

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tanah

Tanah merupakan salah satu penunjang yang membantu kehidupan semua makhluk hidup yang ada di bumi. Tanah juga adalah salah satu bagian penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur yang dimana menjadi pijakan dan dasar yang menerima semua beban yang ditimbulkan. Tetapi tidak semua jenis tanah mampu menopang beban yang diterima sehingga tingkat kestabilan dan daya dukung tanah perlu diperhatikan.

Tanah didefinisikan oleh (Das, 1995) sebagai material yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah terbentuk dari bahan induk yang telah mengalami modifikasi/pelapukan akibat dinamika faktor iklim, organisme (termasuk manusia), dan relief permukaan bumi (topografi) seiring dengan berjalannya waktu (Hans Jenny, 1980). Tekstur tanah ditentukan oleh komposisi tiga partikel pembentuk tanah, pasir, lanau (debu), dan lempung. Tanah pasir didominasi oleh pasir, tanah lempungan didominasi oleh lempung. Tanah dengan komposisi pasir, lanau, dan lempung yang seimbang dikenal sebagai geluh (*loam*). Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif (Bowles, 1984).

2.2 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng merupakan bentuk permukaan bumi yang terbentuk karena proses alami maupun karena buatan manusia dengan tujuan tertentu. Contoh lereng yang terbentuk secara alami adalah lereng sungai, lereng bukit dan tanggul

sungai. Sedangkan lereng yang terbentuk karena aktivitas manusia adalah bendungan dan dinding pertambangan (DAS, 1991). Menurut SNI 8460-2017, lereng terbagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah lereng alam dan lereng buatan (lereng galian dan lereng timbunan).

2.2.1 Lereng Alam

Lereng alam terbentuk akibat kegiatan alam (erosi, gerakan tektonik, dan sebagainya). Material yang membentuk lereng memiliki kecenderungan tergelincir akibat beratnya sendiri dan gaya-gaya luar yang ditahan oleh kuat geser tanah dari material tersebut. Gangguan terhadap kestabilan terjadi bilamana tahanan geser tanah tidak dapat mengimbangi gaya-gaya yang menyebabkan gelincir pada bidang longsor. Lereng alam yang telah stabil selama bertahun-tahun dapat saja mengalami longsor akibat hal-hal berikut:

- a. Kenaikan tekanan air pori (akibat naiknya muka air tanah) karena hujan yang berkepanjangan, pembangunan dan pengisian waduk, gangguan pada sistem drainase, dan lain-lain.
- b. Penurunan kuat geser tanah secara progresif akibat deformasi sepanjang bidang yang berpotensi longsor.
- c. Proses pelapukan; akibat pelapukan batuan dapat mengalami mengalami degradasi.
- d. Gempa; efek gempa menyebabkan inersia dalam arah getaran gempa menyebabkan lereng tidak stabil.
- e. Gangguan luar akibat pemotongan atau timbunan baru.

Aspek penting dari stabilitas lereng alam, yaitu:

- a. Kondisi geologi.
- b. Kondisi topografi.
- c. Kemiringan lereng.
- d. Jenis lapisan tanah.
- e. Kuat geser.

- f. Aliran air bawah permukaan.
- g. Kecepatan pelapukan.
- h. Gangguan lalu lintas.

Faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng alam, yaitu:

- a. Perubahan profil kemiringan lereng akibat beban tambahan di bagian atas lereng atau berkurangnya kekuatan di bagian dasar lereng.
- b. Peningkatan tekanan air tanah yang mengakibatkan penurunan tahanan geser pada tanah nonkohesif atau terjadinya pengembangan pada tanah kohesif. Tekanan air tanah dapat meningkat ketika tanah mengalami penjujukan akibat air hujan, rembesan, atau munculnya air permukaan.
- c. Penurunan kuat geser tanah atau batuan yang disebabkan oleh pelapukan, pencucian, perubahan mineralogi, dan adanya rekahan.
- d. Getaran yang disebabkan oleh gempa bumi, peledakan, atau pemancangan tiang.

2.2.2 Lereng Buatan Manusia

a. Lereng Galian

Lereng galian terbentuk akibat kegiatan penggalian atau pemotongan pada tanah asli. Perancangan pemotongan lereng galian yang dimaksud adalah usaha untuk membuat suatu lereng dengan kemiringan tertentu yang cukup aman dan ekonomis. Stabilitas pemotongan ditentukan oleh kondisi geologi, sifat teknis tanah, tekanan air akibat rembesan, dan cara pemotongan.

Aspek penting dari stabilitas lereng galian, yaitu:

1. Kuat geser pada bagian galian.
2. Berat isi tanah.
3. Tinggi lereng.
4. Kemiringan lereng.
5. Tekanan air pori.

b. Lereng Timbunan (*Embankment*)

Lereng timbunan umumnya digunakan untuk badan jalan raya, jalan kereta api, dan bendungan tanah. Sifat teknis lereng timbunan dipengaruhi oleh jenis tanah, cara penimbunan dan derajat kepadatan tanah. Analisis secara terpisah harus dilakukan pada lereng timbunan, yaitu pada kondisi jangka pendek (saat penimbunan selesai), kondisi jangka panjang, kondisi penurunan muka air seketika (*sudden draw-down*), dan gangguan gempa.

Faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng timbunan, yaitu:

1. Terjadinya *overstressing* pada fondasi timbunan tanah kohesif setelah masa konstruksi. Biasanya pada lereng timbunan, stabilitas jangka pendek pada tanah kohesif lunak lebih penting daripada stabilitas jangka panjang, karena fondasi timbunan mendapatkan kekuatan yang merupakan hasil disipasi air pori. Perlu pemeriksaan stabilitas pada beberapa kondisi tekanan air pori.
2. Penurunan muka air cepat dan erosi buluh. Pada timbunan bendungan, penurunan muka air cepat menyebabkan meningkatnya beban efektif timbunan tanah yang dapat menyebabkan ketidakstabilan. Penyebab lain dari ketidakstabilan lereng timbunan adalah erosi bawah permukaan atau erosi buluh.
3. Gaya-gaya dinamis. Getaran dapat dipicu oleh gempa bumi, peledakan, pemancangan tiang, dan lainnya.

2.3 Klasifikasi Pergerakan Lereng

Tanah longsor adalah gerakan massa batuan, serta puing-puing atau tanah yang menuruni sebuah lereng. Longsor juga dapat terjadi pada lereng alam atau pun buatan. Hal ini diakibatkan karena adanya kuat geser tanah (c) dan sudut geser tanah (ϕ).

Tanah yang mengalami longsor terdapat tiga penyebab utama yaitu tanah yang jenuh air, aktivitas seismik, dan aktivitas vulkanik. Faktor kerentanan tanah longsor adalah lokasi, aktivitas manusia, penggunaan lahan, dan frekuensi terjadinya longsor. Tipe klasifikasi pergerakan longsor menurut Varnes (1978) sebagai berikut:

1. Tipe Gelincir (*slide*)

Tipe gelincir ini terdiri dari tiga jenis utama yaitu tipe gelincir rotasional, tipe gelincir translasional dan tipe gelincir blok.

a. Tipe gelincir rotasional (*rotational slide*)

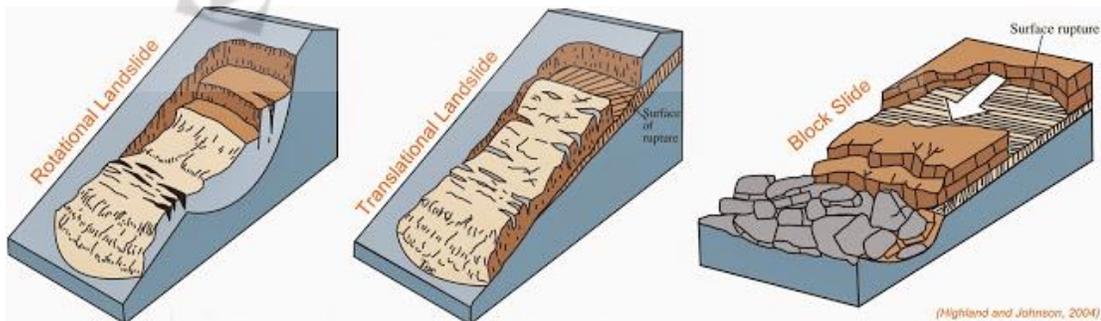
Tipe gelincir rotasional ini merupakan pergerakan massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung ke atas, dan pergerakan longsornya secara umum berputas pada satu sumbu yang sejajar dengan permukaan tanah.

b. Tipe gelincir translasional (*translational slide*)

Tipe gelincir translasional ini merupakan bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata dengan sedikit rotasi atau miring ke belakang.

c. Tipe gelincir blok (*block slide*)

Tipe gelincir blok ini merupakan pergerakan batuan yang hampir sama dengan *translational slide*, tetapi massa yang bergerak terdiri dari blok-blok yang koheran.

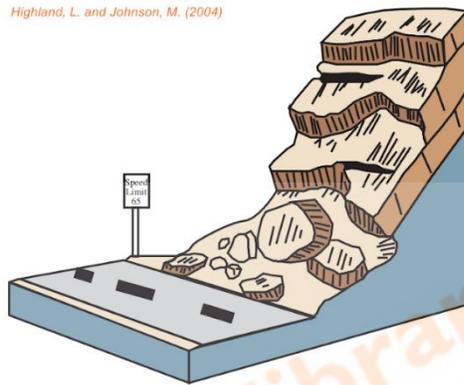


Gambar 2.1 Tipe longsoran

(sumber: Highland dan Jahnson, 2004)

2. Tipe Runtuhan (*fall*)

Tipe runtuh adalah gerakan massa jatuh melalui udara. Umumnya massa yang jatuh ini terlepas dari lereng yang curam dan tidak ditahan oleh suatu geseran dengan material yang berbatasan. Pada jenis runtuh batuan umumnya terjadi dengan cepat dan ada kemungkinan tidak didahului dengan gerakan awal.

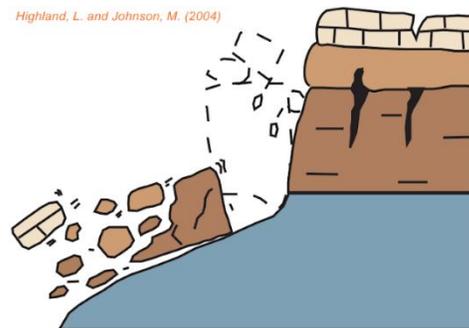


Gambar 2.2 Longsoran tipe jatuhan

(Sumber: Highland dan Johnson, 2004)

3. Tipe Pengelupasan (*Topples*)

Tipe pengelupasan adalah gerakan ini berupa rotasi keluar dari suatu unit massa yang berputar terhadap suatu titik akibat gaya gravitasi atau gaya-gaya lain seperti adanya air dalam rekahan.



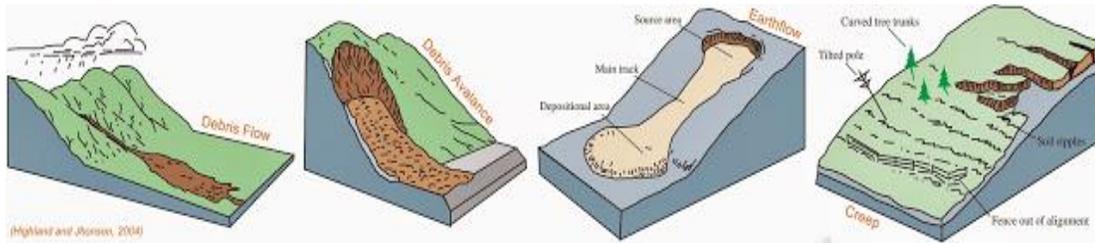
Gambar 2.3 Longsoran tipe robohan

(Sumber: Highland dan Johnson, 2004).

2.4 Kategori Aliran Tanah Longsor

Aliran tanah yang dikemukakan oleh P. Paulus (2002) bahwa longsor terdapat beberapa kategori, yaitu:

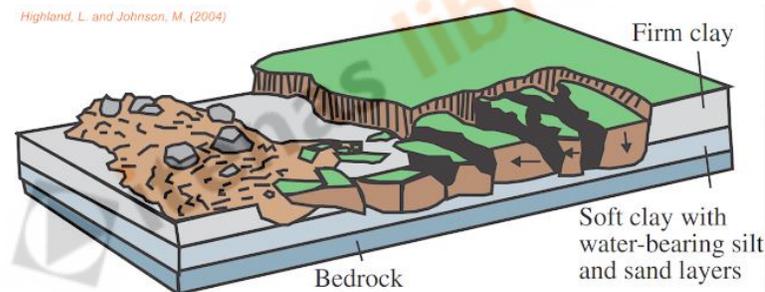
1. *Debris flow* adalah bentuk gerakan massa yang tepat di mana campuran tanah gembur, batu, bahan organik, udara, dan air bergerak seperti bubur yang mengalir pada suatu lereng. *Debris flow* biasanya disebabkan oleh aliran permukaan air yang intens, karena hujan lebat atau pencairan salju yang cepat, yang mengikis dan memobilisasi tanah gembur atau batuan pada lereng yang curam.
2. *Debris avalanche* adalah longsoran es pada lereng terjal. Jenis ini merupakan jenis aliran debris yang pergerakannya terjadi sangat cepat.
3. *Earthflow* terbentuk seperti jam pasir. Pergerakan memanjang dari material halus atau batuan yang mengandung mineral lempung di lereng moderat dan dalam kondisi jenuh air, membentuk mangkuk atau suatu depresi di bagian atasnya.
4. *Mudflow* adalah sebuah luapan lumpur (hampir sama seperti *earthflow*) terdiri dari bahan setidaknya 50% pasir, lanau, dan partikel berukuran tanah liat
5. *Creep* adalah perpindahan tanah atau batuan pada suatu lereng. Secara lambat dan stabil. Gerakan ini disebabkan oleh *shear stress*, pada umumnya terdiri dari tiga jenis:
 - a. *Seasonal*, di mana gerakan berada dalam kedalaman tanah, dipengaruhi oleh perubahan kelembaban dan suhu tanah yang terjadi secara musiman.
 - b. *Continuous*, di mana *shear stress* terjadi secara terus menerus melebihi ketahanan material longsoran.
 - c. *Progressive*, di mana lereng mencapai titik *failure* untuk menghasilkan suatu gerakan massa. *Creep* ditandai dengan adanya batang pohon yang mendukung, pagar atau dinding penahan yang bengkok, dan adanya riak tanah kecil atau pegunungan.



Gambar 2.4 Aliran longsor

(Sumber: Highland and Johnson, 2004)

6. *Lateral spreads* umumnya terjadi pada lereng yang landai atau medan datar. Gerakan utamanya adalah ekstensi lateral yang disertai dengan kekar geser atau kekar tarik. Hal ini disebabkan oleh likuifaksi, suatu proses di mana tanah terjadi jenuh terhadap air, *loose*, kohesi sedimen (biasanya pasir dan lanau) perubahan dari padat ke keadaan cair.



Gambar 2.5 *Lateral spreads*

(Sumber: Highland and Johnson, 2004)

Kegagalan pada suatu konstruksi lereng dapat diakibatkan oleh peningkatan tekanan air pori, tingginya sudut kemiringan lereng dan adanya lapisan tanah lunak di bawah timbunan. Untuk mencegah agar tidak terjadinya kegagalan pada suatu konstruksi maka salah satu caranya dengan meningkatkan menstabilkan lereng, salah satu caranya memberi perkuatan pada lereng tersebut. Perkuatan lereng merupakan upaya yang dilakukan untuk memperkuat agar lereng tidak terjadi longsor dan menahan gaya tarik, beban lateral, beban tekan dan penurunan yang terjadi. Perkuatan lereng dipilih berdasarkan jenis material yang dihadapi, jenis keruntuhan yang terjadi serta

faktor yang dapat menyebabkan lereng tersebut mengalami kegagalan. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperkuat struktur lereng, diantaranya adalah:

1. Pemakuan Tanah (*soil nailing*)

Soil nailing adalah metode yang mengkombinasikan perkuatan pasif dari batangan baja dan adukan beton (*schorete*). Pemakuan tanah atau biasa disebut *soil nailing* ini dapat memikul gaya normal, gaya lintang dan gaya momen, serta sangat cocok digunakan pada lereng alam.

2. *Reticulated Micropiles*

Metode *micropiles* atau biasa dikenal dengan *root piles* merupakan suatu teknik dimana tanah diperkuat dengan batang baja yang dimasukkan ke dalam tanah dengan pola menyebar seperti akar.

3. Angkur Tanah (*Soil Anchor*)

Menurut FHWA (1999) ankur tanah merupakan sebuah elemen struktural yang dipasangkan di tanah atau batuan yang digunakan untuk menyalurkan beban ke tanah atau batuan tersebut. *Grauted ground anchor* dirujuk hanya sebagai ankur tanah yang dipasang di dalam lubang bor yang diisi coran beton/*grout*, dan struktur ini juga bisa disebut sebagai *tiebacks*.

4. Geosintetik

Geosintetik merupakan material buatan manusia, terutama polimer (sejenis plastik) yang digunakan dalam pekerjaan-pekerjaan ketekniksipilan yang berhubungan dengan tanah dan batuan yang dapat meningkatkan kestabilan lereng.

Salah satu metode perkuatan lereng yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu menggunakan metode geosintetik yang dapat dijelaskan lebih rinci.

2.5 Geosintetik

Geosynthetics (geosintetik) berasal dari kata *geo* (bumi), dan *synthetics* (buatan), sehingga geosintetik merupakan material buatan manusia yang digunakan untuk pekerjaan yang berhubungan dengan bumi atau tanah. Geosintetik juga salah satu bahan yang dapat meloloskan air dari anyaman (*woven*) atau tanpa anyaman (*non-woven*) dari benang-benang atau serat-serat sintetik yang digunakan dalam pekerjaan tanah (DPU,2009).



Woven

Non-Woven

Gambar 2.6 Jenis geosintetik

(Sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

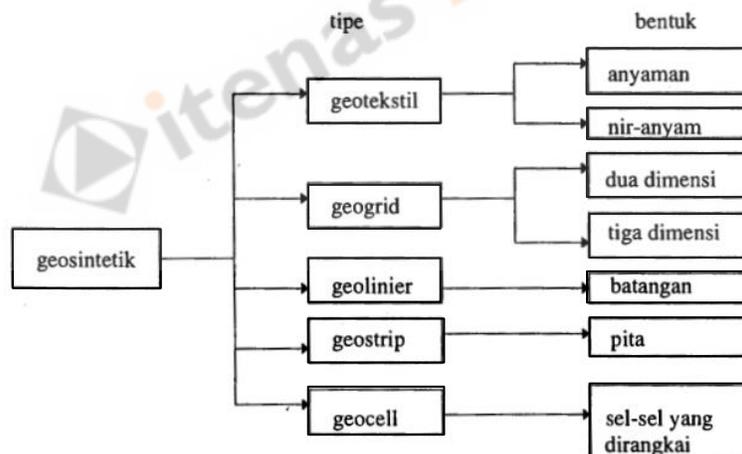
Keunggulan menggunakan geosintetik yaitu bahan geosintetik tidak terdegradasi atau rusak, relatif lebih ekonomis, dan telah diakui secara internasional melalui ASTM dan ISO. Geosintetik berdasarkan sifat bahannya dibedakan menjadi dua yaitu geosintetik yang dapat meloloskan air (*permeable*) yang dikenal sebagai geosintetik dan geosintetik yang kedap air (*impermeable*) yang dikenal sebagai geomembran. Berdasarkan aplikasinya pada pekerjaan teknik sipil fungsi dan peran

geosintetik adalah sebagai perkuatan tanah, separator untuk mencegah bercampurnya agregat pilihan dengan lapisan asli tanah lunak, drainase untuk mengalirkan air baik secara horizontal maupun secara vertikal, filtrasi sebagai pelindung dimana air bisa melewati bahan ini tetapi bahan tersebut dapat menahan butiran-butiran tanah, dan menahan cairan sebagai penahan air.

2.5.1 Klasifikasi Geosintetik

Geosintetik merupakan suatu produk yang terbuat dari bahan polimer lentur berbentuk lembaran yang dalam penggunaannya tidak terpisahkan dari suatu pekerjaan, struktur atau sistem tanah, batuan maupun material geosintetik lainnya (DPU, 2009).

Geosintetik dikelompokkan berdasarkan tipe dan bentuk sehingga, seperti yang tertera pada **Gambar 2.7** membagi geosintetik berdasarkan tipe serta bentuknya sehingga dapat diketahui beberapa tipe yang termasuk bagian dari geosintetik.

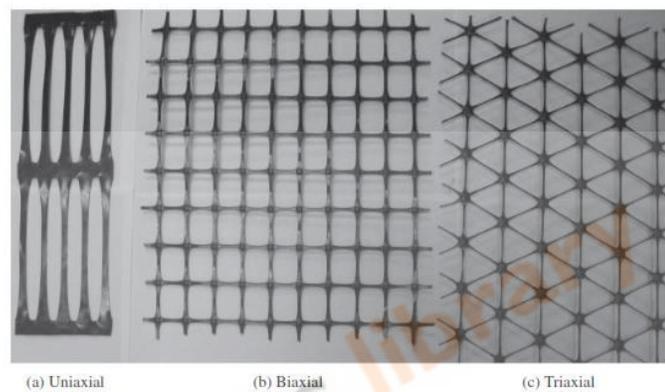


Gambar 2.7 Tipe geosintetik

(Sumber: Suryolelono,1993)

2.5.2 Geosintetik dengan Bentuk Jaring

Geogrid dan *geonet* merupakan suatu contoh dari jenis geosintetik yang berbentuk jaring (*web*). Fungsi geogrid yang utama adalah sebagai perkuatan. *Geogrid* dibentuk oleh suatu jaring teratur dengan elemen-elemen tarik dan mempunyai bukaan berukuran tertentu sehingga saling mengunci (*interlock*) dengan bahan pengisi di sekelilingnya.



Gambar 2.8 *Geogrid*

(Sumber: PT. Pandu Equator, 2019)



Gambar 2.9 *Geonet*

(Sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

2.5.3 Geosintetik dengan Bentuk Tekstil

Geosintetik dengan bentuk tekstil terbagi menjadi dua macam yaitu geosintetik yang kedap air (*impermeable*) dan lolos air (*permeable*). Geomembran adalah bahan kedap air berupa lapisan tipis karet atau plastik. Fungsi utamanya untuk lapis pelindung (*moisture barrier*).



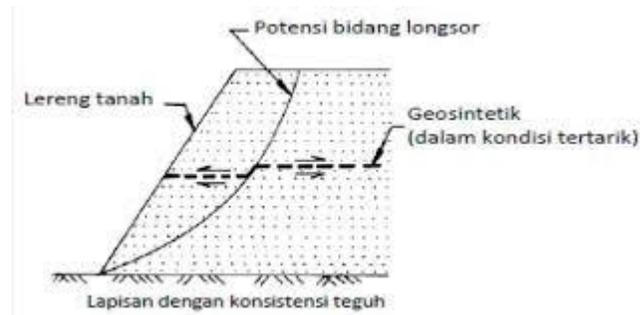
Gambar 2.10 Geomembran

(Sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

2.6 Fungsi Geosintetik

Geosintetik memiliki beberapa fungsi yaitu:

1. Perkuatan (*Reinforcement*); sebagai kekuatan tanah dan perataan beban, contohnya: untuk perkuatan lereng, perkuatan tanah dasar timbunan tanggul, jalan, lapangan parkir, *run way*, dll.



Gambar 2.11 Geosintetik sebagai perkuatan
(Sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

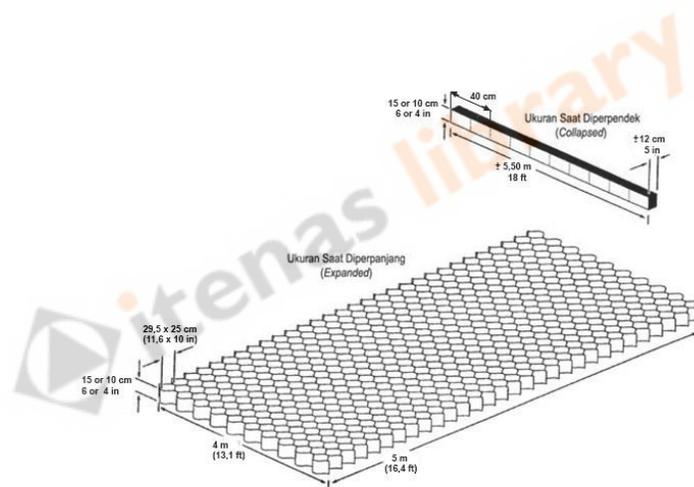
2. Separator (*Separation*); untuk mencegah bercampurnya agregat pilihan dengan lapisan asli tanah lunak. Contohnya: sebagai pemisah antara lapisan tanah lunak dengan lapisan batu pecah *sub base* jalan.
3. Drainase (*Drainage*); untuk mengalirkan air baik secara horizontal maupun secara vertikal. Contohnya: geosintetik untuk *vertical drain*.
4. Filtrasi (*Filtration*); sebagai pelindung di mana air bisa melewati bahan ini tetapi bahan tersebut dapat menahan butiran-butiran tanah. Contohnya: pada struktur tebing pelindung pantai.
5. Penahan cairan (*Containment*); sebagai penahan air. Contohnya: pada bangunan embung, pelapis tanggul sungai, tempat pengolahan limbah berbahaya.

2.7 Geosintetik sebagai Perkuatan Tanah

Membuat desain dan konstruksi lereng yang stabil dengan batasan yang benar adalah aspek utama yang penting dalam proyek rekayasa geoteknik. Menurut Zornberg (1994) ketersediaan lokasi konstruksi yang sesuai, menyebabkan peningkatan pemanfaatan tanah yang buruk untuk menumpu pondasi dan konstruksi pekerjaan tanah. Penggunaan perkuatan tanah merupakan solusi atas ketersediaan bahan granular berkualitas baik yang terbatas karena adanya perkuatan akan merubah karakteristik dari tanah yang buruk sehingga dapat digunakan sebagai material konstruksi.

Bahan yang biasa digunakan pada konstruksi yaitu baja, namun dalam penggunaannya memiliki kekurangan seperti buruknya penyaluran air pada tanah jenuh air serta tingginya kemungkinan terjadinya korosi. Ketersediaan polymer geosintetik, *geocell*, dan geogrid sebagai sistem perkuatan baru yang non korosif. Geosintetik yang lolos air (*permeable*) terutama dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kestabilan struktur tanah karena kemampuannya dapat mengeluarkan tekanan air pori berlebih.

Geocell ini adalah salah satu kelompok dari geosintetik. *Geocell* ini digunakan dalam teknik perkuatan tanah sebagai dinding penahan tanah dan stabilitas lereng. Analisis pada tugas akhir ini memilih menggunakan *geocell* sebagai bahan perkuatan pada lereng.



Gambar 2.12 Lapisan tunggal bahan polimer *geocell*

(sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

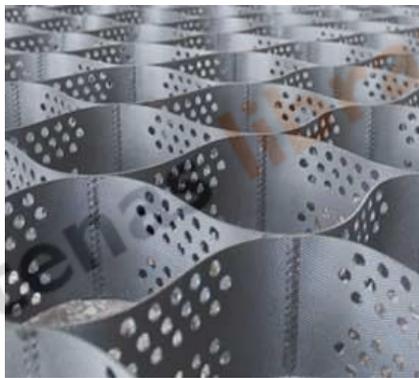
Aplikasi *geocell* untuk perkuatan yaitu dapat untuk timbunan, konstruksi jalan, pondasi, jalan kereta api, dinding penahan tanah, dan proteksi lereng dan erosi kontrol. Diperkirakan *geocell* ini cukup efektif untuk bangunan pelindung tebing terhadap adanya erosi, dengan cara *geocell* diisi tanah humus dan ditanami rumput bisa juga diisi oleh kerikil, beton, pasir, dan lain-lainnya.

2.7.1 *Geocell*

Geocell merupakan produk tiga dimensi yang berbentuk seperti sarang lebah yang terbuat dari bahan polimer. *Geocell* memiliki bentuk dengan diameter dan tinggi yang berbeda-beda. *Geocell* adalah panel tiga dimensi yang ringan dan *flexible* yang dapat diperluas/dikembangkan seperti alat harmonika. Material utamanya adalah *High-Density Polyethylene* (HDPE) strip yang diikat dengan cara ultrasonik sehingga didapatkan konfigurasi yang kuat. Berdasarkan permukaannya terdapat dua tipe *Geocell* yaitu halus (*smooth*) dan kasar (*textured*) (PT. Pandu Equator, 2019).

1. Tipe *Geocell*

a. Kasar (*Textured*)



Gambar 2.13 *Textured geocell*

(sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

Tabel 2.1 Klasifikasi *Geocell* Kasar

Properties	GC0733	GC1033	GC1533	GC2033	GC0766	GC1066	GC1566	GC2066
Material	HDPE (High Density Polyethylene)							
Standard Colour	Black							
Density (gr/cm)	>0.94							
Carbon Black Content (%)	>1.5							
Sheet Thickness (mm)	1.5							
Seam Peel Strength (N/10cm)	>1200							
Welding Distance (mm)	330				660			
Cell Depth (mm)	75	100	150	200	75	100	150	200
Expanded Cell Size (mm)	244 (Width) x 203 (Length)				488 (Width) x 406 (Length)			
Cells per Section	300				150			
Expanded Section Size (m)	2.44 (Width) x 6.15 (Length)				2.44 (Width) x 12.29 (Length)			
Expanded Section Area (m ²)	15±1%				30±1%			

(sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

b. Halus (*Smooth*)

**Gambar 2.14** *Smooth Geocell*

(sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

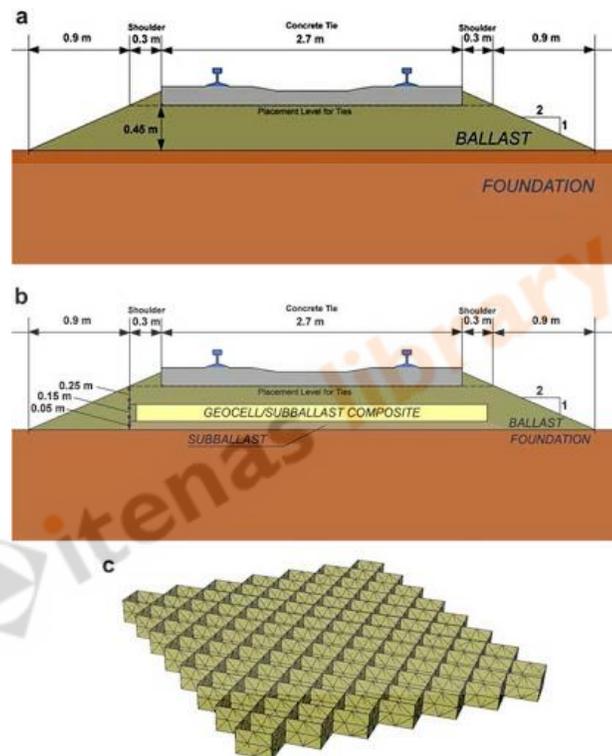
Tabel 2.2 Klasifikasi *Geocell* Halus

Properties	GC0733	GC1033	GC1533	GC2033	GC0766	GC1066	GC1566	GC2066
Material	HDPE (High Density Polyethylene)							
Standard Colour	Black							
Density (gr/cm)	>0.94							
Carbon Black Content (%)	>1.5							
Sheet Thickness (mm)	1.5							
Seam Peel Strength (N/10cm)	>1200							
Welding Distance (mm)	330				660			
Cell Depth (mm)	75	100	150	200	75	100	150	200
Expanded Cell Size (mm)	244 (Width) x 203 (Length)				488 (Width) x 406 (Length)			
Cells per Section	300				150			
Expanded Section Size (m)	2.44 (Width) x 6.15 (Length)				2.44 (Width) x 12.29 (Length)			
Expanded Section Area (m ²)	15±1%				30±1%			

(sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

2. Keunggulan *Geocell*

- Mudah dipasang.
- Pemasangan cepat.
- Tahan lama.
- Rumput dapat tumbuh disela-selanya.
- Indah / Artistik.

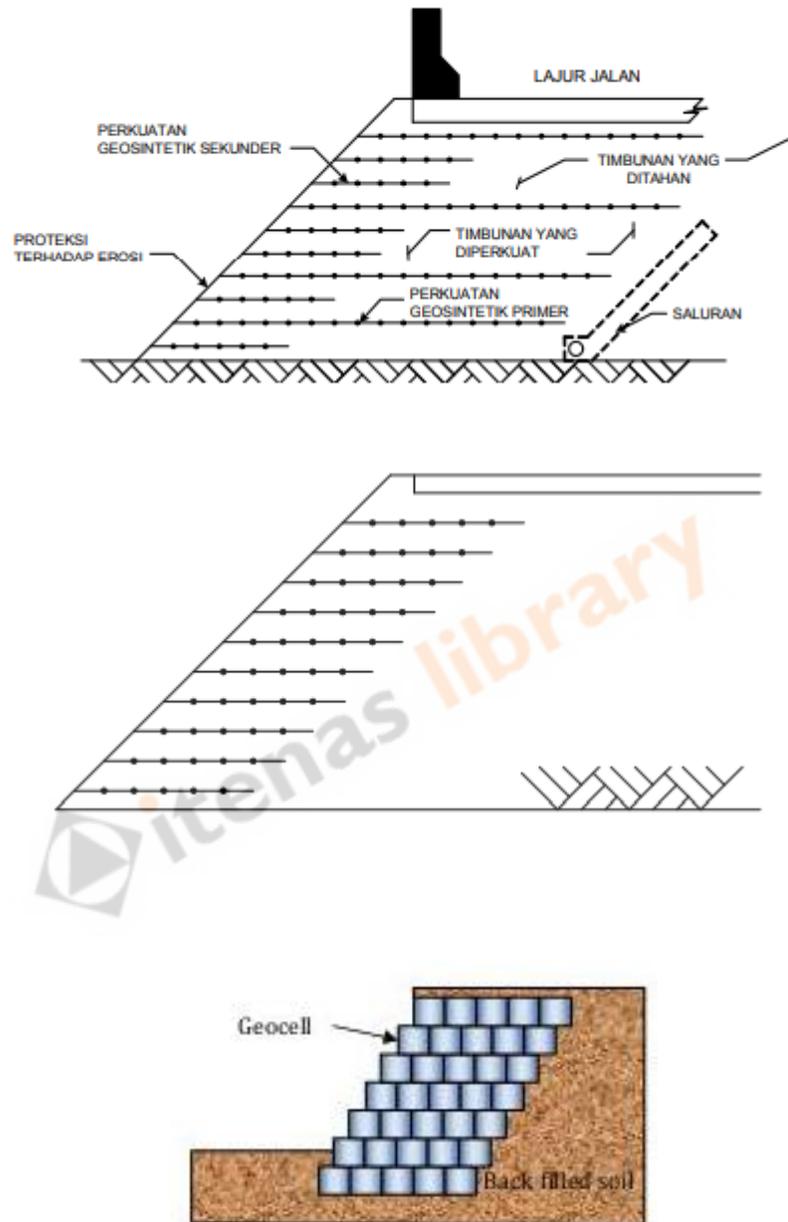


Gambar 2.15 Pemasangan *geocell*

(sumber: PT. Pandu Equator,2019)

2.7.2 Konfigurasi *Geocell* terhadap Lereng

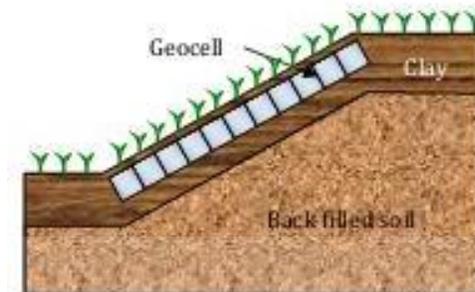
Pemasangan *geocell* pada lereng yang rawan longsor dapat divariasikan secara horizontal maupun mengikuti kemiringan lereng yang rawan longsor. Seperti dengan fungsinya *geocell* dapat memperkuat lereng, dapat dilihat pada **Gambar 2.16** yang menunjukkan *geocell* di pasang secara horizontal.



Gambar 2.16 Pemasangan *geocell* horizontal

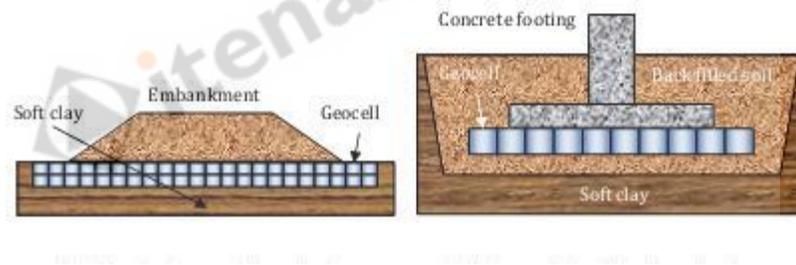
(Sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

Pemasangan *geocell* pun dapat dilakukan searah/sejajar lereng, seperti pada **Gambar 2.17** dan pada **Gambar 2.18** *geocell* digunakan sebagai perkuatan tanah sebelum dipasang pondasi.



Gambar 2.17 Pemasangan *geocell* sejajar lereng

(Sumber: PT. Pandu Equator, 2019)



Gambar 2.18 Pemasangan *geocell* sebagai perkuatan

(Sumber: PT. Pandu Equator, 2019)

2.8 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng adalah menentukan faktor keamanan dari bidang longsor. Faktor keamanan (FK) didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan.

Dari perbandingan di atas akan mendapatkan faktor keamanan (FK) yang merupakan nilai kestabilan lereng. Nilai-nilai faktor keamanan (FK) atau *safety factor* (SF) untuk menilai kestabilan suatu lereng mengacu pada SNI 8460-2017 kondisi lereng dikatakan aman jika $FK > 1,25$ menunjukkan lereng stabil.

Sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran. Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan musim/iklim/cuaca.

Akibat adanya gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng menyebabkan material pembentuk lereng mempunyai kecenderungan untuk menggelincir. Kecenderungan menggelincir ini ditahan oleh kekuatan geser material sendiri. Meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor seperti:

1. Jenis dan keadaan lapisan tanah / batuan pembentuk lereng.
2. Bentuk geometris penampang lereng (misalnya tinggi dan kemiringan lereng).
3. Penambahan kadar air pada tanah (misalnya terdapat rembesan air atau infiltrasi hujan).
4. Berat dan distribusi beban.
5. Getaran atau gempa.

Pada prinsipnya, ada beberapa cara untuk menstabilkan lereng yang berpotensi terjadi kelongsoran. Ada dua cara yang dapat digunakan untuk menstabilkan suatu lereng, yaitu:

1. Memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Gaya atau momen penyebab longsor dapat diperkecil dengan cara merubah bentuk lereng, yaitu dengan cara:
 - a. Merubah lereng lebih datar atau memperkecil sudut kemiringan.
 - b. Memperkecil ketinggian lereng.
 - c. Merubah lereng menjadi lereng bertingkat (*multi slope*).
2. Memperbesar gaya lawan atau momen penahan longsor. Gaya lawan atau momen penahan longsor dapat diperbesar dengan beberapa cara yaitu:
 - a. Menggunakan *counter weight* yaitu tanah timbunan pada kaki lereng. Cara ini mudah dilaksanakan asalkan terdapat tempat di kaki lereng untuk tanah timbunan tersebut.
 - b. Dengan mengurangi air pori di dalam lereng.
 - c. Dengan cara mekanis yaitu dengan memasang tiang pancang atau tembok penahan tanah.

2.9 Parameter Tanah

Pemodelan lereng yang diperkuat oleh *geocell* yang dilakukan pada *software* Plaxis 2D membuat parameter-parameter tanah. Parameter tanah yang digunakan untuk menggambarkan kondisi tanah asli yang akan digunakan dalam pemodelan. Parameter tanah pada tugas akhir ini diantaranya angka pori, modulus elastisitas, kohesi dan sudut geser dalam.

2.9.1 Angka Pori (e)

Angka pori menunjukkan seberapa besar ruang kosong yang disebut pori-pori tanah terhadap ruang padat. Pori-pori inilah yang nanti akan terisi air atau butiran tanah yang lebih kecil, sehingga sifat dari tanah pun berubah. Nilai ini merupakan hubungan volume tanah yang umum dipakai, didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori (VV) dan volume butiran padat (VS) yang disebut angka pori (e).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots \dots \dots (2.1)$$

2.9.2 Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu. Modulus elastisitas suatu benda didefinisikan sebagai kemiringan dari kurva tegangan-regangan di wilayah deformasi elastis (Bowles, 1997). Semakin kecil modulus elastisitas suatu tanah, maka akan semakin mudah bagi tanah tersebut mengalami perpanjangan atau perpendekan. Sehingga modulus elastisitas mempengaruhi kekuatan tanah. Nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Nilai Modulus Elastisitas Menurut Jenis Tanah

Macam Tanah	E (kg cm ³)
Lempung	
Sangat Lunak	3 - 30
Lunak	20 - 40
Sedang	45 - 90
Berpasir	300 - 425
Pasir	
Berlanau	50 - 200
Tidak Padat	100 - 250
Padat	500 - 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 - 2000
Tidak Padat	500 - 1400
Lanau	20 - 200
Loess	150 - 600
Cadas	1400 - 14000

(Sumber: Bowles, 1997)

2.9.3 Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa

gerakan lateral tanah (Bowles, 1997). Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (q_c) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kohesi } (c) = \frac{q_c}{20} \dots \dots \dots (2.2)$$

Rumus diatas dapat digunakan dengan menggunakan data sondir, data korelasi dari N-SPT dengan sondir di sajikan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Korelasi N-SPT dengan korelasi q_c dan Berat Volume Tanah

N SPT (blows/ft)	Konsistensi	q_c (<i>Unconfined Compressive Strength</i>)	γ_{sat} kN/m ³
		tons/ ft ²	
<2	<i>Very Soft</i>	<0,25	16 - 19
2 - 4	<i>Soft</i>	0,25 - 0,50	16 - 19
4 - 8	<i>Medium</i>	0,50 - 1,00	17 - 20
8 - 15	<i>Stiff</i>	1,00 - 2,00	19 - 22
15 - 30	<i>Very Stiff</i>	2,00 - 4,00	19 - 22
>30	<i>Hard</i>	>4,00	19 - 22

(Sumber: Bowles, 1997)

2.9.4 Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam (Bowles, 1984). Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Hubungan sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil Kepasiran	35° - 40°
Kerikil Kerakal	35° - 40°
Pasir Padat	35° - 40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanauan	25° - 30°
Lempung	20° - 25°

(Sumber: Das, 1995)

Tanah memiliki butiran yang variatif dan keanekaragaman butiran tersebut menjadi batasan-batasan ukuran golongan tanah menurut beberapa sistem. **Tabel 2.6** merupakan batasan-batasan ukuran golongan tanah.

Tabel 2.6 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukiran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachussets Institute Of Technology (MIT)</i>	>2	2-0.06	0.06-0.002	<0.002
<i>U.S. Departement of Agriculture (USDA)</i>	>2	2-0.05	0.05-0.002	<0.002
<i>Ameican Association of and Transportation</i>	76,2-2	2-0,075	0,075-0,002	<0,002
<i>Unified Soil Classification System</i>	76,2-4,75	4,75-0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung <0,075)	

(Sumber: Das, 1995)

Fungsi dari sistem klasifikasi tanah ialah untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah dengan cara yang sistematis guna menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu yang didasarkan pada pengalaman terdahulu. (Bowles,1989).

2.10 3 (Tiga) Kondisi dalam Analisis Stabilitas Lereng

Pemodelan yang dilakukan pada Plaxis 2D meneliti pada 3 (tiga) kondisi, yaitu *short term* (jangka pendek/setelah penimbunan selesai), *long term* (jangka panjang)

yaitu kondisi penurunan muka air seketika (*sudden draw-down*), yang dimana *geocell* dapat meningkatkan nilai faktor keamanan pada lereng.

2.10.1 *Short Term*

Menganalisis stabilitas jangka pendek (*short term*) atau selesai konstruksi biasanya menggunakan tegangan total stress analisis (TSA), atau disebut juga dengan kondisi *undrained*. Kondisi ini terjadi karena waktu pembebanan kecepatannya lebih cepat dari keluarnya air pori. Terjadi peningkatan tekanan air pori pada tanah lempung akibat tambahan pembebanan disebut *undrained condition* (Robbert. D. Cook, 1961). Hal ini terjadi karena ketidakmampuan air untuk keluar dari porinya secara cepat karena lempung mempunyai permeabilitas yang relatif sangat rendah sehingga air dalam tubuh lempung tidak dapat keluar dari porinya pada tekanan beban pertama. Tekanan air pori ini sering disebut dengan *excess pore pressure* (ΔU) dan mempunyai simbol positif (+) sebagai simbol penambahan tekanan air. Total stress analisis hanya tepat digunakan pada tanah dengan permeabilitas yang rendah. Retak tarik (*tension cracks*) pada analisis menunjukkan tegangan tarik negatif pada permukaan. Partikel tanah tidak dapat menahan tarik. Tegangan negatif akibat dari hisapan dalam air pori ini sulit untuk mengandalkan gaya-gaya tarik yang biasanya diabaikan. Kasus *undrained* terjadi pada tanah lempung, proses keluarnya air pori pada tanah lempung sangat lama jika dibandingkan dengan tanah pasir. Untuk lapisan tanah yang mempunyai kohesi (c), tegangan retak kemungkinan besar terjadi dekat permukaan tanah sehingga bidang geser menjadi terpotong. Dalam daerah tarik, retak dapat terjadi. Jika ada air maka retakan tersebut akan diisi oleh air dan dapat mengurangi stabilitas dinding. Faktor keamanan tanah terjadi pada masa akhir konstruksi. Parameter kuat geser pada kondisi *undrained* adalah c_u dan ϕ_u .

2.10.2 *Long Term*

Pada analisis jangka panjang (*drained, long term condition*), selain kuat geser tanah, kondisi pengaliran air tanah sangat berpengaruh terhadap hasil analisis dinding. Aliran air tanah yang dimodelkan sebagai garis freatik akan memberikan hasil analisis

yang lebih kritis dibandingkan dengan aliran air tanah yang dimodel sebagai *steady state flow*. Menganalisis stabilitas jangka panjang (*long term*) atau kondisi *drained* analisis yang digunakan tegangan efektif. Rumus yang digunakan dalam tegangan efektif adalah sebagai berikut:

$$\sigma' = (\gamma - \gamma_w)h \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : σ' = tegangan efektif

γ = berat isi tanah

γ_w = berat isi air

h = kedalaman

Menurut Robbert. D. Cook. 1961 tegangan efektif stress analisis (ESA) digunakan untuk menganalisis kondisi jangka panjang (*long term*) atau disebut juga kondisi *drained*. Pada tegangan efektif stress analisis pembebanannya lebih lama dari keluarnya air pori. Sehingga dalam waktu jangka lama tekanan air pori tereduksi yang menyebabkan kuat geser tanah dan faktor keamanan meningkat. Pada tanah yang memiliki kadar air yang rendah, air merekatkan antara partikel tanah dan meningkatkan *effective stress*. Pada *effective stress analisis*, analisis dilakukan dengan memperhitungkan efek dari tekanan air pori atau muka air tanah. Hal tersebut disebabkan oleh efek dari air belum tercakup ke dalam parameter *effective stress* dimana parameter air dan tanah ditinjau sebagai dua buah material yang berbeda. Parameter yang digunakan dalam tegangan efektif c' dan ϕ' yang ditentukan dari uji tes triaxial CD, CU dan tes *direct shear* atau didapatkan dari analisis jangka pendek (*short term*) dengan derajat konsolidasi pada saat tertentu dimana U antara (0-100)%, yang didapatkan dari analisis stabilitas jangka pendek (*short term*) pada pemodelan ini menggunakan $U = 90\%$ dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_{90} = \frac{0,848 \times H}{C_v} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana: T_{90} = waktu penurunan sampai 90% (dt)

H = tinggi rata-rata sampel (m)

C_v = koefisien konsolidasi (m^3/dt)

Menggunakan parameter c' berkaitan dengan keruntuhan puncak menyebabkan perkiraan tegangan tarik yang tidak mungkin. Hal ini biasanya lebih tepat dan aman menggunakan *ultimate* atau *critical state parameters* $c' = 0$. Menggunakan *critical state parameters* gaya aktif yang lebih besar diperlukan untuk stabilitas dinding, dan oleh karenanya didapat perkiraan yang lebih aman. Dalam *critical state parameters* $c' = 0$ memberi gaya lebih kecil, namun hal ini aman, konservatif, dan estimasi gaya maksimum tanah dapat menahan.

2.10.3 Gempa

Pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi setelah terjadi gempa rencana. Metode analisis gempa yang digunakan untuk merencanakan bangunan tahan gempa dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu analisis statik dan analisis dinamik (Chopra, 1995). Metode *Pseudostatik* adalah merubah gaya yang timbul akibat beban gempa yang berbentuk dinamik menjadi statik dengan menerapkan gaya lateral yang bekerja melalui pusat massa, bertindak ke arah luar lereng. Analisis ini menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*). Keuntungan dari metode ini adalah mudah untuk dipahami dan mudah untuk diterapkan. Pada metode ini gempa arah vertikal diabaikan, Karena pada umumnya percepatan gempa arah vertikal lebih kecil dari pada gempa horizontal sehingga percepatan gempa vertikal tidak begitu menentukan dalam penghitungan gaya lateral yang bekerja pada lereng (Terzaghi, 1950).

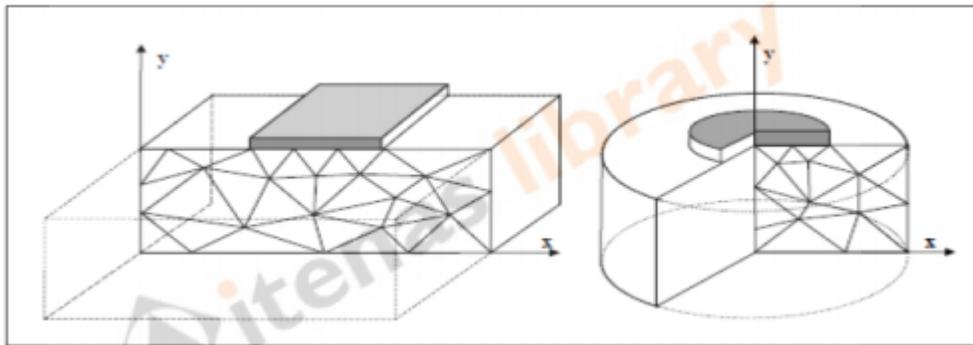
2.11 Metode Elemen Hingga (*Finite Elemen Method*)

Menurut SNI 8460-2017, metode elemen hingga digunakan untuk masalah stabilitas lereng yang lebih kompleks, yaitu dengan memodelkan kondisi statik, *pseudostatik* dan dinamik pada sistem pembebanan total. Dalam analisa FEM interaksi antar elemen dinyatakan dalam perubahan regangan dan tegangan (*stress* dan *strain*) yang terjadi pada masing-masing elemen akibat beban luar, hal ini yang menjadikan regangan dan tegangan adalah faktor utama dalam analisa FEM. Hasil analisis dengan cara elemen hingga, dapat berupa perubahan tegangan dan regangan untuk berbagai sifat elastisitas material, heterogenitas massa tanah dan bentuk geometri. *Soil* modulus atau modulus tanah, E adalah modulus atau angka yang menghubungkan antara regangan dan tegangan dalam elemen-elemen tanah tersebut (Robbert. D. Cook. 1961). Tergantung dari cara pembebanan seperti *loading*, *un-loading*, *drained*, *un-drained*, *stress level* dan statik atau dinamik yang menentukan *soil* modulus yang tepat untuk dipergunakan dalam analisa, sehingga pemilihan dan penentuan nilai *soil* modulus adalah suatu hal yang sangat penting dalam analisa FEM. Material model yang digunakan yaitu model mohr coloumb, kriteria *failure* mohr coloumb adalah suatu rangkaian persamaan linear dalam pada tegangan utama yang menggambarkan kondisi-kondisi di mana material isotropik akan *failure*, dengan mengabaikan efek dari tegangan menengah (σ_2). Mohr coloumb dapat ditulis sebagai fungsi dari tegangan utama (σ_1) dan tegangan minor (σ_3) dan atau tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) pada bidang *failure* (Jaeger and Cook 1979). Pada analisis dengan metode *pseudostatik*, pengaruh gempa digambarkan dengan percepatan horizontal dan atau vertikal. Analisis ini menunjukkan pengaruh seismik dengan percepatan *pseudostatik* yang menghasilkan gaya inersia, F_h dan F_v yang bekerja pada pusat massa keruntuhan (Brinkgreve, R. B. J. 2016).

Membagi bagian analisa menjadi bagian kecil disebut “*discretizing* atau diskritasi”. Bagian kecil ini disebut elemen yang terdiri dari titik-titik sudut atau disebut nodal atau node. Titik-titik hitam pada program Plaxis 2D itu adalah titik simpul (node)

dimana elemen yang satu berhubungan dengan lainnya. Suatu jaringan (*mesh*) adalah susunan titik simpul dan elemen.

Menurut Brinkgreve, R. B. J. 2016, pemodelan lereng pada *software* Plaxis menggunakan bentuk pemodelan *plane strain*. *Plane strain* merupakan model geometri global Plaxis yang dipilih berdasarkan yang paling mewakili kondisi di lapangan. Pola penanaman *vertical drain* terpasang di lapangan setempat-tempat dengan jarak tertentu, sementara dalam program Plaxis fasilitas pengimplementasikan vertikal *drain* ada yang bersifat menerus (*plane strain*) dan radial (*axisymmetric*) seperti yang ditunjukkan Pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2.19 Bentuk *plane strain*

(Sumber: Brinkgreve, R. B. J. 2016)

Software Plaxis 2D menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 nodes atau 15 nodes. Pada pemodelan tugas akhir ini menggunakan 15 nodes karena semakin banyak jumlah titik yang digunakan maka akan semakin akurat dengan hasil perhitungannya. Pemodelan tersebut akan menghasilkan nilai faktor keamanan dengan menggunakan metode *shear strength reduction (phi-c reduction)* yaitu suatu metode yang dimanfaatkan untuk menentukan suatu nilai SF dan umumnya pada pendekatan-pendekatan elemen hingga. Pendekatan yang utama dari elemen hingga adalah *stress* = matriks kekakuan (*stiffness matrix*) dikalikan dengan regangan (*strains*) (Geotechnics. 2018). Dengan c atau ϕ (ϕ) (*shear strength*) tanah *dirreduce* akan

mempengaruhi input dan output dari matriks-matriks tersebut sehingga dengan suatu pendekatan tertentu akan menghasilkan suatu nilai *safety factor* yang akan konvergen pada suatu batasan tertentu (galat/jumlah interaksi max). Nilai SF yang dihasilkan akan berhubungan dengan berbagai macam variabel yaitu *steps* atau langkah interaksi, *time*, *displacement*, *water pressure*. Dengan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai SF yaitu ditunjukkan pada persamaan rumus 2.4.

$$\sum Msf = \frac{\tan \phi_{available}}{\tan \phi_{failure}} = \frac{C_{available}}{C_{failure}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana: $\tan \phi_{available}$ = sudut geser dalam tanah

$\tan \phi_{failure}$ = sudut geser dalam tereduksi

$C_{available}$ = kohesi tanah dalam tanah

$C_{failure}$ = kohesi tanah dalam tereduksi

2.12 Penelitian Studi Terdahulu

Terdapat beberapa studi terkait tentang perkuatan menggunakan *geocell* yang digunakan terhadap lereng, seperti yang dikemukakan Mahmoud Ghazavi dan Reza Ziaie Moayed (2012), melakukan studi numerik tentang analisis stabilitas lereng yang diperkuat *geocell* dengan mempertimbangkan efek lentur. Analisis numerik dari tanah bertulang *geocell* benar-benar membutuhkan simulasi 3 dimensi karena semua pengurangan tanah bulat oleh kantong *geocell*. Simulasi numerik telah menunjukkan *geocell* itu kurungan secara efektif meningkatkan kekakuan dan kekuatan kerikil tanggul, sekaligus mengurangi penurunan vertikal dan lateral menyebar. Namun, karena geometri *geocell* yang kompleks, itu akan lebih disukai untuk bekerja dengan model dua dimensi yang setara yang dapat mewakili sifat tiga dimensi dari *geocell*.

Dengan tujuannya adalah untuk mempresentasikan hasil studi parametrik pada *geocell* diperkuat lereng. Studi parametrik dari lereng yang diperkuat *geocell* dilakukan keluar dengan memvariasikan kedalaman penempatan lapisan *geocell*, jumlah lapisan

geocell, jarak vertikal antara lapisan tulangan, panjang, ketebalan, dan modulus *young* dari *geocell*. Selain itu, pengaruh geometri lereng, kekuatan geser parameter, dan pemadatan tanah pada perilaku pemasangan kembali *geocell* kemiringan paksa dibahas.

Penelitian yang dilakukan Wei W.B dan cheng Y.M (2009) faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio kekuatan awal parameter dan parameter kekuatan kritis berkurang. Dalam penelitian ini mode kegagalan yang berbeda seperti kegagalan *pull-out* dan kegagalan tarik dipertimbangkan. Melakukan uji model *geocell* dinding sel diperkuat untuk memeriksa perilaku struktur termasuk deformasi pada permukaan dinding dan penyelesaian isi ulang. Hasil mereka menunjukkan bahwa peningkatan panjang *geocell* dapat dianggap sebagai penguat yang serupa dengan lapisan geogrid.

Ling H.I (2009), melakukan penelitian perkuatan lereng menggunakan *geocell*, menunjukkan bahwa *geocell* bisa berhasil digunakan untuk membentuk dinding gravitasi serta tulangan lapisan. Pada penelitiannya memiliki tujuan untuk mempresentasikan hasil studi parametrik pada *geocell* diperkuat lereng. Studi parametrik dari lereng yang diperkuat *geocell* dilakukan keluar dengan memvariasikan kedalaman penempatan lapisan *geocell*, jumlah lapisan *geocell*, jarak vertikal antara lapisan tulangan, panjang, ketebalan, dan modulus *young* dari *geocell* memperkuat slop. Selain itu, pengaruh geometri lereng, kekuatan geser parameter, dan pemadatan tanah pada perilaku pemasangan kembali *geocell* kemiringanpun dibahas. Dalam analisis, *geocell* dimodelkan sebagai balok elemen yang dapat membawa tekanan lentur dan *membrane*, sehingga dapat meningkatkan faktor keamanan pada lereng sampai stabil.

Dash S.K Krishnaswamy (2007), dalam analisis timbunan dan kemiringan, permukaan kegagalan dan gaya akting pada *geocell slope* yang diperkuat. Ketegangan, momen lentur, dan gaya geser *geocell* menghasilkan momen penolakan yang mengarah ke peningkatan faktor keamanan lereng. Variasi jumlah lapisan *geocell* sangat

berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan, semakin banyak lapisan *geocell* yang digunakan maka makin berpengaruh terhadap besarnya faktor keamanan. Karena lebih besar bidang kontak dan lebih banyak mobilisasi gesekan dan adhesi resistensi di antarmuka *geocellesoil* disediakan.

Oktavia zahnas (2015), meneliti suatu lereng yang diperkuat menggunakan geosintetik dengan jenis *geocell* yang dimana *geocell* dipasang sepanjang box uji dan dapat mereduksi penurunan tanah sebesar 99,61% dan dibawah *embankment* sebesar 95,12% dari penurunan tanah tanpa perkuatan.

David suracmat, hendy wijaya dan aksan kawanda meneliti sebuah studi di proyek jalan raya mengatakan, dalam studi ini akan dibandingkan besarnya penurunan dengan atau tidak menggunakan geotekstil dengan memperhatikan faktor keamanan terhadap berbagai kedalaman muka air tanah. Hasil studi menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil dapat mengurangi penurunan pada tanah dasar bila dibandingkan dengan tidak menggunakan geotekstil dengan rata-rata 7,633% pada kondisi *short term* dan 4,113% pada kondisi *long term* selain itu terdapat peningkatan faktor keamanan rata-rata sebesar 2,064% pada kondisi *short term* dan 19,58% pada kondisi *long term*.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *geocell* menginstal ulang *forcement* bertindak sebagai lempengan lebar dan dengan demikian dapat menahan permukaan kegagalan dari pengembangan dan pendistribusian kembali beban di area yang lebih luas. Oleh karena itu, di bawah penempatan *geocell*, deformasi lateral dan geser nilai regangan pada lereng sangat menurun. Selanjutnya, penempatan *geocell* yang efektif *inforcements* ditemukan antara tengah lereng dan tengah permukaan kegagalan kritis kemiringan yang tidak diperkuat.