicator deformasi. Jika dial penunjuk analog yang dipakai, rekam faktor konversi dial penunjuk K_L .
 12. Secara manual naikkan piston hingga ujung piston bertumpu berlawanan dengan penutup. Anda akan tahu piston telah bertumpu saat sel beban mulai menunjukkan sedikit beban. Begitu sel beban menunjukkan sedikit beban, berhenti menaikkan piston.
 13. Mulai pembebanan specimen dengan laju regangan antara 0,3 – 1,0 %/menit. ASTM D2850 menyarankan pembacaan awal diambil pada 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%, dan 3,0%. Setelah itu, pembacaan sebaliknya dilakukan dengan interval regangan 1,0%. Akan tetapi, perlu juga untuk melakukan pembacaan leih sering untuk identifikasi yang akurat pada puncak beban yang diberikan. Rekam data anda pada Lembar Data Uji Triaksial Tidak Terkonsolidasi Tidak Terdrainase, jika diperlukan gunakan lembar tambahan. Beri beban specimen hingga $\varepsilon_1 = 15\%$.
 14. Jika indicator deformasi anda adalah dial penunjuk digital, proksimeter, atau LVDT, pembacaan anda akan ΔL , dan akan dalam satuan panjang. Jika indicator deformasi adalah sebuah dial penunjuk analog, pembacaan anda akan G_L , dan akan dalam satuan pembagian. Untuk arloji penunjuk analog, ΔL dihitung sebagai:

$$\Delta L = G_L K_L$$

15. Jika rangka beban anda diatur dengan load cell, pembacaan anda akan P, dan akan dalam satuan gaya jika rangka beban anda diatur dengan proving ring sebagai ganti load cell, pembacaan anda akan G_p , dan akan dalam satuan pembagian. Untuk proving ring, P dihitung sebagai:

$$P = G_p K_p$$

16. Plot $\Delta\sigma$ pada ε_1 . Identifikasi tegangan deviator saat keruntuhan, $\Delta\sigma_f$, baik itu 1) nilai puncak $\Delta\sigma$ atau 2) $\Delta\sigma$ pada $\varepsilon_1 = 15\%$. Perhitungan σ_{1f} yakni:

$$\sigma_{1f} = \sigma_3 + \Delta\sigma_f$$

17. Taruh specimen dalam oven pengering tanah semalaman dan dapatkan berat kering specimen, M_3 , untuk perhitungan berat volume.
18. Ulangi langkah 1-17 untuk 3 atau lebih pengujian specimen tambahan melampaui rentang σ_3 . Plot lingkaran Mohr untuk setiap specimen untuk menentukan selubung keruntuhan Mohr – Coulomb dan S_u .

b. Consolidated Undrained (CU) (ASTM 4767 – 11)

▪ Proses Saturasi

1. Langkah persiapan specimen sama dengan prosedur Triaksial UU diatas kecuali penambahan kertas filer yang akan dijelaskan pada tahap selanjutnya.
2. Untuk tes CU pastikan menggunakan kertas filter pada sisi sampel untuk dapat mempercepat proses saturasi.
3. Pastikan untuk awal dimulai dari nilai 00,00 untuk triaksial digital. Untuk triaksial manual pastikan untuk mencatat garis buret awal pada tabung volume change sebagai acuan awal perhitungan perubahan volume.
4. Naikkan tekanan cell pressure pada panel cell pressure dalam posisi katup cell terbuka ke nilai tekanan 0,7 Kg/cm² untuk tanah soft dan tekanan 1 Kg/cm² untuk tanah Medium to Stiff. Nilai ini didalam ASTM adalah rentang dari mulai 0,35 Kg/cm² sampai dengan 1,4 Kg/cm². Pastikan katup pore pressure dan katup back pressure masih dalam kondisi tertutup.
5. Naikkan back pressure pada panel back pressure hingga 0,6 Kg/cm² jika Cell Pressure yang digunakan sebesar 0,1 Kg/cm². Didalam ASTM sendiri perbedaan antara Cell Pressure dan Back Pressure mensyaratkan jangan melebihi 0,35 Kg/cm².
6. Buka katup Back Pressure dan Pore Pressure. Ini menandakan proses saturasi sudah mulai berlangsung.
7. Catat nilai Volume Change dan tekanan pori setiap waktunya. Pastikan tekanan cell dan tekanan back selalu konstan.

8. Hentikan proses saturasi ketika nilai Pore Pressure mendekati nilai back pressure. Pastikan nilai volume change akan bergerak ke arah negative. Jika volume change bergerak ke arah positif, maka ada sesuatu hal yang salah. Hal ini dapat disebabkan oleh karet membrane yang bocor.
9. Setelah nilai pore pressure mendekati nilai back pressure dengan perbedaan 0,01 Kg/cm². Maka tutup katup back pressure dan pore pressure. Cell Pressure biarkan terbuka.

▪ **B Value Calculation**

1. Fungsi dari Saturasi adalah untuk menjenuhkan tanah. Parameter yang dapat dijadikan tolak ukur bahwa tanah sudah jenuh atau belum adalah dengan menghitung B value.
2. Naikkan tekanan cell sebesar 0,2 atau 0,3. Tekanan Back dibiarkan tetap.
3. Setelah itu buka katup Pore Pressure saja. Tekanan back biarkan tertutup.
4. Lihat kenaikan nilai pori secara gradual. Jika selama 15 menit nilai tekanan pori tidak naik lagi dan nilai belum mencapai 0,9.
5. Lakukan proses increament dari mulai saturasi dan B value hingga nilai B value mencapai 0,9.
6. Nilai kenaikan Cell Pressure pada saturasi berikutnya 2 kalinya dari proses saturasi yang pertama. Begitupun seterusnya 3 kalinya. Perbedaan dengan tekanan back tetap dijaga 0,1 Kg/cm².
7. Setiap kali melakukan saturasi kembali maka harus dicek selalu nilai B value nya.
8. Hitung setiap nilai B value setelah tekanan pori tidak ada perubahan dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$B = \Delta u / \Delta \sigma_3$$

Dimana:

B = Nilai B value

Δu = Perbedaan tekanan Pori awal dan akhir

$\Delta \sigma_3$ = Kenaikan dari tekanan cell (0,2 atau 0,3) pada proses B value

▪ **Proses Konsolidasi**

1. Setelah proses B value yang terakhir. Katup Back pada posisi tertutup. Tutup juga katup air pori.
2. Reset Nilai volume change ke nilai 0 kembali pada triaksial digital. Pada triaksial manual catat posisi buret pada tabung volume change.
3. Catat tekanan pori pada saat akan memulai konsolidasi.
4. Pastikan batang piston menyentuh ujung Load Cell dan Cap Sampel

5. Reset nilai dial Displacement jika tidak menunjukkan nilai 0.
 6. Naikkan tekanan cell sebesar nilai back pressure terakhir ditambahkan dengan nilai “Effective Consolidation Pressure” yang diinginkan. Masing – masing specimen akan berbeda nilainya. Konsultasikan dengan Senior Engineer Geoteknik atau Kepala Lab Mekanika Tanah yang bersangkutan.
 7. Nilai “Effective Consolidation Pressure” disesuaikan dengan kedalaman sampel di lapangan.
 8. Buka katup Back Pressure dan Pore Pressure.
 9. Catat setiap perubahan Volume Change dan tekanan pori dengan pola waktu 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30 menit, 1; 4; 8 jam dst. Pastikan tekanan cell dan tekanan pori konstan.
 10. Proses berjalan hingga nilai Volume Change sudah tidak terjadi perubahan selama 20 menit. Lama waktu dari proses ini akan sangat bergantung pada jenis tanah.
 11. Atau proses dapat dihentikan ketika terdisipasinya tekanan pori sudah mencapai 90% dari perbedaan dari Tekanan pori puncak dan tekanan Back.
 12. Setelah proses selesai tutup katup Back Pressure dan pore Pressure
 13. Setelah Konsolidasi selesai, sampel tanah akan mengalami penurunan sehingga Cap sampel akan terpisah sedikit dengan batang piston. Hitung penurunan ini dengan menaikkan Load Frame dengan kecepatan yang tinggi hingga cap dan batang piston berhimpit kembali. Baca nilai displacement yang terjadi. Nilai Displacement ini akan menjadi pengurang untuk tinggi sampel pada saat proses geser nanti.
 14. Untuk specimen 2 dan specimen 3 nilai “Effective Consolidation Pressurennya” dikalikan 2 untuk specimen 2 dan dikalikan 3 untuk specimen 3.
- **Proses Pembebanan**
 1. Ubah nilai tinggi sampel yang baru setelah diketahui pengurangan tinggi sampelnya sesuai dengan prosedur No.12 dalam tahap konsolidasi diatas.
 2. Reset nilai Dial Displacement ke angka 0.
 3. Reset nilai Load Cell ke angka 0 untuk triaksial digital. Untuk triaksial manual perlu dihitung faktor koreksi untuk Proving Ring dimana terpengaruh oleh tekanan Cell. Sehingga yang terbaca hanya nilai Deviatoric Stress.
 4. Ubah nilai kecepatan Starin rate di badan Load Frame dengan kecepatan range 0,01 mm/menit sd 0,02 mm/menit. Atau engineer geoteknik dapat menghitung t_{50} dari hasil konsolidasi (grafik Pore VS Time). Setelah mendapat nilai t_{50} dapat menghitung nilai strain rate yang akan digunakan sesuai didalam ASTM D4767. Jika tidak ada data t_{50} dapat mengambil kecepatan 1%/jam.

$$\varepsilon = 4\% / (10t_{50})$$

Jika nilai t_{50} dalam detik. Ubah terlebih dahulu kedalam menit.

5. Buka katup Pore Pressure saja.
6. Katup Back Pressure pastikan dalam keadaan tertutup.
7. Tekan tombol “Up” didalam Speed Rate (Load Frame) untuk memulai proses geser (Shearing).
8. Catat nilai Load Cell atau Proving Ring setiap Strain 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%, dan 3,0%. Setelah itu, pembacaan sebaiknya dilakukan dengan interval regangan 1,0%
9. Jika strain yang terjadi sudah mendati nilai 20%, maka berhentikan proses geser dengan menekan tombol “Stop”.
10. Tekan tombol “Stop” pada load Frame.
11. Sisa specimen setelah pengujian ditimbang dan dimasukkan didalam Oven untuk mendapatkan data index properties setelah pengujian sebagai data tambahan.

3.5.1 Prosedur perencanaan perkuatan timbunan

1. Langkah 1 (Menetapkan dimensi timbunan dan kondisi pembebanan)
 - Tinggi timbunan, H;
 - Panjang timbunan, L;
 - Lebar atas/puncak timbunan, W;
 - Kemiringan lereng, b/H;
 - Beban luar (beban tambahan atau *surchage*, beban sementara, beban dinamik atau beban lalu lintas);
 - Pertimbangan lingkungan (kembang susut, erosi, dan penggerusan)
 - Kecepatan tahap konstruksi (batasan proyek dan rencana kecepatan tahap konstruksi)
2. Langkah 2 (Membuat profit tanah dan tentukan sifat teknis tanah pondasi)
 - A. Berdasarkan penyelidikan tanah pondasi tentukan:
 1. Stratigrafi dan profil tanah pondasi
 2. Lokasi muka air tanah (kedalaman, fluktuasi)
 - B. Sifat teknik tanah pondasi adalah sebagai berikut:
 1. Kuat geser tak terdrainase (undrained) C_u untuk kondisi jangka pendek (akhir konstruksi);
 2. Parameter kuat geser terdrainase (drained), c' dan ϕ' , untuk kondisi jangka panjang;
 3. Parameter konsolidasi (C_c , C_r , c_v , σ_p');
 4. Faktor kimia dan biologis yan dapat merusak perkuatan seperti daerah tambang, pembuangan limbah dan daerah industri.
 - C. Variasi sifat tanah terhadap kedalaman dan sebaran daerah

3. Langkah 3 (Menentukan sifat fisik tanah timbunan)

- a. Klasifikasi tanah;
- b. Hubungan kadar air – kepadatan;
- c. Kuat geser tanah timbunan (ϕ');
- d. Faktor kimia dan biologis yang dapat merusak perkuatan

4. Langkah 4 (Menentukan faktor keamanan minimum dan kriteria penurunan timbunan)

Faktor keamanan minimum yang disarankan adalah:

- a. Kapasitas daya dukung global: 1,5 ;
- b. Stabilitas geser global (rotasional) pada akhir konstruksi: 1,3;
- c. Stabilitas internal, jangka panjang: 1,5 ;
- d. Pergerakan lateral (gelincir): 1,5;
- e. Pembebanan dinamik: 1,1;
- f. Kriteria penurunan timbunan: tergantung pada persyaratan proyek

5. Langkah 5 (Cek kapasitas daya dukung)

g. Kasus apabila lapisan tebal tanah lunak jauh lebih besar daripada lebar timbunan:

1) Hitung kapasitas daya dukung ultimit:

$$q_{ult} = c_u N_c$$

Keterangan:

q_{ult} = kapasitas daya dukung ultimit (kN/m²);

c_u = kuat geser tak terdrainase/undrained (kN/m²);

N_c = faktor daya dukung = $5.14 + 0.5 \frac{B}{D}$;

B = lebar dasar timbunan (m);

D = ketebalan rata – rata tanah lunak (m).

2) Hitung beban maksimum pada kondisi tanpa geosintetik:

$$P_{max} = \gamma_m H + q$$

Keterrangan:

P_{max} = beban maksimum(kN/m²);

γ_m = berat isi tanah timbunan (kN/m³);

H = tinggi timbunan (m);

q = beban merata (kN/m²).

3) Hitung faktor keamanan daya dukung (tanpa perkuatan geotekstil)

$$FK_U = \frac{q_{ult}}{P_{max}}$$

Keterangan:

FK_U = faktor keamanan daya dukung tanpa perkuatan

4) Hitung beban maksimum pada kondisi dengan geosintetik

$$P_{avg} = \frac{A_g \gamma_m + q \cdot W}{B}$$

Keterangan:

P_{avg} = beban maksimum pada kondisi dengan geosintetik (kN/m²)

A_g = luas penampang melintang timbunan (m²)

q = beban merata (kN/m²)

W = lebar atas/puncak timbunan (m)

B = lebar dasar timbunan (m)

5) Hitung faktor keamanan daya dukung, FK_R , (dengan perkuatan geotekstil):

$$FK_R = \frac{q_{ult}}{P_{avg}}$$

a. Kasus apabila lapisan tanah lunak tidak terlalu tebal, lakukan analisis peremasan (*squeezing*). Jika tebal lapisan tanah lunak (D_s) di bawah timbunan kurang dari panjang lereng b , maka faktor keamanan terhadap keruntuhan akibat peremasan dihitung dengan persamaan berikut:

$$FK_{peremasan} = \frac{2 \cdot c_u}{\gamma_m D_s \beta} + \frac{4,14 \cdot c_u}{H \gamma_m} \geq 1,3$$

Keterangan:

c_u = kuat geser tak terdrainase/*undrained* (kN/m²)

γ_m = berat isi tanah timbunan (kN/m³)

D_s = tebal tanah lunak dibawah timbunan (m)

β = sudut kemiringan lereng (derajat)

H = tinggi timbunan (m)

- b. Jika faktor keamanan daya dukung telah memenuhi syarat, maka lanjutkan pada Langkah 6. Jika tidak, pertimbangkan untuk memperlebar timbunan, melandaikan lereng, menambah berm, melakukan konstruksi bertahap, memasang drainase vertical, atau alternatif lain seperti relokasi alinyemen jalan atau menggunakan struktur jalan layang.

6. Langkah 6 (Cek stabilitas terhadap geser rotasional)

- a. Lakukan analisis bidang keruntuhan rotasional pada timbunan yang tidak diperkuat untuk menentukan bidang keruntuhan kritis dan faktor keamanan.

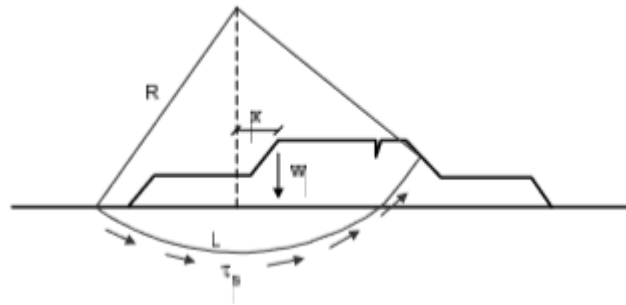
$$FK_U = M_R / M_D$$

dengan pengertian :

FK_U = faktor keamanan geser rotasional tanpa perkuatan

M_D = momen pendorong (Kn.m) = $w \cdot x$

M_R = momen penahan (Kn.M) = (



- b. Apabila faktor keamanan pada timbunan yang tidak dibutuhkan perkuatan. Lanjutkan ke langkah 7.
- c. Apabila faktor keamanan lebih kecil daripada nilai minimum dibutuhkan, maka hitung kekuatan geosintetik yang dibutuhkan (T_g) untuk memperoleh faktor keamanan yang ditargetkan (lihat Gambar 3.6):

$$T_g = \frac{FK_R M_D - M_R}{R \cdot \cos(\theta - \beta)}$$

dengan pengertian :

T_g = kekuatan geosintetik yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional (kN)

FK_R = faktor keamanan terhadap geser rotasional yang ditargetkan

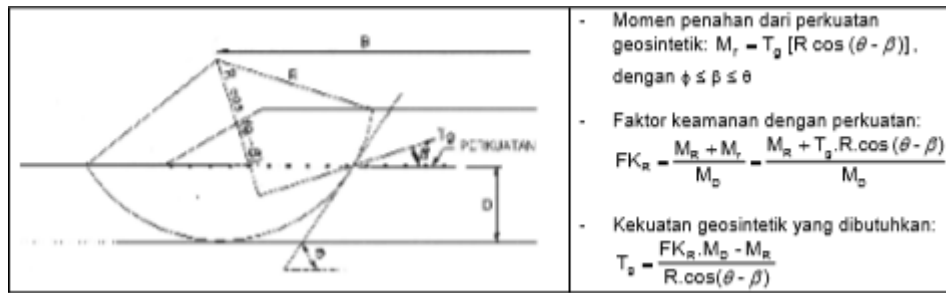
M_D = momen pendorong (kN.m)

M_R = momen penahan (kN.m)

R = jari-jari lingkaran (m)

θ = sudut antara garis tangen busur lingkaran dan garis horizontal ($^\circ$)

β = sudut orientasi perkuatan geosintetik T_g dengan garis horizontal ($^\circ$)



Untuk menentukan nilai β , nilai perkiraan di bawah ini dapat dipertimbangkan :

$\beta = 0$ untuk tanah pondasi yang getas dan sensitive (contohnya lempung marina yang terlindikan) atau jika suatu lapisan kerak permukaan (*crust*) akan dipertimbangkan dalam analisis untuk meningkatkan daya dukung

$\beta = \theta/2$ untuk $D/B < 0.4$ dan tanah dengan kompresibilitas sedang hingga tinggi (contohnya lempung lunak dan gambut)

$\beta = \theta$ untuk $D/B \geq$ dengan tanah yang sangat kompresibel (contohnya lempung lunak dan gambut); dan perkuatan dengan regangan potensial ($\epsilon_{rencana} \geq 10\%$) serta jika deformasi yang besar dapat diijinkan.

$\beta = 0$ jika terdapat keraguan

d. Kekuatan geosintetik yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional (T_g) harus dinaikkan untuk memperhitungkan kerusakan saat pemasangan dan durabilitas:

$$T_{g,ult} = T_g \cdot RF_{ID}$$

dengan pengertian :

$T_{g,ult}$ = kekuatan geosintetik ultimit yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional (kN)

RF_{ID} = faktor reduksi kerusakan saat instalasi; Nilainya bervariasi antara 1,05 sampai dengan 3,0, tergantung pada gradasi material timbunan dan berat geosintetik per berat isi. Nilai minimum biasanya diambil 1,1;

RF_D = faktor reduksi ketahanan terhadap mikroorganisme., senawa kimia , oksidasi panas dan retak tegangan (*stress cracking*). Nilainya bervariasi antara 1,1 sampai dengan 2,0. Faktor reduksi minimum adalah 1,1.

7. Langkah 7 (Cek Sstabilitas terhadap pergerakan (gelincir) lateral

a. Lakukan analisis stabilitas pergerakan lateral atau analisis stabilitas gelincir baji Apabila faktor kemanan hasil perhitungan lebih besar daripada FK minimum yang dibutuhkan, maka perkuatan untuk moda keruntuhan ini tidak dibutuhkan;

b. Apabila faktor keamanan tidak mencukupi, maka tentukan kekuatan geosintetik yang dibutuhkan untuk stabilitas gelincir lateral, T_{ls}

$$FK_R = \frac{b \cdot c_a + T_{ls}}{\frac{1}{2} \cdot FK_R \cdot H \cdot K_a \cdot (\gamma_m \cdot H + 2 \cdot q) - b \cdot c_a} \text{ atau}$$

$$T_{ls} = \frac{1}{2} \cdot FK_R \cdot H \cdot K_a \cdot (\gamma_m \cdot H + 2 \cdot q) - b \cdot c_a$$

dengan pengertian :

T_{ls} = kekuatan geosintetik yang dibutuhkan untuk stabilitas gelincir lateral (kN)

FK_R = faktor keamanan pergerakan (gelincir) lateral yang ditargetkan

H = tinggi timbunan (m)

K_a = $\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$ = koefisien tekanan tanah aktif

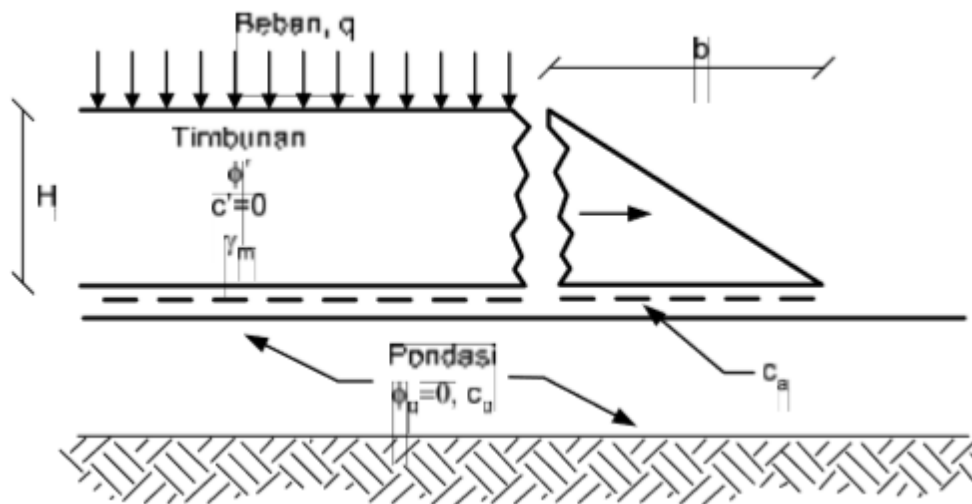
γ_m = berat isi tanah timbunan (kN/m^3)

q = beban (kN/m^2)

b = lebar lereng timbunan (m)

c_a = kohesi antara geosintetik-timbunan (kN/m^3);

C_a sebaiknya diasumsikan 0 untuk tanag pondasi yang sangat lunak dan timbunan rendah.



c. Kekuatan geosintetik yang dibutuhkan untuk stabilitas gelincir lateral (T_{ls}) harus dinaikkan untuk memperhitungkan kerusakan saat instalasi, rangkai dan durabilitas:

$$T_{ls,ult} = T_{ls,ult} \cdot RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_D$$

dengan pengertian:

$T_{ls,ult}$ = kekuatan geosintetik ultimit yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional (kN);

RF_{CR} = faktor reduksi rangkai, yaitu perbandingan kuat tarik puncak terhadap kuat batas rangkai dari uji rangkai di laboratorium. Tabel 3.2 memperlihatkan rentang umum nilai RF_{CR} untuk geosintetik berjenis polimer;

RF_{ID} = faktor reduksikerusakan saat instalasi; Nilainya bervariasi antara 1,05 sampai dengan 3,0 tergantung pada gradasi material timbunan, teknik pemadatan, struktur produk dan berat geosintetik per berat isi. Faktor reduksi minimum adalah sebesar 1,1 untuk mempertimbangkan ketidakpastian pengujian.

RF_D = faktor reduksi ketahanan terhadap mikroorganisme, senyawa kimia, oksidasi panas dan retak tegangan (*stress cracking*). Nilainya bervariasi antara 1,1 sampai dengan 2,0. Faktor reduksi minimum adalah 1,1.

Jenis polimer	RF_{CR}
Poliester	1,6 – 2,5
Polipropilena	4,0 – 5,0
Polietilena	2,6 – 5,0

d. Untuk kasus umum, tentukan kuat tarik rencana T_d yang merupakan nilai terbesar dari $T_{g,ult}$ dan $T_{ls,ult}$

e. Periksa gelincir di atas perkuatan

$$FK = \frac{b \cdot \gamma_m \cdot H \cdot \tan \phi_{sg}}{\frac{1}{2} \cdot \gamma_m \cdot H^2 \cdot K_a + q \cdot H \cdot K_a} \text{ atau}$$

$$FK = \frac{2 \cdot b \cdot \gamma_m \cdot \tan \phi_{sg}}{K_a (\gamma_m \cdot H + 2q)}$$

dengan pengertian :

FK = faktor keamanan gelincir lateral timbunan di atas perkuatan

H = tinggi timbunan (m)

K_a = $\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$ = koefisien tekanan tanah aktif

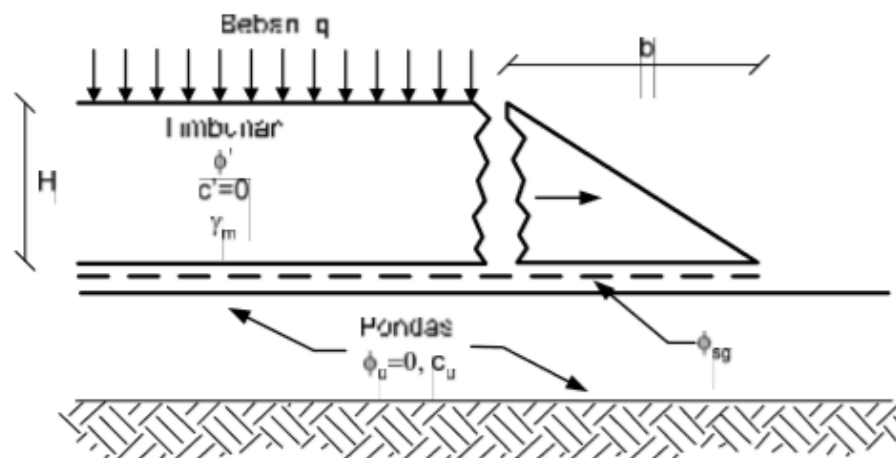
γ_m = berat isi tanah timbunan (kN/m^3)

q = beban (kN/m^2)

b = lebar lereng timbunan (m)

ϕ_{sg} = sudut geser antara geosintetik-timbunan (derajat); sebagai perkiraan awal, asumsikan

$\phi_{sg} = 2/3 \phi$.



8. Langkah 8 (Menetapkan persyaratan deformasi geosintetik yang diizinkan dan menghitung modulus perkuatan, J , berdasarkan uji tarik lebar (ASTM D 4595))

Gunakan persamaan berikut untuk menghitung modulus perkuatan:

$$J = \frac{T_{ls.ult}}{\epsilon_{geosintetik}}$$

dengan pengertian:

J = modulus perkuatan (kN/m)

$T_{ls.ult}$ = kekuatan geosintetik ultimit yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional (kN)

$\epsilon_{geosintetik}$ = batas regangan (%)

Batasan regangan ϵ berdasarkan jenis tanah timbunan adalah:

- Tanah tak berkohesi: $\epsilon_{geosintetik} = 2\%$ sampai dengan 5%
- Tanah berkohesi: $\epsilon_{geosintetik} = 2\%$

Batasan regangan untuk timbunan di atas gambut adalah:

- Gambut: $\epsilon_{geosintetik} = 2\%$ sampai 10%

9. Langkah 9 (Menetapkan persyaratan kekuatan geosintetik pada arah longitudinal timbunan, arah alinyemen timbunan)

- a. Cek kapasitas daya dukung dan stabilitas geser rotasional di ujung timbunan (Langkah 5 dan Langkah 6);
- b. Gunakan kekuatan dan elongasi dari Langkah 7 dan Langkah 8 untuk mengontrol penyebaran timbunan selama konstruksi serta penyimpangan pada konstruksi selanjutnya;
- c. Karena kekuatan sambungan yang tegak lurus terhadap alinyemen timbunan menentukan syarat kekuatan, maka syarat kekuatan sambungan merupakan nilai terbesar yang ditentukan dari Langkah 9A atau Langkah 9B.

10. Langkah 10 (Menetapkan sifat geosintetik yang dibutuhkan)

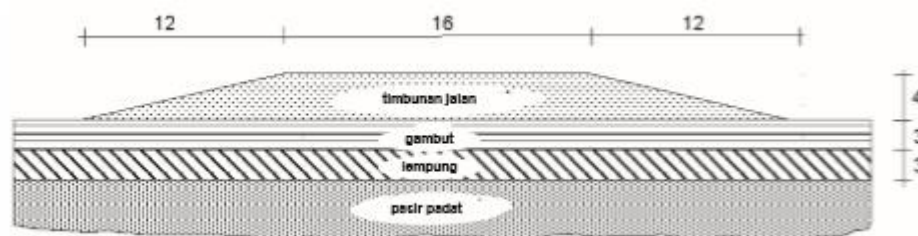
- a. Tentukan kekuatan tarik rencana dan elongasi rencana menurut ASTM D 4595 atau RSNI M-05-2005. Modulus geosintetik harus ditentukan dengan modulus sekan yang didefinisikan dengan titik regangan nol dan titik batasa regangan rencana (dari langkah 8);
- b. Tetapkan kekuatan sambungan ($T_{keliman}$) yang diukur dengan metode uji ASTM D 4884 atau ISO 10321:2008, yaitu sama dengan kekuatan yang dibutuhkan pada arah memanjang timbunan;
- c. Tentukan nilai gesekan antara tanah dengan geosintetik ϕ_{sg} berdasarkan ASTM D 5321 atau ISO 12957-1:2005 dengan menggunakan contoh tanah setempat. Sebagai perkiraan awal, untuk tanah timbunan pasir dapat diasumsikan $\phi_{sg} = 2/3\phi$ (ϕ adalah sudut geser tanah pasir). untuk tanah lempung, harus dilakukan pengujian pada situasi apapun;
- d. Pilih persyaratan ketahanan dan kinerja konstruksi geosintetik berdasarkan kondisi setempat.

11. Langkah 11 (Memperkirakan besar dan kecepatan penurunan timbunan yang mengakibatkan keruntuhan timbunan)
12. Langkah 12 (Menetapkan tahapan dan prosedur konstruksi)
13. Langkah 13 (Menetapkan persyaratan observasi konstruksi)
 - a. Instrumentasi. Sebagai syarat minimum, pasang piezometer, plat penurunan dan patok geser. Pertimbangkan juga untuk memasang inclinometer untuk memantau pergerakan lateral terhadap kedalaman.
 - b. Inspeksi geosintetik. Yakinkan agar pengawas lapangan memahami:
 - Penyerahan geosintetik untuk proses penerimaan sebelum dilakukan instalasi;
 - Syarat-syarat pengujian;
 - Prosedur pengurangan dan pemadatan;
 - Pengecekan keutuhan jahitan
14. Langkah 14 (Melakukan rapat prakonstruksi)
15. Langkah 15 (Melakukan konstruksi dan pengawasan pelaksanaan)

3.5.2 Prosedur Perencanaan Konstruksi Timbunan untuk Jalan dengan Software Plaxis

Konstruksi suatu timbunan di atas tanah lunak dengan elevasi muka air tanah yang tinggi akan menyebabkan peningkatan tekanan air pori. Akibat perilaku tak terdrainase ini, maka tegangan efektif akan tetap rendah sehingga diperlukan rentang waktu konsolidasi tertentu agar timbunan dapat dikonstruksi dengan aman. Selama proses konsolidasi tekanan air pori berlebih akan terdisipasi sehingga tanah dapat memperoleh kuat geser yang cukup agar proses konstruksi dapat dilanjutkan.

Pelajaran ini akan membahas suatu konstruksi timbunan untuk jalan dimana mekanisme di atas akan dianalisis secara mendetil. Dalam analisis ini akan diperkenalkan tiga buah pilihan perhitungan yang baru, yaitu analisis konsolidasi, analisis jaring elemen yang diperbaharui dan perhitungan faktor keamanan dengan menggunakan *Reduksi phi-c*.



Gambar 7.1 Situasi timbunan untuk jalan pada tanah lunak

Lampiran B. Analisis numeris perkuatan timbunan tanah dengan software plaxis

3.1 Analisis numeris perkuatan tanah

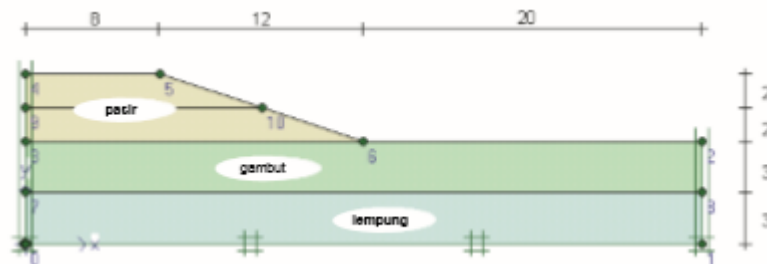
3.5.3 Plaxis

MASUKAN

Gambar 7.1 menunjukkan potongan melintang dari timbunan untuk jalan. Timbunan mempunyai lebar 16.0 m dan tinggi 4.0 m. Kemiringan lereng adalah 1:3. Permasalahan adalah simetris, sehingga hanya dimodelkan setengahnya saja (dalam kasus ini digunakan bagian kanan). Material timbunan adalah tanah pasiran yang lepas. Tanah dasar terdiri dari 6.0 m tanah lunak. 3.0 m pertama dari lapisan tanah lunak adalah tanah gambut dan 3.0 m berikutnya adalah tanah lempung. Elevasi muka air tanah tepat berada pada permukaan tanah asli. Di bawah lapisan tanah lunak terdapat lapisan pasir padat yang tidak diikutsertakan dalam model.

a. Model geometri

Timbunan yang ditunjukkan dalam Gambar 7.1 dapat dianalisis dengan menggunakan model regangan bidang. Untuk contoh ini digunakan elemen dengan 15 titik nodal. Satuan dasar yang digunakan untuk *Panjang*, *Gaya* dan *Waktu* adalah m, kN dan hari. Model geometri mempunyai lebar total 40 m, dimulai dari titik tengah timbunan. Geometri penuh dapat digambarkan dengan menggunakan pilihan *Garis geometri*. Deformasi dari lapisan pasir pada Gambar 7.1 diasumsikan tidak terjadi. Karena itu, lapisan ini tidak diikutsertakan dalam model dan digunakan kondisi jepit untuk dasar model. *Jepit standar* dapat digunakan untuk mendefinisikan kondisi batas. Geometri dari model ditunjukkan dalam Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Model geometri proyek timbunan untuk jalan

Tabel 7.1 Sifat-sifat untuk tanah dan antarmuka

Parameter	Nama	Lempung	Gambut	Pasir	Satuan
Model material	<i>Model</i>	MC	MC	MC	-
Jenis perilaku material	<i>Jenis</i>	Tak terdr.	Tak terdr.	Terdrain.	-
Brt. isi tnh. di atas m.a.t	γ_{unsat}	15	8	16	kN/m ³
Brt. isi tnh. di bawah m.a.t	γ_{sat}	18	11	20	kN/m ³
Permeabilitas horisontal	k_x	1·10 ⁻⁴	2·10 ⁻³	1.0	m/hari
Permeabilitas vertikal	k_y	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻³	1.0	m/hari
Modulus Young	E_{ref}	1000	350	3000	kN/m ²
Angka Poisson	ν	0.33	0.35	0.3	-
Kohesi	c_{ref}	2.0	5.0	1.0	kN/m ²
Sudut geser	ϕ	24	20	30	°
Sudut dilatasi	ψ	0.0	0.0	0.0	°

b. Kumpulan data material dan penyusunan jaring elemen

Sifat dari tanah diberikan pada Tabel 7.1. Tiga buah kumpulan data material harus dibuat, berisi data sesuai dengan data dalam tabel. Lapisan lempung dan gambut bersifat tak terdrainase. Jenis perilaku ini akan menyebabkan peningkatan tekanan air pori selama proses konstruksi dari timbunan. Terapkan kumpulan data material yang sesuai pada tiap klaster dalam model geometri. Setelah memasukkan parameter material, jaring elemen hingga sederhana dapat disusun dengan menggunakan tingkat kekasaran elemen *Sedang*. Lakukan penyusunan jaring elemen dengan menekan tombol *Susun jaring elemen*.

c. Kondisi awal

Dalam *Kondisi awal* tetapkan berat isi air sebesar 10 kN/m³. Tekanan air sepenuhnya adalah tekanan hidrostatis berdasarkan garis freatik global melalui titik (0.0; 6.0) dan (40.0; 6.0).

Selain garis freatik, perhatian khusus harus diberikan pada kondisi batas untuk analisis konsolidasi yang akan dilakukan dalam proses perhitungan. Tanpa memberikan masukan tambahan apapun, seluruh batas akan mengalirkan air, sehingga air dapat mengalir bebas keluar dari seluruh batas model dan tekanan air pori berlebih dapat berdisipasi ke segala arah. Pada kasus ini, kondisi batas vertikal sebelah kiri harus tertutup karena batas ini adalah garis simetri dimana aliran arah horisontal tidak boleh terjadi. Kondisi batas vertikal sebelah kanan juga harus tertutup karena tidak ada aliran tak terkekang keluar yang terjadi melalui batas tersebut. Kondisi batas dasar terbuka karena di bawah lapisan tanah lunak tekanan air pori berlebih dapat secara bebas mengalir ke dalam lapisan pasir yang permeabel (yang tidak diikutsertakan dalam model). Kondisi batas atas memang terbuka seperti apa adanya. Untuk dapat menentukan batas konsolidasi yang benar, ikuti langkah-langkah berikut :



Klik tombol *Batas konsolidasi tertutup* (garis berwarna kuning) pada *toolbar*.

- Gerakkan kursor ke atas pada batas kiri (0.0; 10.0) dan klik pada titik tersebut. Gerakkan ke bawah ke titik (0.0; 0.0) dan klik lagi. Klik-kanan untuk mengakhiri penggambaran batas tertutup ini.
- Gerakkan ke atas ke batas kanan pada (40.0; 6.0) dan klik. Gerakkan ke bawah ke titik (40.0; 0.0) dan klik kembali. Akhiri batas tertutup ini.
- Klik tombol *Hitung tekanan air* untuk menghitung tekanan air dan kondisi batas konsolidasi.

Petunjuk : Batas konsolidasi tertutup hanya dapat didefinisikan dengan mengklik titik-titik geometri yang telah ada. Program secara otomatis akan menemukan titik-titik geometri yang berada di antara titik-titik yang dipilih.

Kondisi batas konsolidasi harus dibentuk pada titik-titik nodal batas dalam jaring elemen. Hal ini dilakukan bersamaan dengan perhitungan tekanan air. Oleh karena itu, setelah memberikan atau mengubah batas

Setelah perhitungan tekanan air, klik pada 'switch' untuk memodifikasi konfigurasi geometri awal. Pada kondisi awal, timbunan belum ada sehingga untuk menghitung tegangan awal dari model maka timbunan tersebut harus dinonaktifkan terlebih dahulu.

Klik satu kali pada tiap klaster yang memodelkan timbunan, seperti pada perhitungan tahapan konstruksi. Setelah timbunan dinonaktifkan (klaster yang bersangkutan akan mempunyai warna seperti warna latar belakang), maka geometri yang aktif akan berupa geometri yang horisontal dengan lapisan-lapisan yang horisontal pula, sehingga *Prosedur- K_0* dapat digunakan untuk menghitung tegangan awal. Nilai K_0 yang disarankan untuk lapisan lempung dan lapisan gambut (berdasarkan persamaan yang diusulkan oleh Jaky : $K_0 = 1 - \sin \phi$) dapat diterima. Setelah perhitungan tegangan awal dilakukan maka masukan telah selesai dan perhitungan dapat ditentukan.

PERHITUNGAN

Konstruksi timbunan terdiri dari dua tahap, masing-masing membutuhkan waktu 5 hari. Setelah tahapan konstruksi pertama, dilanjutkan dengan konsolidasi selama 200 hari agar tekanan air pori berlebih dapat berdisipasi. Setelah tahapan konstruksi kedua, sebuah rentang konsolidasi lain diberikan sehingga penurunan final dapat diperhitungkan. Karena itu, perlu didefinisikan empat buah tahapan perhitungan.

Analisis konsolidasi akan mengikutsertakan dimensi waktu ke dalam perhitungan. Untuk melakukan analisis konsolidasi secara benar maka langkah waktu yang benar harus dipilih. Penggunaan langkah waktu yang lebih kecil dari nilai kritis minimum dapat mengakibatkan osilasi tegangan. Pilihan konsolidasi dalam PLAXIS dapat dilakukan dengan menggunakan prosedur langkah waktu otomatis yang telah mengikutsertakan interval waktu kritis dalam perhitungan. Dalam prosedur langkah waktu otomatis terdapat tiga buah kemungkinan, yaitu

konsolidasi untuk suatu rentang waktu tertentu termasuk efek dari perubahan pada geometri yang aktif (*Tahapan konstruksi*), konsolidasi hingga seluruh tekanan air pori berlebih dalam geometri telah mencapai nilai minimum tertentu (*Tekanan air pori minimum*) dan konsolidasi untuk sejumlah langkah perhitungan tertentu, dengan menggunakan peningkatan faktor pengali untuk meningkatkan sistem beban secara global dalam waktu atau dengan mengaplikasikan kecepatan pembebanan (*Peningkatan faktor pengali*). Dua kemungkinan pertama akan digunakan dalam latihan ini.

Untuk mendefinisikan tahap-tahap perhitungan, ikuti langkah-langkah berikut :

- Tahap perhitungan pertama adalah analisis *Konsolidasi, Tahapan konstruksi*. Dalam lembar-tab *Umum* pilih *Konsolidasi* dari kotak *Jenis perhitungan*. Dalam lembar-tab *Parameter*, masukkan *Interval waktu* sebanyak 5 hari. Pilih *Tahapan konstruksi* sebagai *Masukan pembebanan* dan klik tombol <Tentukan>. Aktifkan bagian pertama dari timbunan dalam jendela Konfigurasi geometri dan klik tombol <Perbaharui>.
- Kembali dalam jendela Perhitungan, klik tombol <Berikutnya> untuk membuat tahap perhitungan berikutnya.
- Tahap kedua juga merupakan analisis *Konsolidasi, Tahapan konstruksi*. Kali ini tidak ada perubahan dalam geometri karena hanya diperlukan analisis konsolidasi hingga waktu batas tertentu saja. Masukkan interval waktu sebesar 200 hari dan klik tombol <Berikutnya> untuk membentuk tahap perhitungan berikutnya.
- Tahap ketiga merupakan analisis *Konsolidasi, Tahapan konstruksi* lagi. Setelah memilih *Tahapan konstruksi* dalam lembar-tab *Parameter*, masukkan *Interval waktu* 5 hari. Klik tombol <Tentukan> dan aktifkan bagian kedua dari timbunan. Klik <Perbaharui> dan masuk ke tahap berikutnya.
- Tahap keempat adalah analisis konsolidasi hingga mencapai tekanan air pori minimum. Dalam lembar-tab *Parameter*, pilih *Tekanan air pori minimum* dari kotak *Masukan pembebanan* dan terima nilai pra-pilih sebesar 1 kN/m^2 untuk tekanan air pori minimum.

Sebelum memulai perhitungan, klik tombol *Pilih titik untuk kurva* dan pilih titik-titik berikut. Untuk Titik A, pilih kaki timbunan. Titik kedua (Titik B) akan digunakan untuk menggambarkan proses terbentuknya (dan berkurangnya) tekanan air pori berlebih. Tentukan titik ini di tengah lapisan tanah lunak, di dekat (tetapi tidak harus tepat berada pada) garis batas geometri di sebelah kiri. Setelah memilih kedua titik ini, proses perhitungan dapat dimulai.

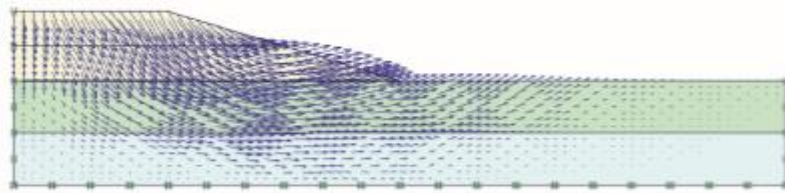
Selama analisis konsolidasi berlangsung, peningkatan waktu dapat terlihat pada bagian atas dalam jendela informasi perhitungan. Selain pengali, sebuah parameter *Pmaks* akan muncul, yang menunjukkan tekanan air pori maksimum saat ini. Parameter ini akan berguna

pada kasus analisis konsolidasi dengan pilihan *Tekanan air pori minimum*, dimana seluruh nilai tekanan air pori ditentukan untuk berada di bawah suatu nilai tertentu yang ditetapkan.

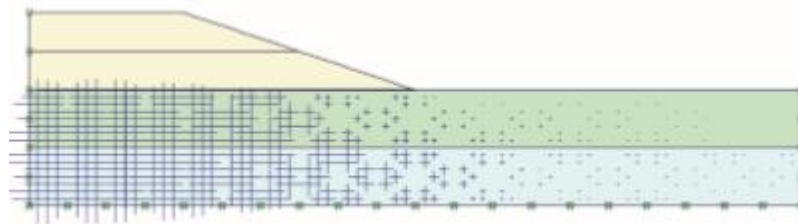
KELUARAN

Setelah perhitungan selesai, pilih tahap perhitungan ketiga dan keempat secara bersamaan (dengan menekan tombol <Ctrl> pada papan ketik saat memilih kedua tahap ini) dan klik tombol <Keluaran>. Jendela keluaran akan menampilkan dua buah jaring elemen terdeformasi pada kondisi yang berbeda, yaitu pada kondisi setelah proses konstruksi timbunan tahap akhir tepat selesai dan pada kondisi setelah konsolidasi secara penuh terjadi.

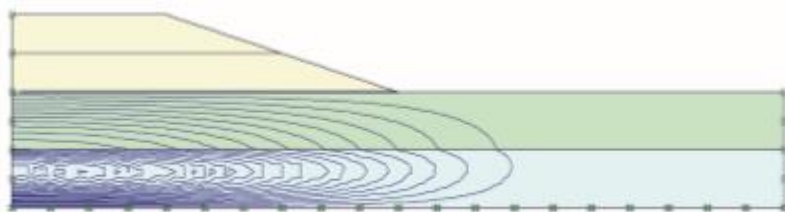
Melihat hasil perhitungan pada tahap ketiga (setelah konstruksi timbunan selesai), jaring elemen terdeformasi menunjukkan adanya gaya angkat pada daerah kaki timbunan serta dataran di belakang timbunan akibat adanya perilaku tak terdrainase. Dengan mengevaluasi peningkatan perpindahan total, dapat terlihat adanya suatu mekanisme keruntuhan yang mulai terbentuk (lihat Gambar 7.3). Selain itu Gambar 7.4 menunjukkan distribusi tekanan air pori berlebih yang terjadi. Terlihat jelas bahwa tekanan air pori berlebih tertinggi terjadi di bawah pusat timbunan.



Gambar 7.3 Peningkatan perpindahan setelah proses konstruksi timbunan



Gambar 7.4 Tekanan air pori berlebih setelah proses konstruksi timbunan



Gambar 7.5 Kontur tekanan air pori berlebih setelah proses konsolidasi hingga $P_{berlebih}$

$$(P_{berlebih}) < 1.0 \text{ kN/m}^2$$

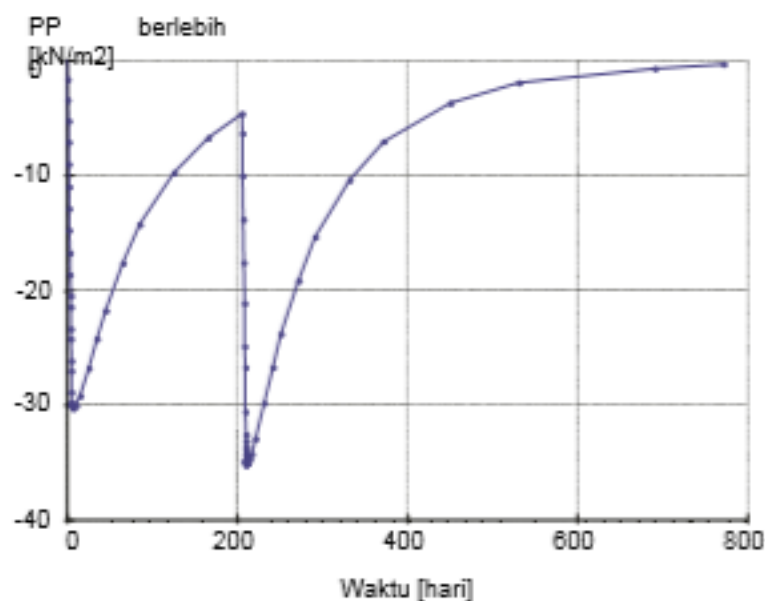
Terlihat pula bahwa penurunan dari permukaan tanah asli serta timbunan meningkat tajam

selama tahap keempat. Hal ini disebabkan oleh disipasi dari tekanan air pori berlebih, yang menyebabkan proses konsolidasi dari tanah. Gambar 7.5 menunjukkan distribusi sisa tekanan air pori berlebih setelah konsolidasi. Periksa bahwa nilai maksimumnya telah berada di bawah 1.0 kN/m^2 .

Program *Kurva* dapat digunakan untuk menampilkan perkembangan tekanan air pori berlebih terhadap waktu di bawah timbunan. Untuk menggambarkan kurva seperti ini, ikuti langkah-langkah berikut :

- Klik tombol *Program Kurva* di sudut kiri atas jendela Keluaran.
- Pilih *Diagram baru* dan pilih proyek ini dari permintaan berkas.
- Dalam jendela *Penggambaran kurva*, pilih *Waktu* untuk sumbu *x*. Untuk sumbu *y*, pilih *Tekanan air pori – Tekanan air pori berlebih* dan pilih titik yang berada di tengah lapisan tanah lunak (Titik B) dari kotak *Titik*. Setelah meng-klik tombol <OK>, sebuah kurva seperti pada Gambar 7.6 akan muncul.

Gambar 7.6 secara jelas menunjukkan empat buah tahap perhitungan. Selama tahap konstruksi timbunan secara tak terdrainase, tekanan air pori berlebih meningkat dalam waktu singkat, sedangkan selama proses konsolidasi tekanan air pori berlebih akan berkurang sejalan dengan waktu. Sebenarnya konsolidasi telah mulai berlangsung pada saat konstruksi timbunan, karena tahap tersebut juga menggunakan interval waktu. Dari kurva yang terbentuk dapat terlihat bahwa dibutuhkan lebih dari 700 hari untuk mencapai konsolidasi secara penuh.



Gambar 7.6 Peningkatan tekanan air pori berlebih di bawah timbunan

ANALISIS KEAMANAN

Dalam desain suatu timbunan , merupakan hal yang penting untk tidak hanya meninjau

stabilitas final, tetapi juga stabilitas selama proses konstruksi berlangsung. Terlihat jelas dari hasil yang diperoleh bahwa suatu mekanisme keruntuhan mulia terbentuk setelah konstruksi timbunan dimulai pada tahap kedua.

Merupakan hal yang menarik untuk mengevaluasi faktor keamanan global pada tahap perhitungan ini serta tahapan – tahapan konstruksi lainnya.

Dalam rekayasa struktur, faktor keamanan umumnya didefinisikan sebagai rasio dari beban runtuh terhadap beban kerja. Namun demikian, untuk struktur tanah definisi ini tidak selalu berguna. Untuk timbunan misalnya, sebagian besar dari beban diakibatkan oleh berat sendiri dari tanah dan peningkatan berat dari tanah umumnya tidak mengakibatkan keruntuhan. Suatu lereng dari tanah non-kohesif tidak akan runtuh dalam suatu pengujian yang meningkatkan berat sendiri dari tanah (seperti pada uji *centrifuge*). Definisi yang lebih tepat untuk faktor keamanan adalah:

$$\text{Faktor keamanan} = \frac{S_{\text{maksimum yang tersedia}}}{S_{\text{perlu untuk ekuilibrium}}}$$

Reduksi parameter kekuatan diatur oleh faktor pengali total ΣMsf . Parameter ini akan ditingkatkan secara bertahap hingga keruntuhan terjadi. Faktor keamanan kemudian didefinisikan sebagai nilai ΣMsf saat keruntuhan terjadi, hanya jika saat keruntuhan terjadi suatu nilai yang kurang lebih konstan telah diperoleh untuk beberapa langkah pembebanan secara berturut – turut.

Pilihan perhitungan *Reduksi phi-c* tersedia dalam PLAXIS dari daftar *jenis perhitungan* dalam lembar-tab *Umum*. Jika pilihan *Reduksi phi-c* dipilih maka *Masukan pembebanan* dalam lembar-tab *Parameter* secara otomatis akan diatur menjadi *Peningkatan faktor pengali*.

Untuk menghitung faktor keamanan global dari timbunan untuk jalan pada berbagai tahapan konstruksi, ikuti langkah – langkah berikut:

- Klik tombol *Program Perhitungan* untuk masuk ke program Perhitungan.
- Faktor keamanan dari tahapan konstruksi pertama ingin dihitung. Karena itu buat sebuah tahap perhitungan baru dan dalam kotak *Mulai dari tahap* pilih Tahap 1.
- Dalam lembar – tab *Umum*, pilih perhitungan *Reduksi phi – c*.
- Dalam lembar – tab *Parameter* jumlah *Langkah tambahan* secara otomatis diatur menjadi 100 (dan bukan sebesar 250 sesuai dengan nilai pra - pilihnya). Untuk tidak memperhitungkan deformasi yang telah terjadi akibat mekanisme keruntuhan, pilih *Atur perpindahan menjadi nol*. Pilihan *Peningkatan faktor pengali* akan telah diaktifkan dalam kotak *Masukan pembebanan*. Klik <Tentukan> untuk masuk ke lembar – tab *Pengali*.
- Dalam jendela pengali, periksa bahwa peningkatan pertama dari faktor pengali yang

mengatur proses reduksi kekuatan, M_{sf} , bernilai 0,1. Perhitungan faktor keamanan yang pertama sekarang telah didefinisikan.

Petunjuk : Nilai pra – pilih untuk *Langkah tambahan* dalam perhitungan *Reduksi phi – c* adalah 100. Berbeda dengan perhitungan *Tingkat batas*, jumlah langkah tambahan pada perhitungan ini selalu dieksekusi seluruhnya. Dalam hampir seluruh perhitungan *Reduksi phi – c*, 100 langkah umumnya cukup untuk mencapai kondisi runtuh. Jika tidak, jumlah langkah tambahan dapat ditingkatkan hingga maksimum sebesar 1000. Untuk kebanyakan reduksi phi – c, $M_{sf} = 0,1$ umumnya cukup untuk memulai langkah pertama proses perhitungan. Selama proses perhitungan, peningkatan faktor pengali total untuk reduksi kekuatan, ΣM_{sf} , secara otomatis diatur oleh prosedur peningkatan


- Sekarang diinginkan untuk mendefinisikan perhitungan faktor keamanan setelah tahapan konstruksi kedua. Buat tahap perhitungan baru dan pilih Tahap 3 sebagai tahap untuk dimulainya tahap perhitungan ini. Hal ini dapat dilakukan dalam lembar – tab *Umum* pada program *Perhitungan* dengan meng-klik kota *Mulai dari tahap* dan memilih Tahap 3.
- Dalam lembar-tab *Umum*, pilih perhitungan *Reduksi phi-c* dari kotak *Jenis Pembebanan*.
- Dalam lembar – tab *Parameter* pilih *Atur perpindahan menjadi nol*, pilih *Peningkatan faktor pengali* dan klik tombol <Tentukan>.
- Dalam jendela *Pengali*, periksa bahwa M_{sf} diatur ke 0.1.
- Terakhir ingin diketahui faktor keamanan final dari timbunan. Buat satu tahap perhitungan lagi dan atur agar tahap ini dimulai dari tahap perhitungan keempat.
- Dalam lembar-tab *Umum*, pilih perhitungan *Reduksi phi-c* sebagai jenis pembebanan.
- Dalam lembar-tab *Parameter* pilih *Atur perpindahan menjadi nol*. Selain itu, aktifkan *Abaikan perilaku tak terdrainase* karena dalam kasus ini akan diperhitungkan perilaku jangka anjangan dari timbunan. Pilih *Peningkatan faktor pengali* dan klik tombol <Tentukan>.
- Dalam jendela *Pengali*, periksa bahwa M_{sf} diatur ke 0.1.

Sebelum memulai perhitungan, pastikan bahwa hanya tahap perhitungan baru saja yang dipilih untuk dieksekusi (\rightarrow); tahap perhitungan yang lain seharusnya diindikasikan dengan tanda \surd .


Lampiran C. Hasil Pengujian Laboratorium

4.1.1 Pengujian Indeks Properties


4.4.1.1 Kadar Air

		LABORATORIUM MEKANIKA TANAH					
		JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK					
		UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG					
		Gedung E3 - E4 Kampus Sekaran - Gunungpati - Semarang 50229					
Judul Pekerjaan	: Perhitungan Kadar Air Tanah						
Lokasi Pekerjaan	: Laboratorium Mekanika Tanah						
Sampel Tanah	: Tanah Likuifaksi Palu						
Tanggal Pengujian	: 15 Novemeber 2019						
Diuji Oleh	: Sari Meliana, Adi Pratama						
Diperiksa Oleh	: Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.						
Keterangan		Nilai					Satuan
No. Sampel tanah		1	2	3	4	5	
Unit Weight		1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	gr/cm ³
Berat mold + kaca		109.50	150.62	109.50	109.50	150.62	gr
Berat Jenis		2.64	2.66	2.60	2.62	2.63	-
Berat mold + kaca		150.62	150.62	150.62	150.62	150.62	gr
Tinggi mold		7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	cm
Diameter mold		3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	cm
e max	Berat tanah + mold + kaca	250.17	233.01	236.61	226.28	216.44	gr
	Ws	99.55	82.39	85.99	75.66	65.82	gr
	V	73.08	73.08	73.08	73.08	73.08	cm ³
	Vs	55.31	45.77	47.77	42.03	36.57	cm ³
	Vv	17.78	27.31	25.31	31.05	36.52	cm ³
	e max	0.32	0.60	0.53	0.74	1.00	-
e min	Berat tanah + mold + kaca	282.24	260.46	254.86	251.51	247.73	gr
	Ws	131.62	109.84	104.24	100.89	97.11	gr
	V	73.08	73.08	73.08	73.08	73.08	cm ³
	Vs	73.12	61.02	57.91	56.05	53.95	cm ³
	Vv	0.04	12.06	15.17	17.03	19.13	cm ³
	e min	0.00	0.20	0.26	0.30	0.35	-
Dr		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	%
e		0.26	0.52	0.48	0.65	0.87	-
γ_w		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	gr/cm ³
γ_{dmax}		2.64	2.22	2.06	2.01	1.94	gr/cm ³
γ_{dmin}		2.00	1.67	1.70	1.50	1.31	gr/cm ³
γ_d		2.10	1.75	1.76	1.58	1.41	gr/cm ³
e	n	0.20	0.34	0.32	0.39	0.47	%
	Vv	14.95	24.90	23.58	28.84	34.00	cm ³
	Vs	58.13	48.18	49.51	44.25	39.09	cm ³
	Ww	58.13	48.18	49.51	44.25	39.09	gr
	Ws	104.63	86.72	89.11	79.64	70.35	gr
γ		2.23	1.85	1.90	1.70	1.50	gr/cm ³
ω		0.06	0.05	0.08	0.07	0.07	%
Unit weight		2.23	1.85	1.90	1.70	1.50	gr/cm ³
Berat Sampel		162.76	134.91	138.62	123.89	109.44	gr
Berat tanah		153.59	128.23	128.94	115.75	102.72	gr
Berat air		9.17	6.68	9.68	8.14	6.72	gr
Total		162.76	134.91	138.62	123.89	109.44	gr


4.4.1.2 Berat Jenis

		LABORATORIUM MEKANIKA TANAH										
		JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK										
		UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG										
		Gedung E3 - E4 Kampus Sekaran - Gunungpati - Semarang 50229										
Judul Pekerjaan		: Pengujian Berat Jenis Tanah (Specific Gravity)										
Lokasi Pekerjaan		: Laboratorium Mekanika Tanah										
Sampel Tanah		: Tanah Likuifaksi Palu										
Tanggal Pengujian		: 15 Novemeber 2019										
Diuji Oleh		: Sari Meliana, Adi Pratama										
Diperiksa Oleh		: Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.										
Sample No		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	
Depth	m	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Picnometer No.	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Temperature		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
Weight of picno + sample	w1	gr	227.94	239.00	228.40	227.43	237.92	231.02	223.18	221.17	229.14	236.40
Weight of picnometer	w2	gr	80.76	89.67	88.36	88.65	80.76	89.67	85.88	88.65	80.76	89.67
Weight of sample	w3 = w1 - w2	gr	147.18	149.33	140.04	138.78	157.16	141.35	137.30	132.52	148.38	146.73
Weight of picnometer + water	w4	gr	332.34	342.67	339.37	339.67	332.34	342.67	339.37	339.67	332.34	342.67
Weight of picno + sample + water	w5	gr	424.70	436.26	426.71	426.15	430.09	431.11	425.66	422.31	425.40	434.09
Volume of Sample	$V = [w4 - (w5 - w3)] / gw$	cm ³	55.03	55.95	52.90	52.50	59.63	53.11	51.20	50.07	55.53	55.52
Specific Gravity	$G_s = w3 / v$		2.67	2.67	2.65	2.64	2.64	2.66	2.68	2.65	2.67	2.64
Average Specific Gravity			2.67		2.65		2.65		2.66		2.66	

4.4.1.3 Berat Volume

		LABORATORIUM MEKANIKA TANAH					
		JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK					
		UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG					
		Gedung E3 - E4 Kampus Sekaran - Gunungpati - Semarang 50229					
Judul Pekerjaan		: Pengujian Berat Volume Tanah					
Lokasi Pekerjaan		: Laboratorium Mekanika Tanah					
Sampel Tanah		: Tanah Likuifaksi Palu					
Tanggal Pengujian		: 15 Novemeber 2019					
Diuji Oleh		: Sari Meliana, Adi Pratama					
Diperiksa Oleh		: Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.					
Sample No		1	2	3	4	5	
Ring No.							
Weight of ring + wet soil	w1	gr	215.88	242.25	243.76	237.77	219.03
Weight of ring	w2	gr	85.86	84.85	84.39	84.61	87.61
Weight of wet soil	w3 = w1 - w2	gr	130.02	157.40	159.37	153.16	131.42
Volume of ring	v	cm ³	79.65	80.10	80.10	79.88	78.75
Unit Weight	$g = w3/v$	gr/ cm ³	1.63	1.96	1.99	1.92	1.67
Average Unit Weight		gr/ cm ³	1.83				

4.1.2 Pengujian Gradasi Butiran

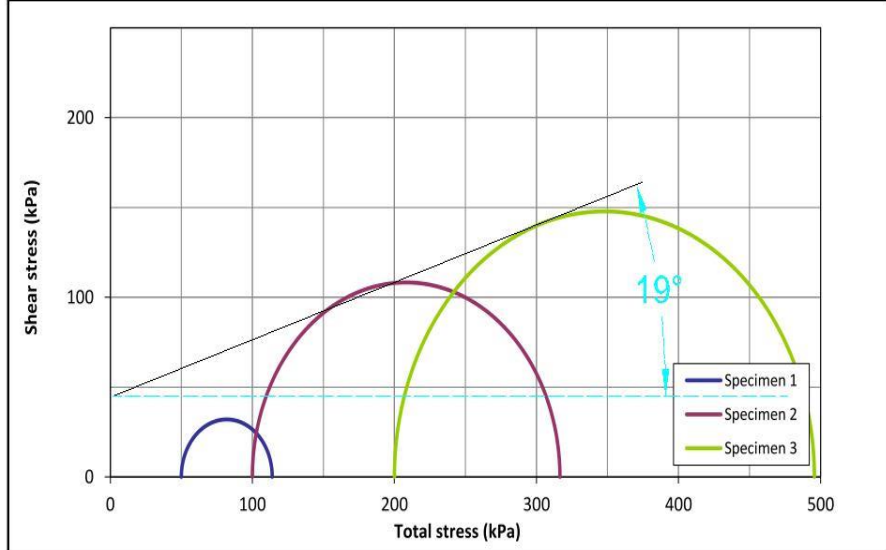
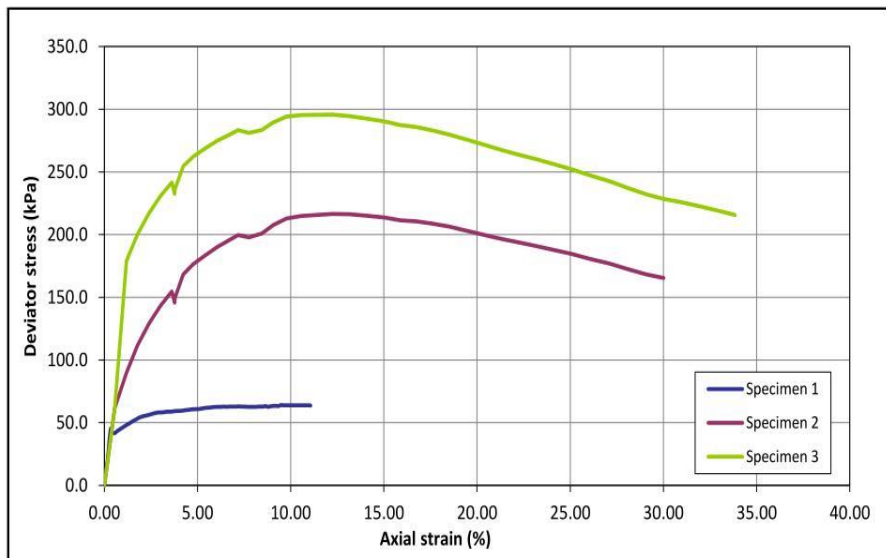
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG Gedung E3 - E4 Kampus Sekaran - Gunungpati - Semarang 50229															
Judul Pekerjaan		: Pengujian Analisa Butiran (Grain Size Analysis)													
Lokasi Pekerjaan		: Laboratorium Mekanika Tanah													
Sampel Tanah		: Tanah Likufaksi Palu													
Tanggal Pengujian		: 15 Novemeber 2019													
Diuji Oleh		: Sari Melana, Adi Pratama													
Diperiksa Oleh		: Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.													
Mechanical Sieving							Hydrometer Analysis								
Sample	Sieve no.	Diameter (mm)	Mass Retained (gr)	Percent Retained (%)	Percent Cumulative (%)	Percent Passing (%)	Elapsed Time, T (min)	Hydrometer Reading	Temp (°C)	Rc	Effective Depth, L (cm)	D (mm)	Mass Percent (%) Finer		
1	4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	0		1						
	10	1	12.15	10.47	10.47	89.53	1	15	1	29	15.99	12.9	0.046	0.360	
	20	0.5	19.63	16.91	27.38	72.62	2	4	1	29	4.988	14.2	0.034	0.112	
	40	0.25	26.89	23.17	50.55	49.45	5	3	1	29	3.988	14.7	0.022	0.090	
	60	0.18	28.28	24.36	74.91	25.09	8	2	1	29	2.988	15.2	0.018	0.067	
	100	0.15	24.00	20.68	95.59	4.41	15	1	1	29	1.988	15.5	0.013	0.045	
	200	0.08	0.67	0.58	96.17	3.83	30	0	1	29	0.988	15.5	0.009	0.022	
	PAN (%)			4.45	3.83	100.00	0.00	60	0	1	29	0.988	15.8	0.007	0.022
	Jumlah			116.07	100.00			240	0	1	29	0.988	15.8	0.003	0.022
							1440	0	1	29	0.988	16	0.001	0.022	
2	4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	0								
	10	1.000	0.96	2.60	2.60	97.40	1	15	1	29	15.99	11.9	0.044	0.294	
	20	0.5	4.96	13.43	16.03	83.97	2	4	1	29	4.988	13.5	0.033	0.092	
	40	0.25	8.40	22.75	38.78	61.22	5	3	1	29	3.988	14.3	0.022	0.073	
	60	0.18	10.06	27.24	66.02	33.98	8	2	1	29	2.988	14.7	0.017	0.055	
	100	0.15	11.99	32.47	98.48	1.52	15	2	1	29	2.988	14.8	0.013	0.055	
	200	0.08	0.51	1.38	99.86	0.14	30	1	1	29	1.988	15.3	0.009	0.037	
	PAN (%)			0.05	0.14	100.00	0.00	60	1	1	29	1.988	15.5	0.007	0.037
	Jumlah			36.93	100.00			240	0	1	29	0.988	15.6	0.003	0.018
							1440	0	1	29	0.988	16	0.001	0.018	
3	4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	0								
	10	1	17.33	13.88	13.88	86.12	1	17	1	29	18	12.6	0.045	0.401	
	20	0.5	29.02	23.24	37.12	62.88	2	6	1	29	6.998	13.4	0.033	0.156	
	40	0.25	37.07	29.68	66.80	33.20	5	5	1	29	5.998	13.9	0.021	0.134	
	60	0.18	25.90	20.74	87.54	12.46	8	4	1	29	4.998	15	0.017	0.111	
	100	0.15	15.32	12.27	99.81	0.19	15	4	1	29	4.998	15.5	0.013	0.111	
	200	0.08	0.20	0.16	99.97	0.03	30	4	1	29	4.998	15.8	0.009	0.111	
	PAN (%)			0.04	0.03	100.00	0.00	60	3	1	29	3.998	16	0.006	0.089
	Jumlah			124.88	100.00			240	1	1	29	1.998	16	0.003	0.044
							1440	0	1	29	0.998	16.2	0.001	0.022	
4	4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	0								
	10	1	6.42	6.69	6.69	93.31	1	17	1	29	18	10.6	0.041	0.329	
	20	0.5	11.71	12.20	18.88	81.12	2	8	1	29	8.996	11.7	0.031	0.164	
	40	0.25	17.14	17.85	36.74	63.26	5	2	1	29	2.996	12.5	0.020	0.055	
	60	0.18	19.53	20.34	57.08	42.92	8	2	1	29	2.996	13	0.016	0.055	
	100	0.15	18.70	19.48	76.55	23.45	15	2	1	29	2.996	13.2	0.012	0.055	
	200	0.08	22.18	23.10	99.66	0.34	30	1	1	29	1.996	13.7	0.009	0.036	
	PAN (%)			0.33	0.34	100.00	0.00	60	0	1	29	0.996	13.8	0.006	0.018
	Jumlah			96.01	100.00			240	0	1	29	0.996	14.5	0.003	0.018
							1440	0	1	29	0.996	15	0.001	0.018	
5	4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	0								
	10	1	7.53	27.73	27.73	72.27	1	23	1	29	24	13	0.045	0.436	
	20	0.5	5.67	20.88	48.62	51.38	2	10	1	29	11	13.7	0.033	0.200	
	40	0.25	4.46	16.43	65.05	34.95	5	7	1	29	8	14.5	0.021	0.145	
	60	0.18	4.41	16.24	81.29	18.71	8	6	1	29	7	14.7	0.017	0.127	
	100	0.15	4.81	17.72	99.01	0.99	15	5	1	29	6	15.2	0.013	0.109	
	200	0.08	0.23	0.85	99.85	0.15	30	4	1	29	5	15.5	0.009	0.091	
	PAN (%)			0.04	0.15	100.00	0.00	60	2	1	29	3	15.6	0.006	0.055
	Jumlah			27.15	100.00			240	1	1	29	2	16	0.003	0.036
							1440	0	1	29	1	16.1	0.001	0.018	

4.1.3 Pengujian Triaksial (*Unconsolidated Undrained*)

4.1.3.1 Sampel Tanah 1

DETERMINATION OF THE UNDRAINED SHEAR STRENGTH IN TRIAXIAL COMPRESSION
 Set of specimens - tested in accordance with BS 1377:1990:Part 7:Clause 8
TEST REPORT - SHEARING

Project location	<i>Palu</i>	Sample depth (m)	<i>5.00</i>
Project reference	<i>12345</i>	Sample type	<i>Remoulded</i>
Borehole number	<i>BH1</i>	Specimen orientation	<i>Vertical</i>
Sample number	<i>BH1.5</i>		



Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

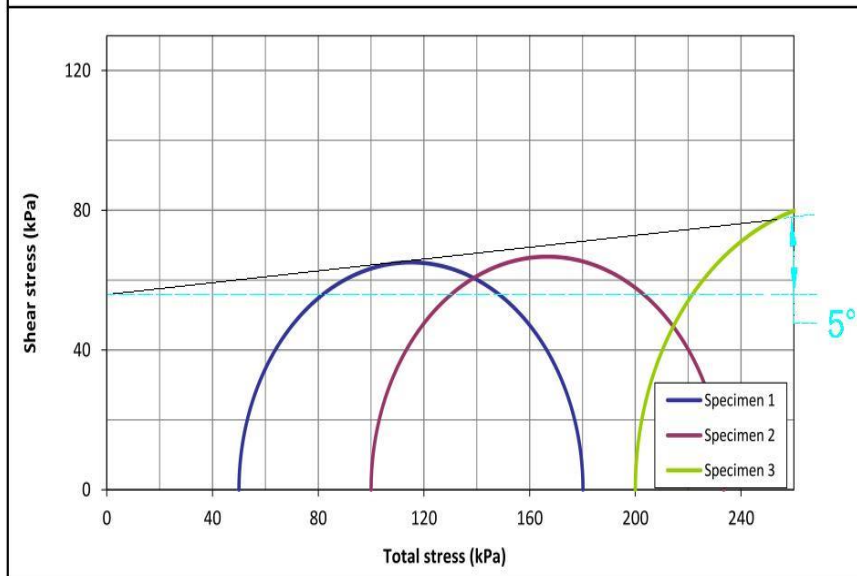
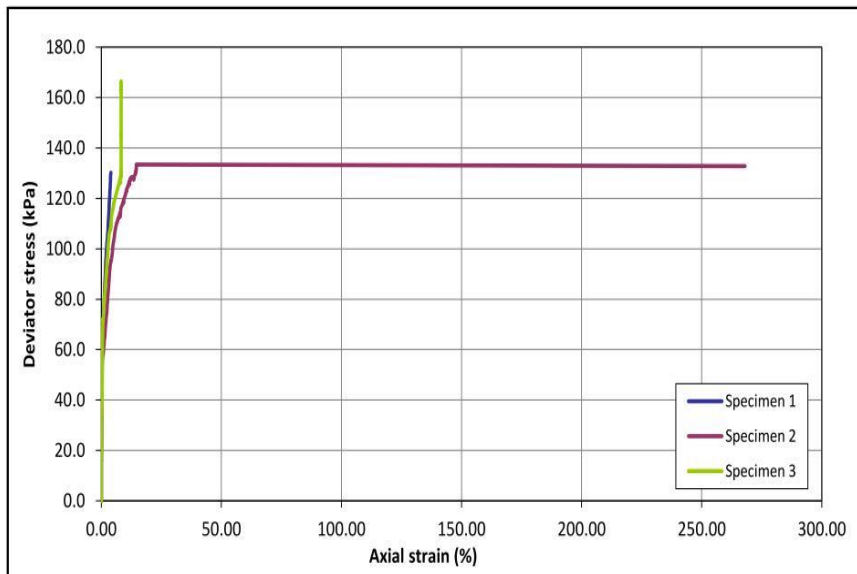
Nilai Kohesi (c) = 45,184 kg/cm²

Sudut Geser (ϕ) = 19°

4.1.3.2 Sampel Tanah 2

DETERMINATION OF THE UNDRAINED SHEAR STRENGTH IN TRIAXIAL COMPRESSION
Set of specimens - tested in accordance with BS 1377:1990:Part 7:Clause 8
TEST REPORT - SHEARING

Project location	<i>Palu</i>	Sample depth (m)	<i>5.00</i>
Project reference	<i>12345</i>	Sample type	<i>Undisturbed</i>
Borehole number	<i>BH2</i>	Specimen orientation	<i>Vertical</i>
Sample number	<i>BH2.5</i>		



Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

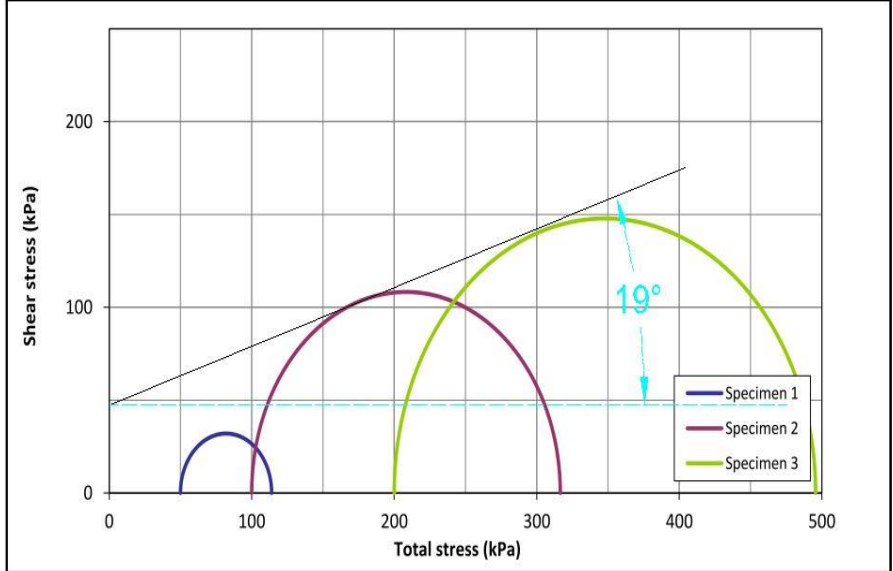
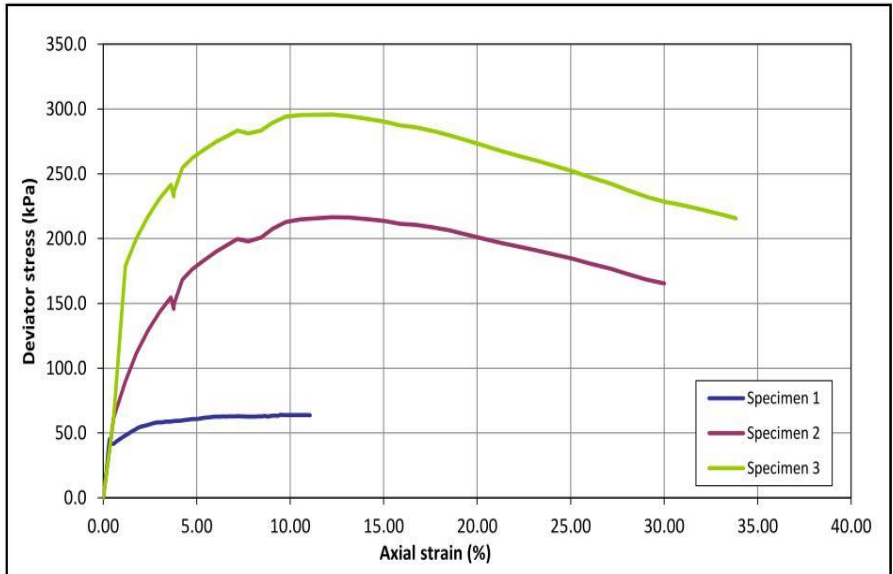
Nilai Kohesi (c) = 55.87 kg/cm²

Sudut Geser (φ) = 5°

4.1.3.3 Sampel Tanah 3

DETERMINATION OF THE UNDRAINED SHEAR STRENGTH IN TRIAXIAL COMPRESSION
Set of specimens - tested in accordance with BS 1377:1990:Part 7:Clause 8
TEST REPORT - SHEARING

Project location	Palu		
Project reference	12345	Sample depth (m)	5.00
Borehole number	BH1	Sample type	Remoulded
Sample number	BH1.5	Specimen orientation	Vertical



Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

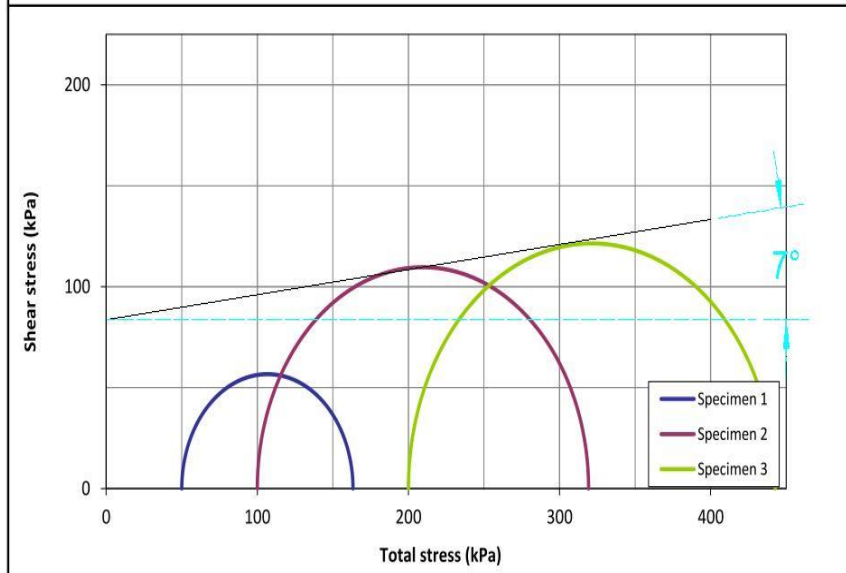
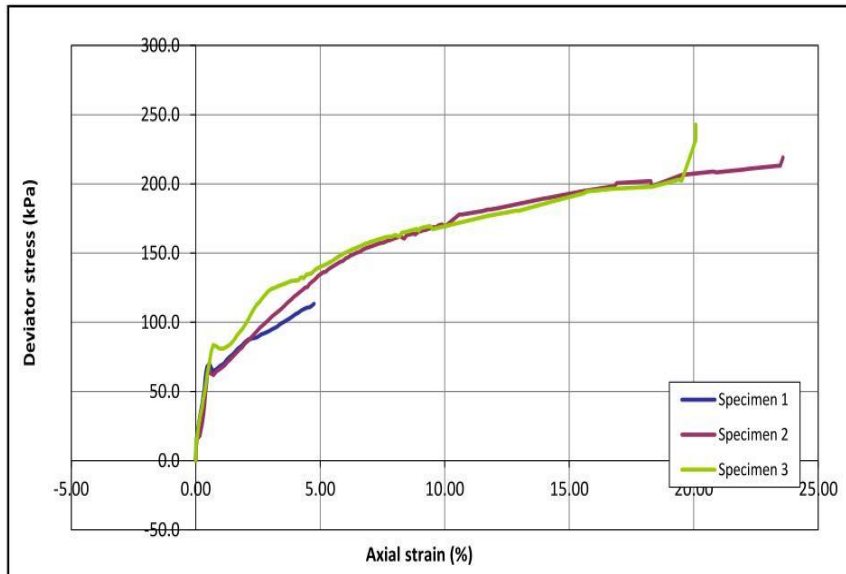
Nilai Kohesi (c) = 47,577 kg/cm²

Sudut Geser (φ) = 19°

4.1.3.4 Sampel Tanah 4

DETERMINATION OF THE UNDRAINED SHEAR STRENGTH IN TRIAXIAL COMPRESSION
Set of specimens - tested in accordance with BS 1377:1990:Part 7:Clause 8
TEST REPORT - SHEARING

Project location	<i>Palu</i>	Sample depth (m)	<i>5.00</i>
Project reference	<i>12345</i>	Sample type	<i>Undisturbed</i>
Borehole number	<i>BH4</i>	Specimen orientation	<i>Vertical</i>
Sample number	<i>BH4.5</i>		



Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

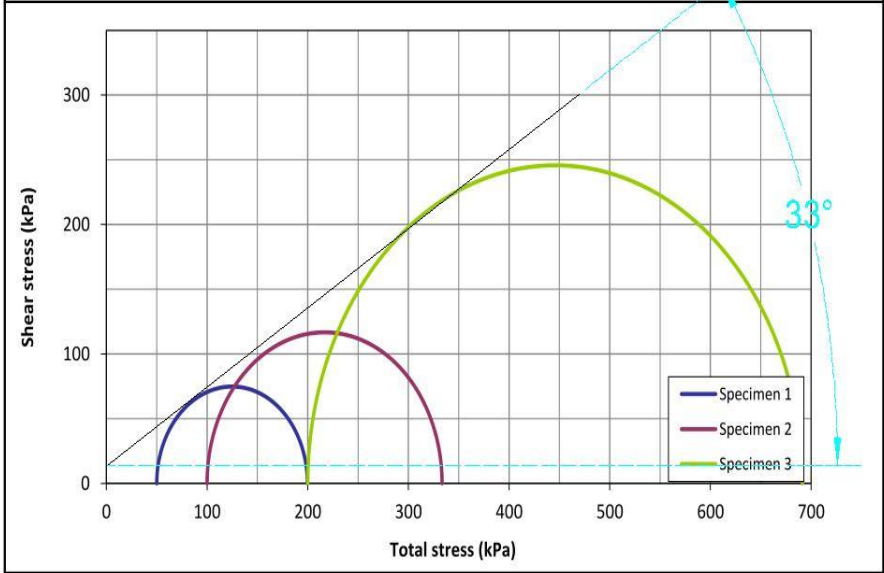
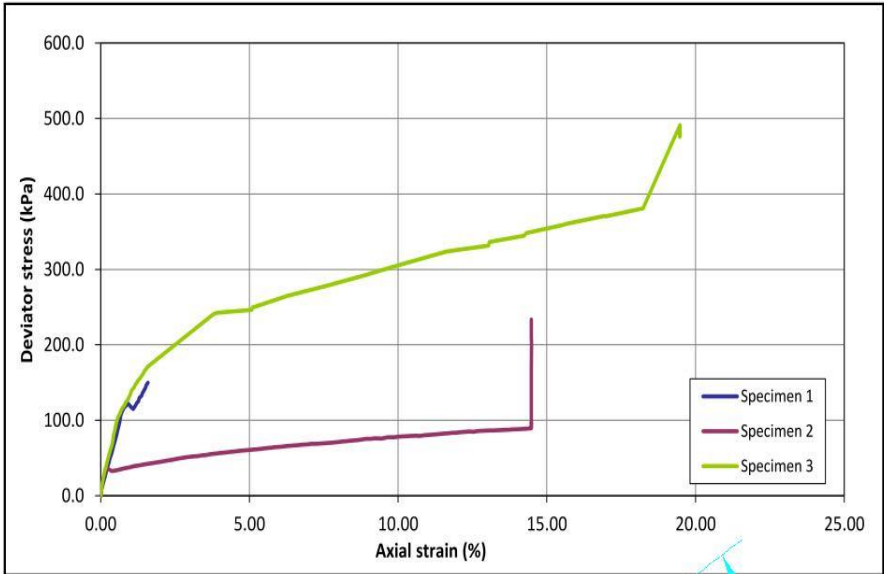
Nilai Kohesi (c) = 83,805 kg/cm²

Sudut Geser (φ) = 7°

4.1.3.5 Sampel Tanah 5

DETERMINATION OF THE UNDRAINED SHEAR STRENGTH IN TRIAXIAL COMPRESSION
 Set of specimens - tested in accordance with BS 1377:1990:Part 7:Clause 8
TEST REPORT - SHEARING

Project location	Palu		
Project reference	12345	Sample depth (m)	5.00
Borehole number	BH5	Sample type	Undisturbed
Sample number	BH5.5	Specimen orientation	Vertical



Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

Nilai Kohesi (c) = 14,15 kg/cm²

Sudut Geser (φ) = 33°

Lampiran D. Hasil analisis numeris timbunan dengan software Plaxis

4.1.4 Hasil Analisis Numeris timbunan dengan *software* Plaxis

1. Informasi umum

Tabel [1] Satuan

Jenis	Satuan
Panjang	m
Gaya	kN
Waktu	hari

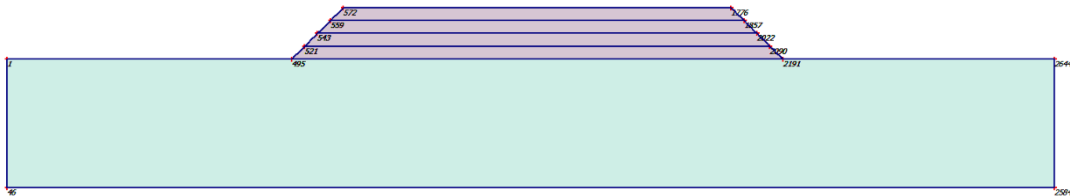
Tabel [2] Dimensi model

	min.	maks.
X	0.000	40.500
Y	0.000	7.000

Tabel [3] Model

Model	Regangan bidang
Elemen:	15-Titik nodal

2. Geometri



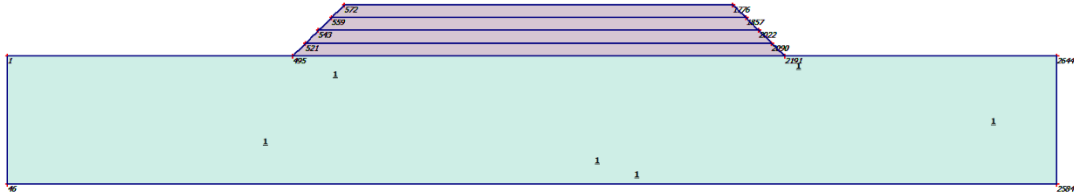
Gbr. 1 Tampilan model geometri dengan titik nodal signifikan

Tabel [4] Tabel titik nodal signifikan

Titik nodal no.	koord.-x	koord.-y	Titik nodal no.	koord.-x	koord.-y
46	0.000	0.000	559	12.500	6.500
2584	40.500	0.000	543	12.000	6.000
2644	40.500	5.000	2022	29.000	6.000
1	0.000	5.000	521	11.500	5.500
572	13.000	7.000	2090	29.500	5.500
1776	28.000	7.000	495	11.000	5.000

Titik nodal no.	koord.-x	koord.-y	Titik nodal no.	koord.-x	koord.-y
1857	28.500	6.500	2191	30.000	5.000

2.1. Klaster

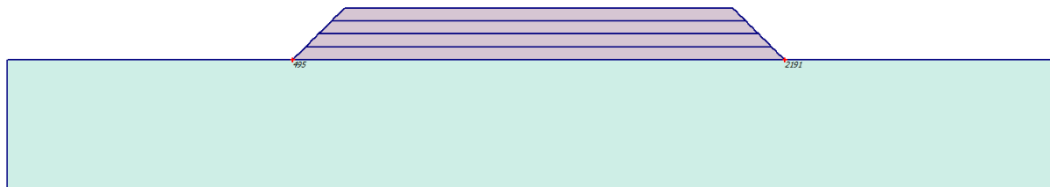


Gbr. 2 Tampilan model geometri dengan nomor klaster

Tabel [5] Tabel klaster

Klaster no.	Titik nodal
1	46, 2584, 2644, 1, 495, 2191.
2	521, 2090, 495, 2191.
3	543, 2022, 521, 2090.
4	1857, 559, 543, 2022.
5	572, 1776, 1857, 559.

3. Struktur

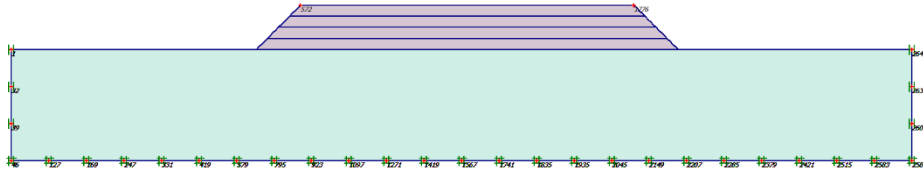


Gbr. 3 Tampilan model geometri dengan struktur

Tabel [6] Geotekstil

Geotekstil no.	Kumpulan data	Panjang [m]	Titik nodal
1	Tencate Mirafi	19.000	2191, 495.

4. Beban & kondisi batas



Gbr. 4 Tampilan model geometri dengan beban & kondisi batas

Tabel [7] Kondisi jepit titik nodal

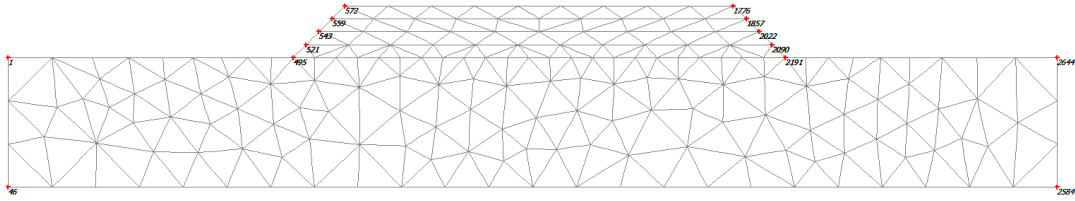
Titik nodal no.	Tanda	Horisontal	Vertikal	Titik nodal no.	Tanda	Horisontal	Vertikal
46	#	Jepit	Jepit	1935	#	Jepit	Jepit
2584	#	Jepit	Jepit	2045	#	Jepit	Jepit
127	#	Jepit	Jepit	2149	#	Jepit	Jepit
169	#	Jepit	Jepit	2207	#	Jepit	Jepit
247	#	Jepit	Jepit	2285	#	Jepit	Jepit
331	#	Jepit	Jepit	2379	#	Jepit	Jepit
419	#	Jepit	Jepit	2421	#	Jepit	Jepit
579	#	Jepit	Jepit	2515	#	Jepit	Jepit
795	#	Jepit	Jepit	2583	#	Jepit	Jepit
923	#	Jepit	Jepit	2644		Jepit	Bebas
1097	#	Jepit	Jepit	1		Jepit	Bebas
1271	#	Jepit	Jepit	2605		Jepit	Bebas
1419	#	Jepit	Jepit	2635		Jepit	Bebas
1567	#	Jepit	Jepit	32		Jepit	Bebas
1741	#	Jepit	Jepit	39		Jepit	Bebas
1835	#	Jepit	Jepit				

4.2. Sistem beban A

Tabel [8] Beban merata A

No. beban	Titik nodal pertama	qx [kN/m/m]	qy [kN/m/m]	Titik nodal terakhir	qx [kN/m/m]	qy [kN/m/m]
1	572			1776		

5. Data jaring elemen

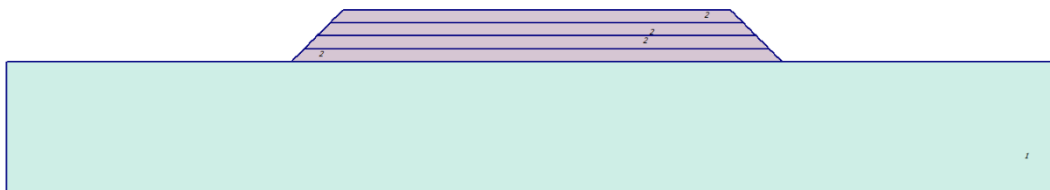


Gbr. 5 Tampilan jaring elemen dengan titik nodal signifikan

Tabel [9] Nomor, jenis elemen, integrasi

Jenis	Jenis elemen	Jenis integrasi	Jumlah total
Tanah	15-Titik nodal	Gauss 12-titik	315
Geogrid	garis 5-titik nodal	Newton-Cotes 4-titik	23

6. Data material



Gbr. 6 Tampilan geometri dengan kumpulan data material

Tabel [10] Parameter kumpulan data tanah

Mohr-Coulomb		1	2
		Tanah Dasar	Tanah Timbunan
Jenis		Terdrainase	Terdrainase
γ_{unsat}	[kN/m ³]	17.50	15.80
γ_{sat}	[kN/m ³]	20.90	19.80
k_x	[m/hari]	0.864	0.864
k_y	[m/hari]	0.864	0.864
c_{awal}	[-]	0.520	0.650
c_k	[-]	1E15	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	13000.000	8000.000
ν	[-]	0.300	0.300
G_{ref}	[kN/m ²]	5000.000	3076.923
E_{oed}	[kN/m ²]	17500.000	10769.231
c_{ref}	[kN/m ²]	55.87	83.81
ϕ	[°]	5.00	7.00
ψ	[°]	0.00	0.00
E_{incr}	[kN/m ² /m]	0.00	0.00
y_{ref}	[m]	0.000	0.000
$c_{\text{peningkatan}}$	[kN/m ² /m]	0.00	0.00
$T_{\text{str.}}$	[kN/m ²]	0.00	0.00
R_{inter}	[-]	1.00	0.65
Permeabilitas antarmuka		Netral	Netral

Tabel [11] Parameter kumpulan data geotekstil

no	Identifikasi	EA	ν
.		[kN/m]	[-]
1	Tencate Mirafi	100.00	0.00

Tahapan perhitungan

Tabel [12] Daftar tahap

Tahap	Thp-No.	Tahap mulai	Jenis perhitungan	Masukan beban	Langkah pertama	Langkah terakhir
Tahap awal	0	0		-	0	0
1. Embankment 0.5 m 5 day	1	0	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	1	13
2. Consolidation 200 day	2	1	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	14	35
3. Embankment 1 m 5 day	3	2	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	36	48
4. Consolidation 1 m 200 day	4	3	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	49	70
5. Embankment 1.5 m 5 day	5	4	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	71	83
6. Consolidation 1.5 m 200 day	6	5	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	84	105
7. Embankment 2 m 5 day	7	6	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	106	118
8. Consolidation 2 m 200 day	8	7	Analisa konsolidasi	Tekanan air pori minimum	119	119
9. Phi - c 0.5 m	14	1	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	120	219
10. Phi - C 1 m	10	3	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	220	319
11. Phi - C 1.5 m	11	5	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	320	419
12. Phi - C 2 m	12	7	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	420	519
13. Phi - C consolidation	13	8	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	520	619

Tabel [13] Informasi tahapan konstruksi

Thp-No.	Klaster aktif	Klaster tak aktif	Balok aktif	Geotekstil aktif	Jangkar aktif
0	1.	2, 3, 4, 5.			

Tabel [14] Parameter pengatur 1

Thp-No.	Langkah tambahan	Atur perpindahan menjadi nol	Abaikan perilaku tak terdrainase	Hapus langkah sebelumnya
1	250	Tidak	Tidak	Tidak
2	250	Tidak	Tidak	Tidak
3	250	Tidak	Tidak	Tidak
4	250	Tidak	Tidak	Tidak
5	250	Tidak	Tidak	Tidak
6	250	Tidak	Tidak	Tidak
7	250	Tidak	Tidak	Tidak
8	250	Tidak	Tidak	Tidak
14	100	Ya	Tidak	Tidak
10	100	Ya	Tidak	Tidak
11	100	Ya	Tidak	Tidak
12	100	Ya	Tidak	Tidak
13	100	Ya	Ya	Tidak

Tabel [15] Parameter pengatur 2

Thp-No.	Prosedur iterasi	Toleransi kesalahan	Relaksasi-berlebih	Iterasi maks.	Min. yang dikehendaki	Maks. yang dikehendaki	Kontrol panjang busur
1	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
2	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
3	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
4	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
5	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
6	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
7	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
8	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
14	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya

Thp-No.	Prosedur iterasi	Toleransi kesalahan	Relaksasi-berlebih	Iterasi maks.	Min. yang dikehendaki	Maks. yang dikehendaki	Kontrol panjang busur
10	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
11	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
12	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya
13	Standar	0.010	1.200	60	6	15	Ya

Tabel [16] Peningkatan faktor pengali (nilai masukan)

Thp-No.	Perpind.	Beban A	Beban B	Berat	Percepatan	Waktu	s-f
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	200.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	200.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	200.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	200.0000	0.0000
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000

Faktor pengali total

Tabel [17] Faktor pengali total - nilai masukan

Thp-No.	Perpind.	Beban A	Beban B	Berat	Percepatan	Waktu	s-f
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	5.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	205.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	210.0000	1.0000
4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	410.0000	1.0000
5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	415.0000	1.0000
6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	615.0000	1.0000

Thp-No.	Perpind.	Beban A	Beban B	Berat	Percepatan	Waktu	s-f
7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	1.0000
8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	1.0000
14	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	5.0000	43.7220
10	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	210.0000	19.6930
11	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	415.0000	13.3500
12	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	10.1700
13	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	10.1700

Tabel [18] Faktor pengali total - nilai yang dicapai

Thp-No.	Perpind.	Beban A	Beban B	Berat	Percepatan	Waktu	s-f
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	5.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	205.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	210.0000	1.0000
4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	410.0000	1.0000
5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	415.0000	1.0000
6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	615.0000	1.0000
7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	1.0000
8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	1.0000
14	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	5.0000	43.7220
10	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	210.0000	19.6930
11	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	415.0000	13.3500
12	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	10.1700
13	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	620.0000	10.1700