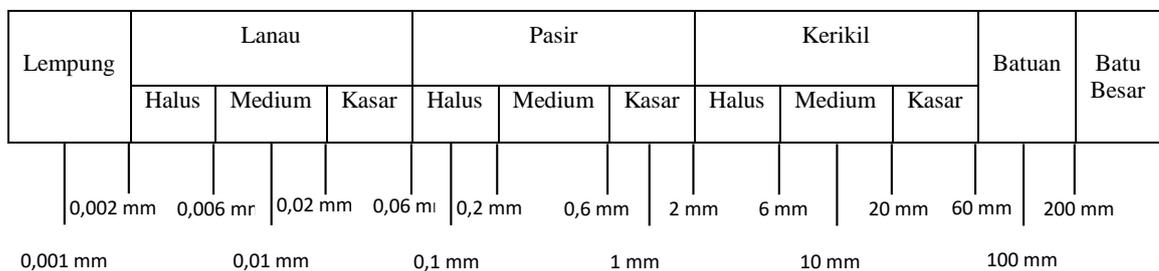


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Tanah

Ukuran partikel tanah sangat beragam, yaitu antara pada ukuran lebih besar dari 100 mm sampai kurang dari 0,001 mm. Pada gambar 2.1 ditunjukkan rentang ukuran partikel tanah berdasarkan *Brith Standard*. Dalam gambar tersebut, istilah lempung (*clay*), lanau (*silt*), dan lain-lain dipakai untuk mendeskripsikan ukuran partikel pada batas-batas tertentu. Tetapi istilah yang sama juga dipakai untuk mendeskripsikan jenis tanah penting yang lain. Sebagai contoh, lempung adalah salah satu tanah yang memiliki kohesi dan plastisitas serta ukuran partikelnya termasuk dalam rentang ukuran lempung lanau, lihat gambar di bawah ini. Jika proposi lanau cukup besar, tanah tersebut dapat dikatakan sebagai lempung kelanauan (*silty clay*). (R.F. Craig, 1991).



Sumber: R.F. Craig, 1991

Gambar 2.1 Rentang Ukuran Partikel, *British Standard*

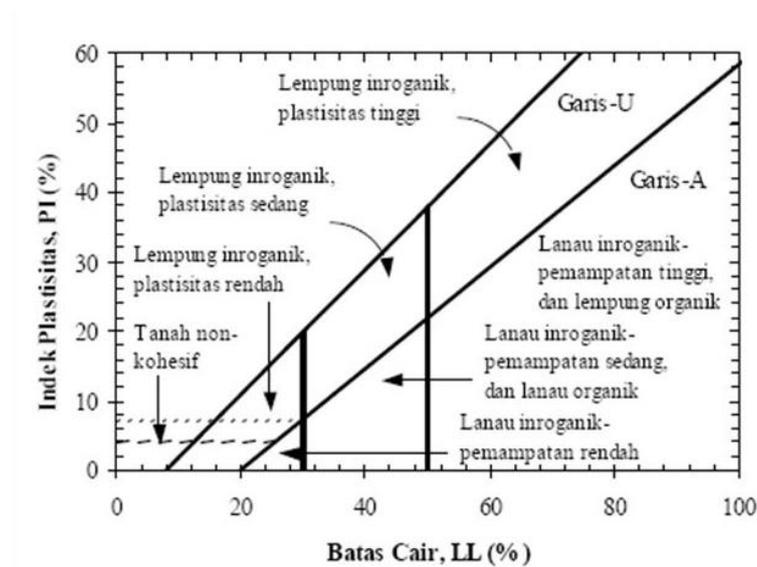
Pada umumnya jenis tanah terdiri dari campuran berbagai rentang ukuran, dan biasanya lebih dari dua rentang ukuran. Namun partikel yang berukuran lempung tidak selalu merupakan mineral lempung, bubuk batu yang paling halus mungkin berukuran partikel lempung. Jika mineral lempung terdapat pada suatu tanah, biasanya akan dapat mempengaruhi sifat tanah tersebut, meskipun persentasenya tidak terlalu besar.

Secara umum, tanah disebut kohesif bila partikel-partikelnya yang saling melekat setelah dibasahi, kemudian dikeringkan maka diperlukan gaya yang cukup besar untuk meremas tanah tersebut, ini tidak termasuk tanah yang partikel-partikelnya saling melekat ketika dibasahi akibat tegangan permukaan. Tanah yang partikelnya terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir disebut tanah berbutir kasar (*coarse grained*) sebaliknya, bila partikelnya kebanyakan berukuran partikel lempung dan lanau, disebut tanah berbutir halus (*fine grained*).

2.1.1 Karakteristik Tanah Berbutir Halus

tanah berbutir halus sangat bergantung pada karakteristik dari mineral. Fraksi yang semakin halus secara berturut-turut membentuk endapan dengan porositas yang semakin tinggi. Fraksi kasar kuarsa tidak memiliki kohesi sama sekali, tetapi semakin berkurang ukuran butiran kuarsa berarti akan semakin bertambah sifat kohesi kuarsa tersebut. Meskipun begitu, fraksi terhalus sekalipun tidak menunjukkan keplastisan, yaitu kemampuan mengalami proses “penggulungan” dalam suatu batasan-batasan kadar air tertentu. Sedangkan fraksi lempung yang

memiliki kedua sifat baik itu kohesi maupun plastis. Sifat plastis dari suatu tanah disebabkan oleh air yang terserap disekeliling permukaan partikel lempung (*adsorbed water*). Maka dapat diharapkan bahwa tipe dan jumlah mineral lempung yang dikandung dalam suatu tanah akan mempengaruhi batas cair tanah yang bersangkutan. Gambar di bawah ini akan menunjukkan nilai indeks plastisitas dari lempung dan lanau.



Sumber: Braja M. Das, 1991

Gambar 2.2 Bagan Plastisitas Tanah

Fungsi lain dari garis A dan garis U adalah untuk menentukan batas susut tanah. Seperti telah disarankan oleh Casagrande bahwa apabila indeks plastisitas dan batas cair dari suatu tanah diketahui, maka batas susut dari tanah yang bersangkutan dapat ditentukan secara kira-kira. (Braja M. Das, 1991).

Dalam permasalahan teknik sipil, partikel lempung akan senantiasa bersentuhan dengan air. Interaksi antar partikel lempung, air dan

bermacam-macam bahan yang terlarut dalam air menjadi faktor penentu yang utama bagi sifat-sifat tanah yang tersusun dari partikel-partikel tersebut. Tanah berbutir halus umumnya mempunyai sifat –sifat sebagai berikut:

1. Dapat terkonsolidasi dalam jangka waktu yang lama
2. Mudah membengkak (*swelling*) apabila bersentuhan dengan air bebas akibatnya bertambahnya kadar air dan volume tanah
3. Lempung bersifat peka atau sensitif terhadap gangguan
4. Ukuran partikel < 0.075 mm
5. Mempunyai sifat kompresibilitas yang sangat rendah
6. Kekuatan geser tanah rendah
7. Porositas rendah atau bersifat kedap air (permeabilitas rendah)
8. Mempunyai tekanan lateral yang tinggi akibat rendahnya kekuatan geser material

2.1.2 Karakteristik Tanah Berbutir Kasar

Ukuran butiran tanah bergantung pada diameter partikel tanah yang membentuk massa tanah itu. Karena pemeriksaan *makroskopis* massa tanah menunjukkan bahwa hanya sedikit yang menyerupai bentuk bola dengan ukuran diameternya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa deskripsi.

Secara visual fraksi tanah berbutir kasar dapat dikenali secara langsung mengingat ukurannya yang besar. Material tanah berbutir kasar paling banyak digunakan dalam konstruksi, karena sifat-sifatnya yang

menguntungkan. Berikut ini antara lain sifat-sifat fraksi tanah berbutir kasar, yaitu:

1. Tidak mempunyai sifat kohesi.
2. Tingkat kompresibilitas yang tinggi dan nilai elastisitas yang besar, sehingga baik untuk material urugan. Material ini banyak dipakai untuk mengganti lapisan tanah yang buruk pada konstruksi jalan raya.
3. Porositas tinggi karena banyak mempunyai celah atau void dalam susunan strukturnya.
4. Dapat terkonsolidasi dalam waktu relatif cepat.
5. Partikel berukuran > 0.075 mm.

2.2 Tanah Lempung Lunak

Menurut Panduan Geoteknik 1, 2001, penggunaan istilah “tanah lunak” berkaitan dengan: tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir; tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Adapun salah satu tipe tanah yang termasuk kedalam jenis tanah lunak yaitu lempung lunak.

Tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah
2. Bisa kadar air bertambah, kuat gesernya berkurang
3. Bila struktur tanah terganggu, kuat gesernya berkurang

4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat
5. Menyusut bila kering danembang bila basah
6. Memiliki kompresibilitas yang besar
7. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan pada beban yang konstan
8. Merupakan material kedap air

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lunak apabila mempunyai daya dukung lebih kecil dari $0,5 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai *standard penetration test* lebih kecil dari 4 ($N\text{-value} < 4$). Berdasarkan uji lapangan, tanah lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Menurut Toha (1989), sifat umum tanah lunak adalah memiliki kadar air 80-100%, batas cair 80-110%, batas plastis 30-45%, saat dites *sieve analysis*, maka butiran yang lolos oleh saringan no 200 akan lebih besar dari 90% serta memiliki kuat geser 20-40 kN/m^2 .

2.3 Tegangan Dalam Tanah

Tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu kerangka partikel padat tanah (*solid skeleton*) yang membatasi pori-pori yang mana pori-pori tersebut mengandung air dan/atau udara. Volume kerangka tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat penyusunan kembali partikel-partikel padat pada posisinya yang baru, terutama dengan cara menggelinding dan menggelincir yang mengakibatkan terjadinya perubahan gaya-gaya yang bekerja di antara partikel-partikel tanah. Kompresibilitas kerangka tanah yang sesungguhnya tergantung pada susunan struktural partikel tanah tersebut. (R.F. Craig, 1991).

2.3.1 Prinsip Tegangan Efektif

Besarnya pengaruh gaya-gaya yang menjalar dari partikel ke partikel lainnya dalam kerangka tanah telah diketahui sejak tahun 1923, ketika Terzaghi mengemukakan prinsip tegangan efektif yang didasarkan pada data hasil percobaan. Prinsip tersebut hanya berlaku untuk tanah jenuh sempurna. Tegangan-tegangan yang berhubungan dengan prinsip tersebut adalah:

1. Tegangan normal tanah (σ), pada bidang di dalam tanah, yaitu gaya per satuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja (fase tunggal)
2. Tekanan air pori (u), yaitu tekanan air pengisi pori-pori di antara partikel-partikel padat.
3. Tegangan normal efektif (σ'), pada bidang, yang mewakili tegangan yang dijalarakan hanya melalui kerangka tanah saja.

2.3.2 Tegangan Horisontal (Tegangan Lateral)

Dalam bidang hidrolika, diketahui bahwa tekanan pada benda cair memiliki nilai yang sama dalam segala arah; atas, bawah dan sisi. Namun berbeda dengan tanah, sangat jarang didapati lapisan tanah alam yang bagian dasarnya memiliki tegangan horisontal yang sama nilainya dengan tegangan vertikalnya.

2.4 Muka Air Tanah

Menurut Herlambang (1996) air tanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat di dalam ruang antar butir-butir tanah yang meresap kedalam tanah dan bergabung membentuk lapisan tanah yang disebut akuifer. Lapisan yang mudah dilalui oleh air tanah disebut lapisan *permeable*, seperti lapisan yang terdapat pada pasir atau kerikil, sedangkan lapisan yang sulit dilalui air tanah disebut lapisan *impermeable*, seperti lapisan lempung. Lapisan yang dapat menangkap dan meloloskan air disebut akuifer.

Menurut Telford et al. (1990) resistivitas adalah suatu kemampuan untuk menghambat perambatan arus listrik pada suatu benda. Berdasarkan metode geofisika yaitu geolistrik dapat diketahui keberadaan akuifer di bawah permukaan yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas rendah.

2.5 Kekuatan Geser Tanah Lempung

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh:

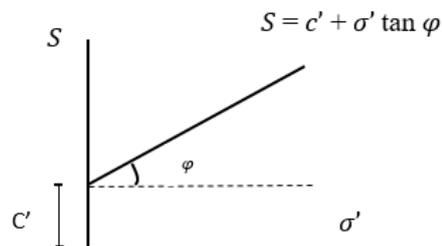
1. Pada tanah berbutir halus (*kohesif*) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (*c soil*).
2. Pada tanah berbutir kasar (*non kohesif*), kekuatan geser disebabkan karena

adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam (φ soil).

3. Pada tanah yang merupakan campuran campuran antara tanah halus dan tanah kasar (c dan φ soil), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena φ).

Kuat Geser dinyatakan dalam rumus:

$$S = c' + \sigma' \tan \varphi \dots\dots\dots 2.1$$



Sumber: Kekuatan Geser Tanah Lempung

Gambar 2.3 Kekuatan Geser Tanah Lempung

Dimana:

S = Kekuatan geser tanah

U = Tekanan air pori

σ = Tegangan total

σ' = Tekanan efektif

φ = Sudut geser dalam tanah efektif

c = Kohesi

2.6 Elastisitas Pada Tanah Lempung

Modulus tegangan-regangan E_s dan rasio poisson μ adalah sifat-sifat elastis yang penting. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan.

$$E = \sigma \varepsilon \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

E = modulus elastisitas (kN/m^2)

σ = tegangan (kN/m^2)

ε = regangan

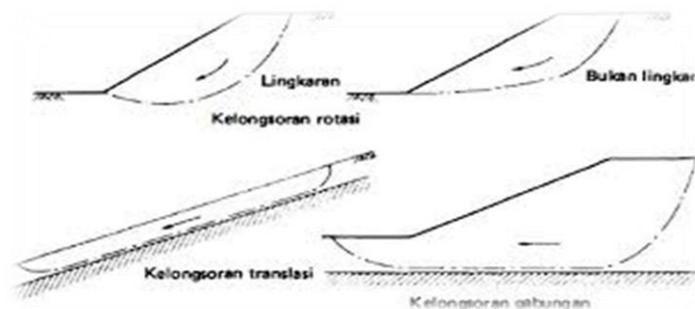
Tabel 2.1 Nilai E_s Tanah

Jenis Tanah	E_s , Mpa
<i>Clay</i>	
<i>Very Soft</i>	2-15
<i>Soft</i>	5-25
<i>Medium</i>	15-50
<i>Hard</i>	50-100
<i>Sandy</i>	100-250
<i>Glacial Till</i>	
<i>Loose</i>	10-150
<i>Dense</i>	150-720
<i>Very Dense</i>	500-1440
<i>Loess</i>	15-60
<i>Sand</i>	
<i>Silty</i>	5-20
<i>Loose</i>	10-25
<i>Dense</i>	50-81
<i>Sand and Gravel</i>	
<i>Loose</i>	50-150
<i>Dense</i>	100-200
<i>Shale</i>	150-5000
<i>Silt</i>	2-20

Sumber: J.E. Bowles, 1996

2.7 Stabilitas Lereng

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan timbunan dan galian. Tipe-tipe keruntuhan lereng dibagi menjadi keruntuhan rotasi, keruntuhan translasi dan keruntuhan gabungan. Kelongsoran rotasi (*rotational slip*) potongan permukaan runtuhnya berupa busur lingkaran (*circular arc*) untuk kondisi tanah yang homogen atau kurva bukan lingkaran untuk kondisi tanah tidak homogen. Kelongsoran translasi (*translational slip*) cenderung terjadi bila lapisan tanah yang mempunyai kekuatan geser berbeda berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng, sedangkan lapisan tanah yang mempunyai kekuatan geser yang berbeda berada pada kedalaman yang relatif dangkal maka keruntuhan yang terjadi berupa keruntuhan gabungan.



Sumber: R.F. Craig, 1991

Gambar 2.4 Tipe–tipe Kelongsoran Lereng

Faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan dapat secara umum diklasifikasikan sebagai:

1. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan
2. Faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan

Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan, meliputi berat unit tanah karena pembasahan, adanya tambahan beban eksternal seperti bangunan, bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau karena penggalian, dan gempa bumi (Michael Duncan et al, 2005) Kehilangan kekuatan dapat terjadi dengan adanya absorpsi air, kenaikan tekanan pori, beban guncangan atau beban berulang, pengaruh pembekuan dan pencairan, hilangnya sementasi material, proses pelapukan, hilangnya kekuatan karena regangan berlebihan pada lempung sensitive. (Michael Duncan et al, 2005) Hadirnya air adalah faktor dari kebanyakan keruntuhan lereng, karena hadirnya air menyebabkan naiknya tegangan maupun turunnya kekuatan. Suatu keruntuhan teknis yang paling umum adalah longsohnya suatu timbunan atau galian. Sebab-sebab keruntuhan lereng pada suatu galian akan sangat berbeda dengan pada suatu timbunan. Timbunan pada suatu proses konstruksi memiliki uatu tinggi kritis terhadap stabilitas lereng yang dapat diperlihatkan dengan rumus, $H_c = \frac{2,67 \times c}{\gamma}$. Ini dengan menganggap $\varphi = 0$ seperti akan tampak pada kasus untuk suatu jangka pendek.

Kestabilan lereng biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (*Safety Factor*) sebagai berikut:

$$FS = \frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen penggerak}} \dots\dots\dots 2.3$$

di mana untuk keadaan:

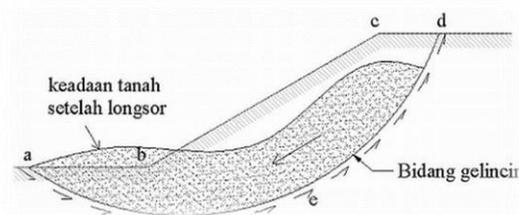
$FS > 1.0$ lereng dinyatakan stabil

$FS = 1.0$ lereng dalam keadaan setimbang, dan akan mengalami kelongsoran jika sedikit gangguan

$FS < 1.0$ lereng dianggap tidak stabil atau akan mengalami kelongsoran

2.7.1 Analisis Kesetimbangan Momen

Pada keadaan ini mencakup kasus lempung sempurna pada kondisi tak terdrainase. Tepatnya untuk kondisi segera sesudah pelaksanaan pembangunan. Dalam analisis ini yang ditinjau hanya keseimbangan momen. Pada potongan, permukaan runtuh potensial diasumsikan sebagai sebuah busur lingkaran. suatu permukaan runtuh coba-coba seperti terlihat pada gambar. Ketidakstabilan potensial disebabkan oleh berat total masa tanah persatuan panjang di atas permukaan runtuh.



Sumber: Michael Duncan et al, 2005

Gambar 2.5 Analisis Kesetimbangan Momen

2.7.2 Timbunan Pada Tanah Lunak

Untuk timbunan yang di bangun di atas lapisan tanah lempung lunak, harus dilakukan dengan hati-hati dalam tahapan pengerjaannya. Hal ini dikarenakan lapisan tanah lunak tersebut rawan mengalami *bearing failure*, yaitu kegagalan tanah lunak untuk menahan beban timbunan, sehingga seakan-akan timbunan yang telah dibangun menjadi hilang. Pada kasus timbunan yang dibangun pada tanah lunak, kegagalan lereng belum sempat terjadi, dikarenakan terjadinya bearing failure lebih cepat terjadi sebelum lereng mengalami kegagalan. (Michael Duncan et all, 2005).

2.8 Geogrid

Geogrid adalah Perkuatan sistem anyaman. Geogrid berupa lembaran berongga dari bahan polymer. Pada umumnya sistem serat tikan banyak digunakan untuk memperkuat badan timbunan pada jalan, lereng atau tanggul dan dinding tegak. Mekanisme kekuatan perkuatan dapat meningkatkan kuat geser. Pembangunan jalan di atas tanah lunak dengan metode:

1. Penggunaan cerucuk kayu yang berfungsi sebagai *settlement reducer*, yang walaupun memiliki kelemahan keterbatasan umur material namun telah terbukti dan diterima sebagai suatu sistem.
2. Penggunaan sistem geotekstil bagian dari tanah *soil reinforcement* untuk menaklukkan kuat geser.

3. Penggunaan sistem Cakar ayam yang dikombinasikan dengan geotekstil di atas tanah lunak.
4. Menggunakan cerucuk matras beton dengan komponen cerucuk dan matras dimana setiap unit pelat matras masing-masing berada disebut titik/cerucut.
5. Penggunaan bahan *expanded Polystyrene* yang mempunyai berat jenis sangat rendah untuk konstruksi timbunan jalan raya, maupun sebagai lapisan pendukung pondasi di atas tanah lunak sehingga memperkecil tegangan yang bekerja.



Sumber: Variasi Geogrid

Gambar 2.6 Geogrid

Geogrid merupakan pengembangan dari teknologi Geosintetik yang dikenal dengan nama geotekstil. Geogrid sendiri adalah inovasi yang dibuat untuk menutupi kekurangan pada geotekstil. Terutama masalah kekakuan bahan dan mekanisme perkuatan. Suatu hal yang tidak dimiliki geotekstil,

namun Geogrid dapat menyediakannya. Sebagai gambaran, terkait dengan kekakuan bahan, Geogrid memiliki kekakuan bahan yang lebih tinggi dibandingkan geotekstil. Tujuan pemakaian bahan geosintetik sebagai bahan perkuatan adalah sebagai berikut ini.

1. Mencegah tercampurnya bahan tanah timbunan dengan tanah lunak
2. Mencegah/mengurangi deformasi pada arah horisontal dan vertikal yang berlebihan,
3. Membantu menambah perlawanan geser tanah terhadap keruntuhan timbunan.

2.8.1 Jenis-jenis Geogrid

Geogrid dapat dibedakan berdasarkan arah penarikannya yakni: Geogrid adalah salah satu jenis material geosintetik yang mempunyai bukaan yang cukup besar dan kekakuan badan yang lebih baik dibanding geotekstil. Material dasar Geogrid bisa berupa :

- *Polypropylene*
- *Polyethylene*
- *Polyester*
- Atau material polimer yang lain

Berdasarkan bentuk bukaannya (*Aperture*), maka Geogrid bisa dibagi menjadi :

1. Geogrid *Uniaxial* adalah Geogrid yang mempunyai bentuk bukaan tunggal dalam satu segmen (ruas)

2. Geogrid *Biaxial* adalah Geogrid yang mempunyai bukaan berbentuk persegi.
3. Geogrid *Triax* adalah Geogrid yang mempunyai bukaan berbentuk segitiga.

Fungsi Geogrid Secara umum Geogrid adalah bahan Geosintetik yang berfungsi sebagai Perkuatan (*reinforcement*) dan Stabilisasi (*stabilization*), dengan penjelasan detailnya sebagai berikut :

1. Geogrid *Uniaxial* Berfungsi sebagai material perkuatan pada system konstruksi dinding penahan tanah (*Retaining Wall*) dan perkuatan lereng (*Slope Reinforcement*).
2. Geogrid *Biaxial* Berfungsi sebagai stabilisasi tanah dasar. Seperti pada tanah dasar lunak (*soft clay* maupun tanah gambut). Metode kerjanya adalah interlocking, artinya mengunci agregat yang ada di atas Geogrid sehingga lapisan agregat tersebut lebih kaku, dan mudah dilakukan pemadatan.
3. Geogrid *Triax* Fungsinya sama dengan *Biaxial* sebagai material stabilisasi tanah dasar lunak, hanya saja performanya lebih baik. Hal ini disebabkan bentuk bukaan segitiga lebih kaku sehingga penyebaran beban menjadi lebih merata.

2.8.2 Kelebihan Memakai Geogrid

Geogrid mempunyai kelebihan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik yang tinggi
2. Pelaksanaan yang cepat
3. Memungkinkan penggunaan material setempat
4. Pemasangan yang mudah dan dapat membangun lebih tinggi dan tegak.
5. Tambahan PVC sebagai pelindung terhadap ultraviolet,
6. Pemasangan dan harga geogrid murah dibandingkan beton.
7. Merupakan struktur yang fleksibel sehingga tahan terhadap gaya gempa.
8. Tidak mempunyai resiko yang besar jika terjadi deformasi struktur
9. Tipe elemen penutup lapisan luar dinding penahan dapat dibuat dalam bentuk yang bermacam-macam, sehingga memungkinkan untuk menciptakan permukaan dinding yang mempunyai nilai estetika.
10. Biasanya perbaikan tanah dengan perkuatan dilakukan secara horisontal artinya digelar karena lebih mudah pelaksanaannya ketimbang arah tegak vertikal. Perkuatan horisontal dapat menerima beban tekan dari permukaan atau tarik dari arah horisontal. Sedangkan perbaikan tanah arah vertikal lebih utama menerima beban vertikal dari permukaannya tanpa mampu menerima beban horisontal.

2.8.3 Kekurangan Memakai Geogrid

Geogrid tanpa PVC akan mengalami penurunan tingkat kemampuan penahan gaya tarik. Karena bahan Geogrid sangat peka terhadap naik turunnya temperatur udara, dimana pemuaian akan sangat mudah terjadi terhadap bahan geogrid pada saat mendapatkan temperature tinggi. Pemuaian akan membuat Geogrid getas, dan akhirnya akan mengurangi kuat tarik.

2.9 PLAXIS 2D

PLAXIS 2D adalah salah satu program aplikasi komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik, seperti daya dukung tanah. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara *axisymmetric*. Program ini menerapkan metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva.

Dengan adanya program PLAXIS 2D yang dapat menganalisis berbagai bentuk geometris, memudahkan untuk menghitung *finite element* dengan sangat cepat. tampilan berupa grafis membuat pengguna lebih familiar dalam melakukan perhitungan. *Input* yang disediakan dalam program PLAXIS 2D

meliputi semua yang dibutuhkan dalam perhitungan manual, seperti: dimensi, material (*material model, material type, general properties, permeability, stiffness/kekakuan, kekuatan*). dalam mengkalkulasi suatu model, PLAXIS 2D membuatnya secara grafik sehingga memudahkan para pengguna untuk melakukan perhitungan secara bertahap dan *Output* yang menarik sehingga dengan mudah langsung diaplikasikan untuk suatu presentasi.

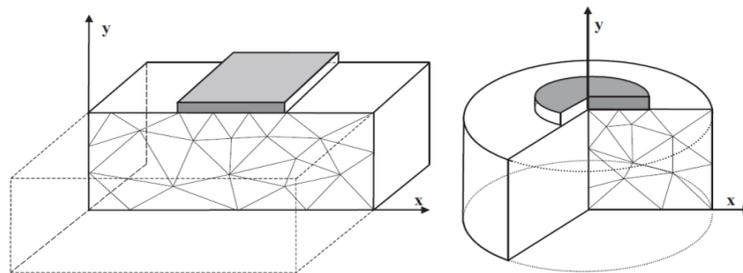
Kondisi di lapangan yang disimulasikan ke dalam program PLAXIS 2D ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan di lapangan dapat didekati sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan. Walaupun pengujian dan validasi telah banyak dilakukan, tetap tidak dapat dijamin bahwa program PLAXIS 2D bebas dari kesalahan. Simulasi permasalahan geoteknik dengan menggunakan metode elemen hingga sendiri telah secara implisit melibatkan kesalahan pemodelan dan kesalahan numeric yang tidak dapat dihindarkan. Akurasi dari keadaan sebenarnya yang diperkirakan sangat bergantung pada keahlian dari pengguna terhadap pemodelan permasalahan, pemahaman terhadap model-model tanah serta keterbatasannya, penentuan parameter-parameter model, dan kemampuan untuk melakukan interpretasi dari hasil komputer. Oleh karena itu, PLAXIS 2D hanya digunakan oleh para profesional yang memiliki keahlian-keahlian seperti yang telah disebutkan. Pengguna harus sadar akan tanggung-jawabnya saat menggunakan hasil komputasi untuk tujuan desain geoteknik. Organisasi

PLAXIS 2D tidak dapat dimintai pertanggungjawaban atas kesalahan desain yang didasarkan pada keluaran dari perhitungan PLAXIS 2D.

Pada kajian ini maka digunakan program PLAXIS 2D untuk mendapatkan data faktor keamanan, nilai deformasi, perubahan tegangan, dan bentuk keruntuhan terhadap permodelan timbunan yang akan diperkuat oleh geogrid pada tanah lempung lunak.

2.9.1 Definisi PLAXIS 2D

PLAXIS 2D merupakan program komputer *finite element* yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai kasus pada geoteknik. Kondisi yang sebenarnya bisa digambarkan baik dengan model *plane strain* maupun dengan model *axisymmetric*



Sumber: Manual PLAXIS 2D Versi 8, 2007

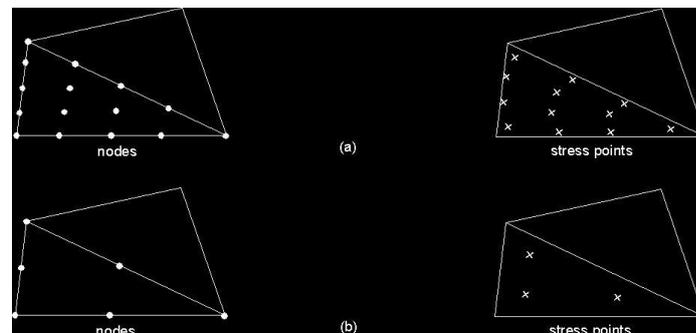
Gambar 2.6 Model Plane Strain dan Axisymmetric

Permodelan plain strain digunakan untuk geometri cross section yang (lebih kurang) seragam dimana tegangan maupun beban tegak lurus terhadap cross section tersebut (arah z) dianggap seragam. Sehingga

displacement dan strain pada arah ini diasumsikan nol. Akan tetapi, tegangan normal pada arah ini dimasukkan dalam perhitungan.

Permodelan *axisymmetric* digunakan untuk struktur lingkaran dengan *radial cross section* yang seragam dan pembebanan disekitar sumbu tengah, yang mana deformasi dan tegangan diasumsikan sama untuk semua arah radial.

Pada program PLAXIS 2D tersedia dua tipe elemen, yaitu elemen dengan 6 nodal dan element dengan 15 nodal. Pengguna bisa memilih elemen segitiga dengan 6 nodal dan 15 nodal untuk memodelkan lapisan tanah dan cluster lainnya.



Sumber: Manual PLAXIS 2D Versi 8, 2007

Gambar 2.7 Posisi Nodal dan Stress Point Pada Elemen Tanah

Segitiga dengan 15 nodal merupakan elemen yang sangat akurat yang menghasilkan tegangan dengan kualitas yang baik untuk masalah yang kompleks, Penggunaan segitiga dengan 15 elemen membutuhkan waktu yang lebih lama karena proses kalkulasinya sangat lambat. Oleh karena itu tipe elemen yang lebih sederhana juga tersedia.

Segitiga dengan 6 nodal merupakan elemen yang cukup akurat yang memberikan hasil yang baik dalam analisis deformasi standar, asalkan digunakan jumlah elemen yang cukup. Meskipun demikian, elemen ini kurang sesuai untuk perhitungan pada model *axisymmetric* khususnya pada kalkulasi *phi-c* reduction karena faktor keamanan yang dianalisis tidak sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Sehingga setiga dengan 15 nodal dianggap lebih baik untuk kasus ini.

2.9.2 Analisis Permodelan Pada PLAXIS 2D

PLAXIS 2D menyajikan beberapa permodelan untuk mensimulasikan beberapa tingkah laku dari tanah. Permodelan-permodelan tersebut adalah Permodelan *Linear Elastic*, Permodelan *Mohr-Coulomb*, Permodelan *Jointed-Rock*, Permodelan *Hardening soil*, Permodelan *Soft Soil*, Permodelan *Soft Soil Creep*, Permodelan *User-Defined Soil*. Namun penulis hanya menggunakan permodelan *Mohr-Coulomb*. Permodelan ini digunakan sebagai perkiraan awal dari tingkah laku tanah secara umum. Permodelan ini meliputi lima parameter, yaitu *Young's modulus* (E), *Poisson ratio* (ν), kohesi (c), sudut geser (ϕ), dan sudut dilatasi (ψ).

2.9.3 Sub-program PLAXIS 2D

Pada PLAXIS 2D terdapat 4 sub-program yaitu: *Input*, *Calculation*, *Output*, dan *Curve*.

2.9.3.1 Program *Input*

Untuk membuat analisis elemen hingga dengan PLAXIS 2D, pengguna harus membuat model elemen hingga dan menentukan property material dan kondisi batas. Dalam membuat model elemen hingga, pengguna harus membuat model geometrik dua dimensi pada bidang x-y.

Program *Input* terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. General Setting Pada tahap ini terdapat dua lembar kerja (*tab sheet*) yaitu *Project* dan *Dimension*. Lembar *Project* berisi nama proyek dan deskripsi, tipe model dan akselerasi. Lembar *Dimension* berisi satuan panjang, gaya, waktu dan dimensi area untuk menggambar.
2. Permodelan secara Geometrik Tahapan dari permodelan elemen hingga dimulai dengan membuat model geometrik yang akan menggambarkan permasalahan yang terjadi. Permodelan geometrik terdiri dari titik, garis, dan kelompok (*cluster*). Titik dan garis di *Input* oleh pengguna, sedangkan *cluster* diolah oleh program. Tambahan dari komponen dasar, objek struktur atau kondisi tertentu dapat digunakan permodelan geometrik mensimulasikan garis terowongan, dinding, plat, interaksi tanah dan semua komponen geometrik telah memiliki properti masing-masing, maka struktur elemen hingga dapat diolah.

3. *Load* dan *Boundary Conditions Menu loads* berisi pilihan yang menjelaskan distribusi beban, apakah beban garis atau beban titik. Kondisi batas menjelaskan *displacement* (perpindahan) yang sama dengan nol. Kondisi dapat diterapkan pada garis geometrik dan pada titik.
4. Material Properti Pada PLAXIS 2D, nilai properti tanah dan properti material dari struktur disimpan pada data material. Di mana ada empat macam material, data untuk tanah dan interaksi, plat, geogrid, dan angkur. Semua data disimpan pada data base material. Berdasarkan data base tersebut dapat ditetapkan kumpulan tanah atau objek struktur pada permodelan geometrik.
5. *Mesh Generation* setelah permodelan geometrik semua sudah ditetapkan dan properti material dipilih untuk semua jenis kumpulan tanah dan objek struktur, permodelan geometrik harus dibagi-bagi menjadi elemen-elemen hingga (*mesh*) dengan tujuan untuk membentuk perhitungan elemen hingga. Komposisi untuk elemen hingga disebut “*mesh*”.
6. *Initial Condition* setelah permodelan geometrik dibuat dan jarring elemen hingga sudah di-*generate* (diproses), keadaan tegangan awal dan konfigurasi awal yang ditetapkan. Pada *initial Conditions* (kondisi awal) terdapat dua model yang berbeda, yaitu model pertama untuk memproses tekanan air awal (*water conditions mode*) dan model kedua untuk persyaratan konfigurasi

geometrik awal dan untuk memproses tegangan efektif dasar awal (*geometric configurations mode*).

2.9.3.2 Program Calculation

Setelah memproses permodelan elemen hingga dapat dilaksanakan. Oleh karena itu, perlu ditetapkan tipe dari perhitungan yang akan digunakan dan jenis pembebanan atau tahapan konstruksi yang mana yang harus diaktifkan selama perhitungan. Semua ini dilakukan oleh program *Calculation*. Program *Calculation* hanya mempertimbangkan analisis deformasi (perpindahan) dan membedakan antara perhitungan *Plastic*, *analisis Consolidations* (pemampatan), analisis *Phi-c reduction* (faktor keamanan) dan perhitungan *Dynamic*. Pengertian tipe perhitungan tersebut secara singkat dapat dijelaskan melalui penjelasan berikut:

1. Perhitungan *Plastic* Perhitungan tipe ini harus dipilih untuk mendapatkan *elasticplastic deformation analysis* yang mana tidak diperlukan untuk memasukkan kekurangan dari kelebihan tekanan air pori beserta fungsi waktu kedalam perhitungan. Tipe perhitungan ini sangat cocok pada sebagian besar penerapan di bidang geoteknik.
2. Perhitungan *Consolidation* Perhitungan ini harus dipilih ketika cukup penting untuk menganalisis perkembangan dari disipasi dari kelebihan air pori pada tipe tanah yang jenuh air dalam fungsi waktu.

3. Perhitungan *Phi-c* reduction Perhitungan ini digunakan pada PLAXIS 2D untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dengan mengurangi parameter kekuatan tanah.
4. Perhitungan *Dynamic* Perhitungan ini digunakan apabila beban yang bekerja bukan beban statis, tetapi beban bergerak, misalnya beban akibat gempa bumi.

Pada prakteknya, suatu proyek akan dibagi menjadi tahapan-tahapan proyek. Sama pada proses yang terjadi pada PLAXIS 2D. Proses perhitungan dibagi beberapa tahapan antara lain, pengaktifan beban khusus pada waktu tertentu, simulasi dari tahapan konstruksi, pendahuluan dari waktu konsolidasi, perhitungan faktor keamanan, dan lain sebagainya.

2.9.3.3 Program Output

Hasil utama *Output* dari perhitungan elemen hingga adalah *displacement* (perpindahan) pada titik dan perubahan tegangan pada titik yang ditinjau. Beberapa parameter yang dapat diketahui dari hasil program *Output* antara lain; deformasi, perpindahan (total, horisontal, vertikal dan *incremental displacement*), regangan (total, *cartecian* dan *incremental strain*), tegangan (*effective* dan *total stresses*), *Over Consolidation Ratio* (OCR), titik plastis (*plastic point*), tekanan aktif pori (*active pore pressure*), tekanan air pori berlebih (*excess pore pressure*), *ground water head*, *flow field* dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

2.9.3.4 Program *Curve*

Pada program *curve* dapat digunakan untuk menggambar kurva beban atau waktu terhadap *displacement* (perpindahan), diagram tegangan-regangan dan garis tegangan atau garis regangan dari titik yang sudah dipilih dan dimodelkan secara geometrik. kurva ini menggambarkan perkembangan dari beberapa hitungan selama berbagai tahapan perhitungan dan memberikan tanda secara global atau lokal dari perilaku tanah.