

BAB III

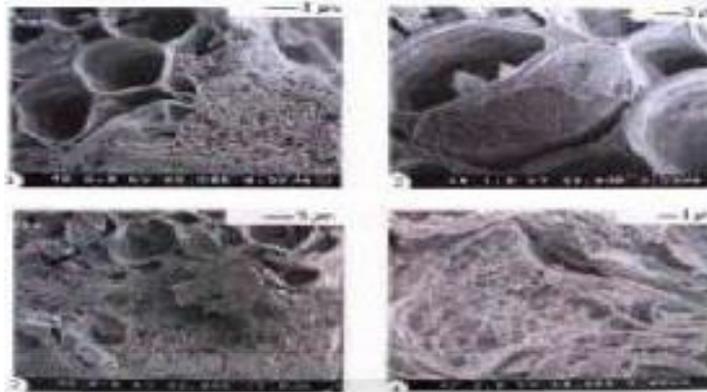
LANDASAN TEORI

3.1 PROPERTIES TANAH GAMBUT

3.1.1 Tekstur Tanah Gambut

Tanah gambut mempunyai ciri yang khas yaitu mengandung serat-serat organik tinggi, bewarna coklat sampai hitam (ASTM D2488). Tanah gambut merupakan campuran fragmen organik, berasal dari vegetasi yang telah berubah dan memfosil secara kimiawi. Terlihat secara mendetail struktur mikro dengan ruang pori besar sehingga dapat dimengerti bahwa kandungan air dan kompresibilitas tanah tersebut tinggi. Gambut yang ada di bawah permukaan mempunyai daya mampat yang tinggi dibandingkan dengan mineral tanah pada umumnya. Istilah tanah gambut hanya berhubungan dengan bahan organik berasal dari proses geologi selain batubara. Terbentuk dari tumbuh-tumbuhan yang telah mati, berada didalam air dan hampir tidak ada udara didalamnya, terjadi dirawa-rawa dan mempunyai kadar abu tidak lebih 25% berat kering, dengan demikian rawa merupakan tempat pembentukan tanah gambut, dipengaruhi oleh iklim, hujan, peristiwa pasang surut, jenis vegetasi rawa, topografi serta beberapa aspek geologi serta hidrologi daerah setempat (ASTM D2607).

Tanah gambut (*peat soil*) diketahui sebagai tanah yang mempunyai karakteristik sangat berbeda, jika dibandingkan dengan tanah lempung. Perbedaan ini terlihat jelas pada sifat fisik dan sifat teknisnya. Secara fisik tanah gambut dikenal sebagai tanah yang mempunyai kandungan bahan organik dan kadar air yang sangat tinggi, angka pori yang besar, dan adanya serat-serat, sedangkan secara teknis yang sangat penting untuk tanah gambut adalah pemampatan yang tinggi, terjadinya pemampatan primer yang singkat, adanya pemampatan akibat *creep* (pemampatan yang terjadi pada tekanan efektif yang konstan), dan kemampuan mendukung beban yang rendah (Panjaitan, 2013). Pada Gambar 3.1 dapat dilihat contoh tekstur tanah gambut.



Gambar 3.1 Tekstur Tanah Gambut
Sumber : Panjaitan, 2013

3.1.2 Klasifikasi Tanah Gambut

Jenis gambut dapat dibedakan berdasarkan bahan asal atau penyusunnya, wilayah iklim, proses pembentukan, lingkungan pembentukan, tingkat kematangan, dan ketebalan lapisan bahan organik. Sudah tentu terdapat keterkaitan antara bahan asal atau lingkaran pembentukannya dan tingkat kesuburan. Ketebalan gambut berhubungan dengan kematangannya sekaligus dengan tingkat kesuburannya, oleh karena itu gambut yang sama dapat mempunyai lebih dari satu sebutan atau istilah. Uraian tentang ragam jenis gambut ini ditujukan untuk mengkaitkan antara beberapa istilah penggolongan yang umum digunakan dan sifat atau harkat kesuburannya serta kelayakannya untuk pertanian (Noor, 2001).

1. Berdasarkan bahan asal atau penyusunnya,
 - a. gambut lumutan (*sedimentary/moss peat*) adalah gambut yang terdiri atas campuran tanaman air termasuk plankton dan sejenisnya.
 - a. gambut seratan (*fibrous/sedge peat*) adalah gambut yang terdiri atas campuran tanaman *sphagnum* dan rumputan.
 - b. gambut kayuan (*woody peat*) adalah gambut yang berasal dari jenis pohon-pohonan (hutan tiang beserta tanaman semak (paku-pakuan) dibawahnya.
2. Menurut wilayah iklim
 - a. Gambut tropic adalah gambut yang berada di kawasan tropic atau sub-tropik
 - b. Gambar iklim sedang adalah gambut yang berada di kawasan Eropa yang umumnya mempunyai iklim empat musim.

3. Proses pembentukannya
 - a. Gambut ombrogen adalah gambut yang pembentukannya dipengaruhi oleh curah hujan.
 - b. Gambut topogen adalah gambut yang pembentukannya dipengaruhi oleh keadaan topografi (cekungan dan air tanah)
4. Menurut lingkungan pembentukan atau fisiografinya
 - a. Gambut cekungan (*basin peat*) adalah gambut yang terbentuk di daerah cekungan, lembah sungai, atau rawa burit (*backswamps*)
 - b. Gambut sungai (*river peat*) adalah gambut yang terbentuk disepanjang sungai yang masuk ke daerah lembah kurang dari 1 km, misalnya di sepanjang sungai Barito, sungai Kapuas, dan sungai Mentangai di Kalimantan.
 - c. Gambut dataran tinggi (*highland peat*) adalah gambut yang terbentuk di punggung-punggung bukit/pegunungan, misalnya di pegunungan Tinggi (Papua) dan pegunungan Dieng (Jawa Tengah).
 - d. Gambut dataran pesisir/pantai (*coastal peat*) adalah gambut yang terbentuk di sepanjang garis pantai.

Menurut ASTM D-4427 tanah gambut dapat diklasifikasikan berdasarkan kadar abu dan daya serap terhadap air dan bahan pembentuknya.

1. Berdasarkan kadar abu, tanah gambut diklasifikasikan menjadi:
 - a. kadar abu rendah : kadar abu $< 5\%$
 - b. kadar abu sedang : kadar abu $5\%-15\%$
 - c. kadar abu tinggi : kadar abu $> 15\%$
2. Berdasarkan daya serap terhadap air
 - a. ekstrim : kapasitas menyimpan air $> 1500\%$
 - b. tinggi : kapasitas menyimpan air $800-1500\%$
 - c. moderat : kapasitas menyimpan air $300-800\%$
 - d. kecil : kapasitas menyimpan air $< 300\%$

3.1.3 Properties Tanah Gambut

Properties tanah gambut (sifat fisik) merupakan faktor yang sangat menentukan tingkat produktivitas tanaman yang diusahakan pada lahan gambut, karena menentukan kondisi aerasi, drainase, daya menahan beban, serta tingkat atau potensi degradasi lahan gambut. Dalam pemanfaatan lahan gambut, karakteristik atau sifat fisik gambut yang penting untuk dipelajari adalah kematangan gambut, kadar air, berat isi (*bulk density*), daya menahan beban (*bearing capacity*), dan penurunan permukaan tanah (*subsidence*). Beberapa properties tanah gambut yang akan diuji yaitu,

1. kadar air (w)

Besarnya kandungan air didalam tanah disebut kadar air (w). Kadar air pada tanah gambut dapat lebih besar dari 200%, tetapi kadar air tersebut akan berkurang dengan drastis bila bercampur dengan bahan anorganik. Tanah gambut mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk menyerap dan menyimpan air. Jumlah air yang dapat diserap sangat tergantung pada derajat dekomposisi tanah yang bersangkutan. Kadar air diperoleh dari hasil perbandingan berat air dengan berat tanah dalam persen (%), dinyatakan dalam Persamaan 3.1.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan :

w = kadar air (%)

W_w = berat air

W_s = berat tanah

2. specific gravity

Nilai berat jenis (specific gravity) dari tanah gambut akan lebih besar dari 1.0, berat jenis rata-rata diantara 1.50 atau 1.60. Jika didapatkan berat jenis lebih besar dari 2,0 tanah gambut yang diteliti sudah tercampur dengan bahan anorganik.

3. angka pori

Nilai angka pori tanah gambut adalah sangat besar yaitu berkisar antara 5 s/d 15. Untuk tanah gambut berserat pernah ada yang mempunyai angka pori sebesar 25, sedang tanah gambut tak berserat (amorphous granular) mempunyai angka pori sangat kecil. Perhitungan nilai angka pori dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$\text{Angka pori (e)} = \frac{G_s}{\gamma_d} - 1 \quad (3.2)$$

Keterangan :

e = angka pori

G_s = berat jenis

γ_d = berat isi kering (gram/cm³)

4. Proctor

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar air optimum tanah yang akan digunakan selama pengujian. Saat pengujian, percobaan diulang paing sedikit lima kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya, hubungan berat volume tanah kering (γ_d), berat volume basah (γ), dan kadar air (w) dinyatakan dengan Persamaan 3.3 berikut ini,

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.3)$$

Keterangan :

γ_d = berat volume tanah kering (kg/cm³)

γ = berat volume basah (kg/cm³)

w = kadar air (%)

Tujuan dilakukannya stabilisasi ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan metode perbaikan tanah, diantaranya tipe dan tingkat perbaikan yang dibutuhkan, tipe tanah dan struktur geologi dan kondisi rembesan (*seepage*), biaya (*cost*), keberadaan alat dan material serta kualitas pekerjaan diperlukan, waktu konstruksi yang tersedia, kemungkinan kerusakan yang terjadi akibat struktur bersangkutan atau polusi air tanah, serta ketahanan material yang diperbaiki.

Metode yang telah dikenal selama ini terbagi atas metode mekanis dan metode stabilisasi. Secara umum disebut *soil improvement*/perbaikan tanah, macamnya: *Mechanical modification*, *Physical modification*, *Hydrolic modification*, *soil stabilization* dan *soil reinforcement* (Ingles, 1972). Pada penelitian ini digunakan *soil stabilization*/stabilisasi kimia.

3.2.1 Soil Stabilization

Dalam pengertian luas, yang dimaksud stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, adapula yg mengartikan sebagai suatu usaha yang dilakukan pada suatu jenis tanah dengan merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah menggunakan alat bantu atau dengan mencampur material lain sehingga kondisi akhir tanah menjadi kokoh mantap dan baik atau stabil serta memenuhi syarat teknis tertentu. Tujuan utama dari stabilitas tanah yaitu meningkatkan daya dukung tanah pada kondisi tanah tersebut. Unsur stabilitas terbagi tiga yaitu; *strength*, *durability* dan *permeability*.

Proses stabilisasi tanah meliputi tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambah pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi baik. Guna merubah sifat-sifat tanah, seperti : kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah, seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal, seperti : mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, abu sekam, injeksi semen (*grouting*) dan pemanasan dan lain-lain.

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan, bila tanah ditempat tidak memenuhi syarat untuk pembangunan struktur, adalah membongkar material di lokasi dan

menggantikannya dengan material yang sesuai, serta merubah atau memperbaiki sifat-sifat tanah di tempat, sehingga material tersebut memenuhi syarat (Hardiyatmo, 1992:3).

Stabilitas tanah yang dilakukan dengan bahan tambah dikenal dengan istilah modifikasi kimia. Hal ini terbagi ke dalam dua sub-kelompok yang sangat berbeda, anorganik dan stabilisator organik. Untuk yang pertama ini adalah yang paling umum tersedia dan lebih efektif. Asam, netral, dan jenis alkali penstabil anorganik dapat dibedakan. (Ingles dan Metcalf, 1972:180).

3.2.2 Stabilisasi Kimia

Salah satu bahan yang telah berhasil dibuat dengan bahan dasar abu sekam padi adalah silika gel. Kegunaan silika gel didasarkan pada keberadaan situs aktif berupa gugus silanol ($\text{Si} - \text{OH}$) dan siloksan ($\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$) di permukaan dan sifat fisiknya seperti kestabilan mekanik. Gugus silanol ($\text{Si} - \text{OH}$) inilah yang memberikan sifat polar pada silika gel dan merupakan sisi aktif dari silika gel. Permukaan yang kompleks dari silika gel yakni terdiri atas lebih dari satu macam tipe gugus hidroksil - OH yang terikat pada permukaan silika gel

Luas permukaan silika gel yang besar $300-800 \text{ m}^2/\text{g}$, akibat dari banyaknya pori yang dimilikinya. Sifat yang paling penting dari silika gel adalah sebagai adsorben yang dapat diregenerasi. Silika gel memiliki kemampuan menyerap yang sangat besar terhadap molekul-molekul air. Dengan bertambahnya luas permukaan silika gel, porositas silika gel juga akan bertambah. Gel silika adalah mineral alami yang dimurnikan dan diolah menjadi salah satu bentuk butiran atau manik-manik. Sebagai pengering, ia memiliki ukuran pori rata-rata 2,2- 2,6 nanometer dan memiliki afinitas yang kuat untuk molekul air. Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (NaSiO_2). Sol mirip agar-agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering dan penopang katalis (Narsito, 2005).

3.4 SHEAR STRENGTH OF SOILS (KUAT GESER TANAH)

3.4.1 Keruntuhan Geser Menurut Mohr dan Coulomb

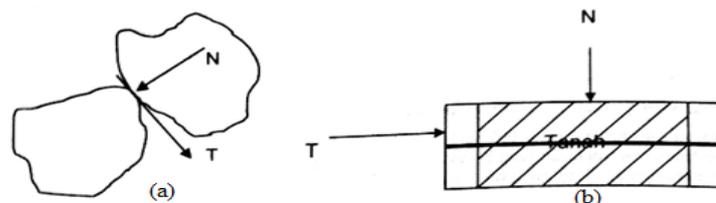
Perumusan dan teori tentang kekuatan geser tanah pertama kali dikembangkan oleh Coulomb pada tahun 1776. Besarnya kohesi tanah (c) dianggap konstan dan tidak tergantung dari besarnya tekanan luar yang bekerja, sedangkan nilai sudut geser-dalam tanah (ϕ) bervariasi tergantung dari besarnya tekanan normal yang bekerja pada permukaan geser.

Keruntuhan suatu material disebabkan oleh kombinasi kritis antara tekanan normal (σ_n) dan tekanan geser (τ). Menurut Mohr, keruntuhan (*failure*) tanah terjadi jika kombinasi tekanan normal dan geser maksimum yang menyebabkan keruntuhan dipresentasikan sebagai lingkaran yang kemudian dikenal dengan lingkaran Mohr (Das, 1988).

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar penelitian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada bidang geseran.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya.

Gaya yang terjadi di antara bidang kotak dua benda terdiri dari dua komponen, yaitu gaya normal (N) yang bekerja tegak lurus permukaan bidang kontak dan gaya tangensial (T) yang parallel dengan permukaan bidang sehingga kekuatan geser tanah dapat di idealisasikan seperti Gambar 3.2.

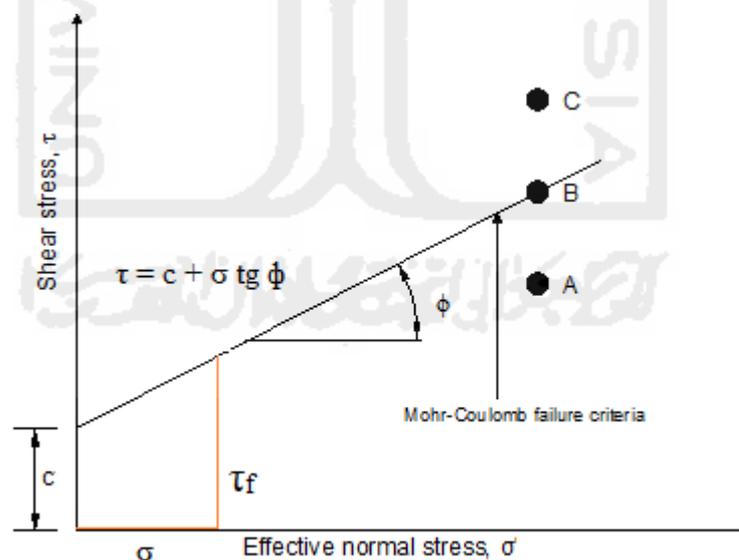


Gambar 3.2 Gaya yang Bekerja Pada Permukaan Dua Benda

Suatu benda yang menerima gaya tekan N dan geser T akan memberikan reaksi sebesar N' dan T' dengan arah yang berlawanan. Gaya reaksi yang timbul diasumsikan terdiri dari dua komponen, yaitu komponen gaya yang tidak tergantung gaya luar atau gravitasi dan komponen akibat kekasaran permukaan bidang kontak butiran yang berdekatan. Komponen reaksi tersebut diidealisasikan masing-masing sebagai benda yang tidak mempunyai berat dan komponen yang mempunyai berat

Besarnya reaksi gesek pada benda yang tidak mempunyai berat diakibatkan oleh adanya ikatan tarik-menarik yang terjadi diantara butiran tanah, sedangkan reaksi pada benda yang mempunyai berat secara umum dipengaruhi oleh koefisien gesek antara dua benda tersebut sehingga reaksi T' .

Dengan dasar penelitian, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh; kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada bidang geseran, dan gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal.



Gambar 3.3 Penjelasan Titik Keruntuhan

Gambar 3.3 diatas menjelaskan jika tegangan baru mencapai titik A, keruntuhan geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan-

tegangan mencapai titik B yang terletak pada garis selubung kegagalan. Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik C tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangan yang terjadi mencapai titik C, bahan sudah mengalami keruntuhan. Tegangan-tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori.

Perumusan tersebut dapat dinyatakan dalam satuan gaya persatuan luas dan kekuatan geser tanah pada saat akan terjadi keruntuhan τ_f (*failure*) dan dirumuskan oleh Mohr-Coulomb, dimana kekuatan geser tanah dipengaruhi oleh faktor internal yang terdiri dari kohesi (c) dan sudut geser-dalam (ϕ) serta faktor luar berupa tekanan normal yang bekerja pada bidang keruntuhan (σ'_n). faktor kohesi dan sudut geser dalam tersebut selanjutnya dinamakan parameter kekuatan geser tanah.

Bila tanah mengalami tekanan akibat pembebanan maka angka pori tanah akan berkurang. Selain itu, tekanan akibat beban juga dapat mengakibatkan perubahan-perubahan sifat mekanis tanah yang lain seperti menambah tahanan geser tanah. Jika tanah berada di dalam air, tanah dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas sebagai akibat tekanan air hidrostatik. Berat tanah yang terendam ini, disebut berat tanah efektif, sedang tegangan yang terjadi akibat berat tanah efektif di dalam tanah, disebut tegangan efektif. Tegangan efektif ini merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah.

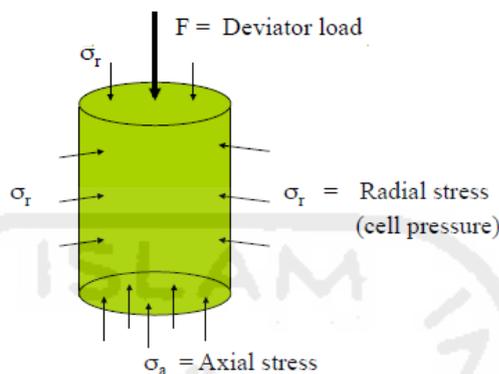
Kuat geser tanah dari benda uji yang diperiksa di laboratorium, biasanya dilakukan dengan besar beban yang ditentukan terlebih dulu dan dikerjakan dengan menggunakan tipe peralatan yang khusus. Beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah diantaranya ;

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

3.4.2 Pengujian Triaxial

Pengujian ini merupakan pengujian kekuatan geser yang sering digunakan dan cocok untuk semua jenis tanah. Keuntungannya adalah bahwa kondisi

pengaliran dapat dikontrol, tekanan air pori dapat diukur dan bila diperlukan, tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dapat dibuat terkonsolidasi, dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini,



Gambar 3.4 Tegangan pada Spesimen Triaxial

Dalam pengujian ini digunakan sebuah contoh berbentuk silinder dengan perbandingan panjang terhadap diameter sebesar 2:1. Sampel benda uji dibebani secara simetri aksial. Dasar alat yang berbentuk lingkaran memiliki sebuah alas untuk meletakkan contoh tanah. Alas tersebut memiliki sebuah lubang masuk yang digunakan untuk pengaliran air atau untuk pengukuran tekanan air pori. Sebuah silinder tembus pandang (*perpex cylinder*) yang ditutup oleh sebuah cincin dan penutup lingkaran atas merupakan badan dari inti alat tersebut.

Kenaikan suhu dan waktu pemanasan berbanding lurus terhadap nilai C_u tanah gambut. Ketika tanah dikeringkan, tegangan tarik muncul di dalam pori-pori. Tegangan ini naik dengan turunnya kadar air, sedangkan tegangan normal total pada suatu bagian tanah praktis tetap tidak berubah. Karena tegangan normal total setara dengan jumlah tegangan netral dan tegangan efektif, maka kenaikan tegangan di dalam pori-pori akan melibatkan kenaikan yang sama pada tekanan efektif. Bersamaan dengan naiknya tegangan dalam air pori sebagai akibat pengeringan, tegangan permukaan secara simultan menghasilkan tekanan efektif dari segala arah tekanan ini dikenal sebagai tekanan kapiler, tekanan ini menaikkan tahanan geser dari tanah tersebut.

Terzaghi (1923), memberikan prinsip tegangan efektif yang bekerja pada segumpal tanah. Prinsip ini hanya berlaku pada tanah yang jenuh sempurna. tegangan normal total (σ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan akibat berat tanah total termasuk air didalam ruang pori, persatuan luas, yang arahnya tegak lurus. Sedangkan Tekanan air pori (u), disebut juga dengan tekanan netral yang bekerja ke segala arah sama besar, yaitu tekanan air yang mengisi rongga di antara butiran padat. Tegangan normal efektif (σ') pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban berat butiran tanah per satuan luas bidangnya.

Hubungan dari ketiga tersebut disimpulkan bahwa tegangan efektif adalah jumlah dari tegangan efektif (σ') dan tekanan air pori (u). Tegangan effective (σ') berlaku untuk tanah padat. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, dinyatakan dalam ketentuan tegangan efektif pada Persamaan 3.4.

$$\tau = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.4)$$

Keterangan ;

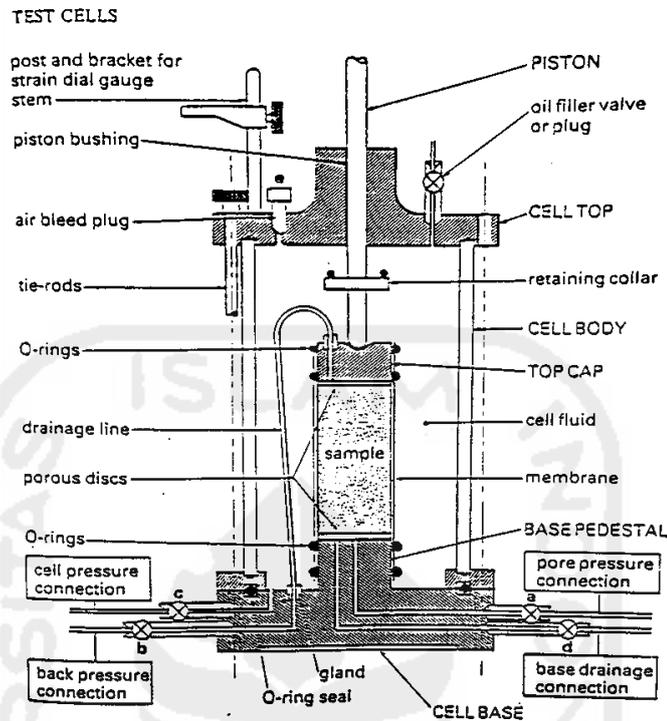
τ = kuat geser tanah

c = kohesi tanah

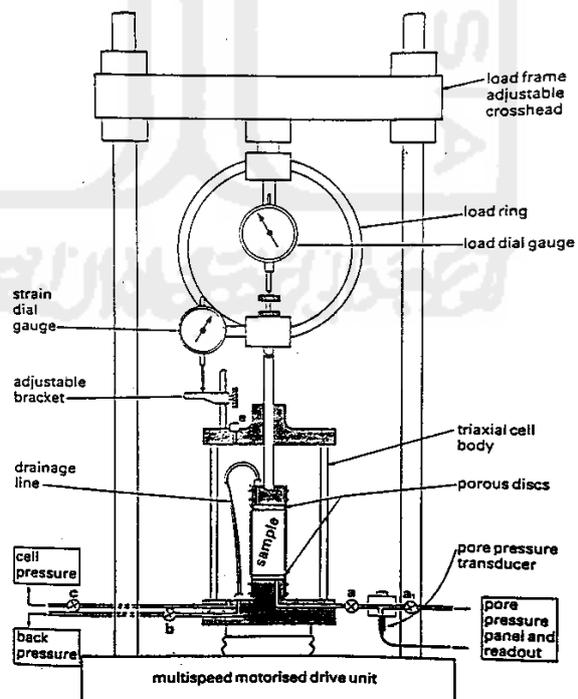
σ = tegangan normal pada bidang runtuh

φ = sudut geser dalam

Alasan untuk mendapatkan penambahan tegangan aksial yang sama terlepas dari tekanan keliling dapat dijelaskan sebagai berikut, jika spesimen tanah liat mengkonsolidasikan pada tekanan ruang σ_3 dan kemudian keruntuhan tanpa drainase, kondisi tegangan total pada keruntuhan dapat ditunjukkan oleh mohr dengan lingkaran P dalam Gambar 3.5. Lingkaran Q adalah tegangan efektif lingkaran mohr yang ditarik dari tegangan utama sebelumnya, dicatat bahwa diameter lingkaran P dan Q adalah sama. Persamaan (3.1) menghasilkan data untuk nilai-nilai c' dan φ' yang relatif lebih tepat dan tidak tergantung dari jenis pengujiannya



Gambar 3.7 Rincian Tentang Sel Triaksial
(Sumber: Head, 1986)



Gambar 3.8 Pengaturan Umum Alat Uji Triaksial Dalam Bingkai Pembebanan
(Sumber: Head, 1986)

Tegangan geser triaksial adalah salah satu metode yang paling dapat diandalkan untuk menentukan parameter kuat geser. Digunakan secara luas untuk penelitian dan pengujian konvensional. Spesimen tanah pada pengujian ini dengan diameter sekitar 36 mm (1.4in) dan panjang umumnya digunakan 76 mm (3in) terbungkus oleh membran karet tipis dan ditempatkan di dalam ruang silinder plastik yang biasanya diisi dengan air atau gliserin. Spesimen dikenakan tekanan keliling oleh kompresi cairan dalam ruang menyebabkan kegagalan geser dalam spesimen dan juga menerapkan tegangan aksial melalui ram beban vertikal (kadang-kadang disebut deviator stress). Tegangan ini dapat diterapkan di salah satu dari dua cara berikut ini:

1. Tekanan hidrolik dengan penambahan yang sama sampai spesimen gagal. (deformasi aksial dari spesimen yang dihasilkan dari beban diterapkan melalui ram diukur dengan dial).
2. Aplikasi deformasi aksial dengan laju yang konstan dengan cara diarahkan atau hidrolik memuat tekan, ini adalah tes ketegangan dikendalikan.

Pengujian ini merupakan pengujian sampel tanah dengan tiga dimensi tekanan. Pada pengujian ini disamping dapat diketahui tegangan geser (τ) juga diperoleh tegangan normal (σ). Kegunaan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai *cohesi* (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dari suatu sampel tanah, serta sifat-sifat elastik tanah seperti; modulus tegangan-regangan (modulus elastis), (E_s), modulus geser (G), dan nilai banding/angka poisson (μ). Pengukuran kekuatan geser dilakukan dengan memberikan tekanan vertikal pada sampel, dari proving ring dapat diketahui tekanan vertikal maksimum, yaitu pada waktu terjadi failure. Untuk Perhitungan selanjutnya, maka analisis data yang digunakan menggunakan persamaan 3.5 sampai 3.10.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (3.5)$$

$$\text{Luas Terkoreksi} = \frac{A_o}{1 - \varepsilon} \quad (3.6)$$

$$\text{Tegangan Deviator} = \frac{P}{A'} \quad (3.7)$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma \quad (3.8)$$

$$x = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (3.9)$$

$$r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3.10)$$

Keterangan :

ε = Regangan

$\Delta\sigma_1$ = Tegangan Deviator (kg/cm^2)

σ_1 = Tekanan utama mayor

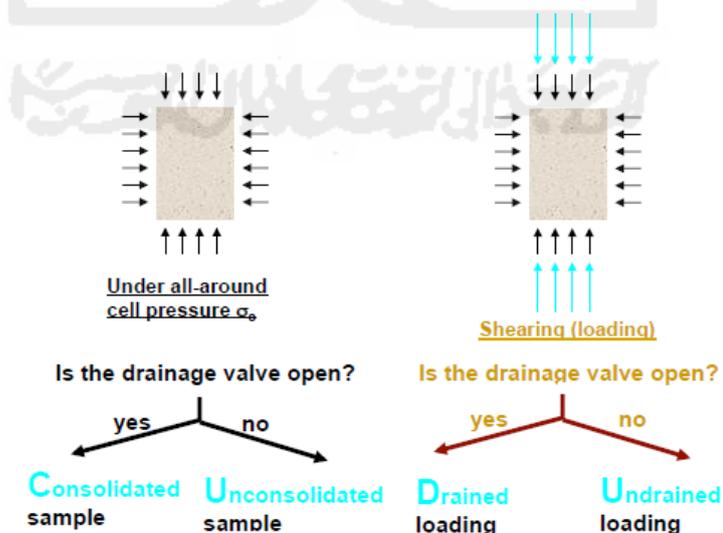
σ_3 = Tekanan utama minor

$\Delta\sigma$ = Tekanan Deviator

x = Absis (pusat lingkaran)

r = Jari-jari lingkaran

Koneksi untuk mengukur drainase ke dalam atau keluar dari spesimen, atau untuk mengukur tekanan di air pori (sesuai kondisi pengujian) dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut,



Gambar 3.9 Skema Penentuan Tipe pada Uji Triaxial

Tiga jenis tipe standar tes triaksial umumnya dilakukan:

1. *Consolidated-drained test or drained test (CD test)*

Pada uji triaksial tipe CD, mula-mula tegangan sel tertentu diterapkan pada benda uji dengan katup drainase terbuka sampai konsolidasi selesai. Kemudian, dengan katup drainase terbuka, tegangan deviator diterapkan dengan kecepatan yang rendah sampai benda uji runtuh. Kecepatan pembebanan yang rendah dimaksudkan agar dapat menjamin tekanan air pori nol selama proses penggeseran. Pada kondisi ini seluruh tegangan selama proses pengujian ditahan oleh gesekan antar butiran tanahnya.

2. *Consolidated-undrained test (CU test)*

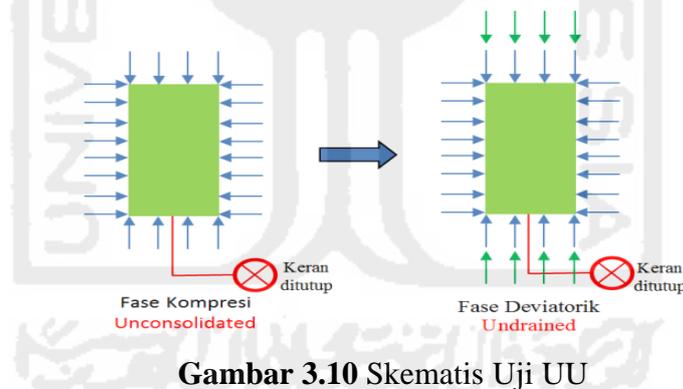
Pada uji dengan tipe CU atau *Consolidated quick test* (uji konsolidasi cepat), benda uji mula-mula dibebani dengan tegangan sel tertentu dengan mengizinkan air mengalir keluar sampai konsolidasi selesai. Tegangan deviator kemudian diterapkan dengan katup drainase dalam keadaan tertutup sampai benda uji mengalami keruntuhan. Karena katup drainase tertutup, volume tidak akan berubah selama penggeseran. Pada pengujian dengan cara ini, akan terjadi kelebihan tekanan air pori dalam benda uji, Pengukuran tekanan air pori dapat dilakukan selama pengujian berlangsung. Pengujian ini lebih cepat dari tipe CD dengan hasil yang didapat c' dan ϕ' .

3. *Unconsolidated-undrained test or undrained test (UU test)*

Pada uji triaksial *Unconsolidated-Undrained (UU)* atau *quick-test* benda uji mula-mula dibebani dengan penerapan tegangan sel (tegangan keliling), kemudian dibebanin dengan beban normal, melalui penerapan tegangan deviator ($\Delta\sigma$) sampai mencapai keruntuhan. Pada penerapan tegangan deviator selama penggeseran, air tidak diizinkan keluar dari benda uji. Jadi selama pengujian, katup drainase ditutup. Karena pada pengujian air tak diizinkan mengalir keluar, beban normal tidak ditransferkan ke butiran tanahnya. Keadaan tekanan pori (*excess pore pressure*) dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanah.

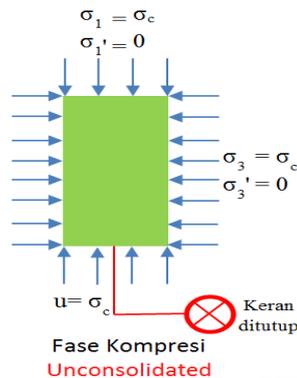
Pada penelitian ini, digunakan pengujian triaxial dengan kondisi *Uncosolidated-undrained* (UU). Pengujian dengan kondisi *unconsolidated-undrained*, drainase dari spesimen tanah tidak diizinkan selama penerapan tekanan ruang. Spesimen uji ditunjukkan oleh kegagalan dari penerapan deviator stress ($\Delta\sigma_d$) dan dicegahnya drainase. Karena drainase tidak diperbolehkan pada setiap tahap, pengujian dapat dilakukan dengan cepat. Penerapan tekanan ruang keliling, tekanan air pori dalam spesimen tanah akan meningkat. Peningkatan lebih lanjut dalam tekanan air pori akan terjadi karena aplikasi deviator stress.

Untuk uji UU, baik pada fase kompresi maupun pada fase deviatorik keran ditutup, artinya tidak ada air yang keluar dari sampel benda uji. Selama benda uji tidak diperbolehkannya keluar, benda uji tidak mengalami perubahan volume sama sekali karena air diasumsikan *incompressible*. Tidak berubahnya perubahan volume bukan berarti sama artinya dengan tidak berubah bentuk, karena setelah diuji benda uji mengalami keruntuhan sehingga membuat benda uji lebih mampat. Skematis uji UU dapat dilihat pada Gambar 3.10.



1. Fase kompresi (Unconsolidated)

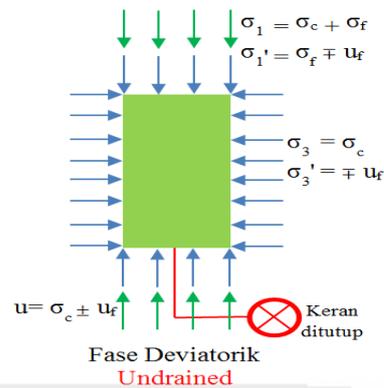
Pada fase ini, benda uji diberi tekanan sel $\Delta\sigma_c$ secara bertahap hingga mencapai tegangan kekangan yang diharapkan σ_c . Tegangan dari sel triaxial seluruhnya akan ditahan oleh tegangan air pori dari tanah dikarenakan keran yang ditutup. Diakhir fase komprese pada Gambar 3.11, kita akan memperoleh nilai tegangan yaitu tegangan total, tegangan air pori dan tegangan efektif.



Gambar 3.11 Uji UU-Tegangan diakhir fase kompresi

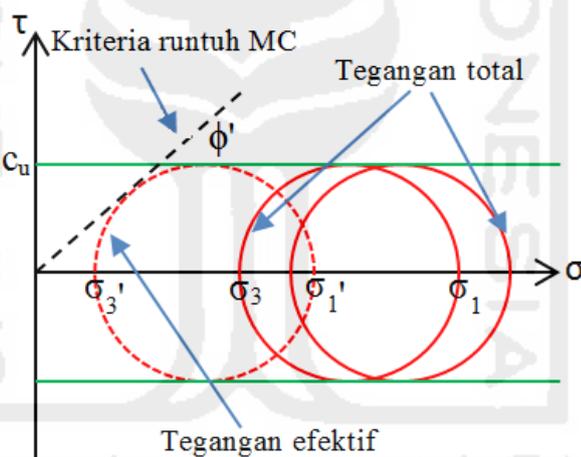
2. Fase deviatorik (*undrained*)

Pada fase ini, pelat dibagian atas dan bawah benda uji akan menekan beda uji dengan tegangan aksial menghasilkan tegangan deviatorik pada benda uji. Saat proses pemberian tegangan aksial (yang tentunya menghasilkan tegangan deviatorik), maka terjadi penambahan atau pengurangan tegangan air pori $\pm uf$. Bersamaan dengan proses ini, akan terjadi penambahan tegangan efektif tanah akibat proses *shearing* pada fase *undrained*. Bila tanah tersaturasi sempurna, maka besarnya penambahan tegangan efektif tanah ini akan selalu sama tidak peduli berapapun besarnya tegangan kompresi pada fase *unconsolidated* ini adalah hal yang sangat logis, karena pada fase kompresi dan fase deviatorik disini tidak ada perubahan angka pori/porositas dari benda uji, sehingga pada uji *Unconsolidated Undrained*, benda uji memiliki nilai tegangan efektif yang sama untuk variasi tegangan kompresi yang berbeda. Hasil tipikal dari pengukuran tegangan deviatorik selama pembebanan deviatorik dapat dilihat pada Gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.12 Uji UU-Tegangan pada fase deviatorik (disaat rupture)

Hasil uji UU pada bidang tegangan Mohr didapat nilai cohesi, sudut geser tanah dan sudut geser efektif tanah dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Diagram Mohr Uji UU

3.3 PONDASI

3.3.1 Pengertian Pondasi

Pondasi adalah bagian struktur paling bawah dari sebuah bangunan yang tertanam kuat di dalam tanah dan memiliki fungsi sebagai penopang agar gedung dapat berdiri kokoh. Terdapat dua macam pondasi yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal digunakan bila bangunan yang berada di atasnya tidak terlalu besar, biasanya pondasi dangkal digunakan untuk rumah sederhana

namun pondasi dangkal juga dapat dipakai untuk bangunan umum lainnya asalkan berada di atas tanah yang keras dengan daya dukung tanah yang baik.

Ada beberapa persyaratan dasar pondasi pertama memiliki faktor keamanan (2 atau 3) agar aman terhadap kemungkinan keruntuhan geser, kedua bila terjadi penurunan pondasi (*settlement*), maka penurunan tersebut harus masih berada dalam batasbatas toleransi dan ketiga *differential settlement* (penurunan sebagian) tidak boleh menyebabkan kerusakan serius atau mempengaruhi struktur bangunan.

3.3.2 Pondasi Dangkal

Menurut Terzaghi (1943), suatu pondasi dangkal ditentukan dari kedalaman yaitu $Df/B \leq 1$. Perancangan pondasi harus mempertimbangkan adanya keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk itu, perlu dipenuhi dua kriteria, yaitu kriteria stabilitas dan kriteria penurunan. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam perancangan pondasi adalah (hardiyatmo, 2006);

1. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah harus dipenuhi. Faktor aman (SF) yang bisa digunakan untuk perencanaan adalah 3
2. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Terutama pada kasus penurunan tak seragam.

Jenis-jenis pondasi dangkal antara lain Pondasi Setempat, Pondasi Kombinasi, Pondasi Jalur dan Pondasi Mat (Pondasi Rakit). Pondasi telapak merupakan pondasi yang berdiri sendiri untuk mendukung kolom. Pondasi ini berupa tiang yang bersambung dengan kolom dan sebuah plat dibawahnya yang fungsinya untuk menyalurkan beban struktur ke tanah. Pondasi ini banyak dipakai kerana ekonomis dan dinilai efektif untuk menahan beban struktur hingga dua lantai. Pondasi telapak termasuk pondasi dangkal karena perbandingan kedalaman dan lebar pondasinya ($Df/B \leq 1$) (hardiyatmo 2006).

3.3.3 Kapasitas Daya Dukung Terzaghi

Lapisan tanah terdiri dari yang agak lunak atau kurang padat, karena desakan pondasi bangunan pada tanah, maka akan tampak adanya penurunan yang besar

sebelum terjadi keruntuhan pada keseimbangan tanah di bawah pondasi. Kondisi ini disebut “*local shear failure*”. Untuk kondisi ini rumus daya dukung tanah Terzaghi harus diberi reduksi pada kohesinya, *local shear failure* (c') = 2/3 c .

Pada penelitian ini digunakan keruntuhan General Shear dan jenis pondasi tapak dengan dimensi Lingkaran. Rumus Kapasitas daya dukung (Terzaghi) yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 3.11 dan rumus mencari q_{all} pada Persamaan 3.12.

$$q_{ult} (\text{lingkaran}) = 1,3.c.N_c + q.N_q + 0,3.\gamma.B.N_\gamma \quad (3.11)$$

$$q_u = \frac{q_{ult}}{SF} \quad (3.12)$$

Keterangan ;

q_{ult} = kapasitas dukung ultimit

c = kohesi tanah

γ = berat volume tanah yang dipertimbangkan terhadap posisi muka air tanah

N_c, N_q, N_γ = fungsi yang tergantung dari sudut geser dalam, dan merupakan koefisien-koefisien daya dukung

B = lebar atau diameter pondasi (m)

SF = faktor keamanan

q_u = daya dukung ijin

3.4 METODE ELEMEN HINGGA PROGRAM PLAXIS

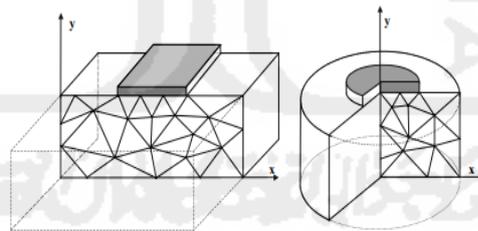
3.4.1 Pengertian

Plaxis adalah program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua-dimensi yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara axi-simetri. 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 sistem operasi Windows.

Jenis perilaku material dalam program Plaxis ini bertujuan untuk menyatakan respon tanah dalam kondisi tegangan efektif, yaitu hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada butir-butir tanah. Hal penting dalam tanah adalah keberadaan air pori. Plaxis menyediakan tiga buah jenis perilaku untuk setiap model tanah yaitu perilaku terdrainase, perilaku tak terdrainase dan perilaku tidak porous.

Pada parameter model yang dapat kita gunakan adalah *plane strain* dan *axisymmetry*. Pada *plane strain* ini digunakan untuk geometri dengan potongan melintang dengan tanah yang seragam pada kondisi dimana skema pembebanan yang telah disamakan untuk posisi arah tegak lurus terhadap potongan yang melintang (sumbu z). Dimana *displacement* dan tegangan arah (z) yang diasumsikan dengan bernilai 0. Pada model *axisymmetry* ini digunakan untuk sirkular dengan potongan seragam, radial dimana deformasi dan tegangan diasumsikan sama di semua radial. Permodelan axisimetri sumbu (x) merepresentasikan radius dan sumbu (y) disamakan dengan sumbu simetri pada aksial permodelan. Contoh permodelan *Plane-Strain* dan *Axisymmetry* terlihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Contoh Permodelan *Plane-Strain* dan *Axisymmetry*
(Sumber: Brinkgreve, 2007)

Pada permodelan tanah dimodelkan sebagai elemen triangular dua dimensi dengan memiliki hanya dua derajat kebebasan pernodal. Pada setiap elemen tanah didefinisikan oleh 15 buah nodal geometri, dimana dipilihlah 15 nodal untuk setiap elemen agar dapat memperoleh perhitungan yang lebih akurat dan akan lebih rumit dalam menyelesaikannya (Brinkgreve, 2007).

Adapun tiga komponen utama model geometri pada Plaxis yaitu:

1. titik

titik-titik akan menjadi awal dan akhir dari garis. Titik-titik juga dapat digunakan untuk menempatkan jangkar, beban terpusat, jenis perletakan dan untuk penghlusan jaringan elemen secara lokal atau setempat.

2. garis

garis-garis berfungsi untuk mendefinisikan batas fisik dari suatu geometri, perbatasan model dan diskontinuitas yang mungkin terdapat dalam model seperti dinding atau pelat, batas dari lapisan tanah yang berbeda atau batas dari tahapan-tahapan konstruksi. Sebuah garis dapat memiliki beberapa fungsi dan sifat yang berbeda.

3. klaster

klaster merupakan suatu bidang yang dibatasi oleh beberapa garis dan membentuk suatu poligon tertutup. Plaxis secara otomatis akan mengenali klaster berdasarkan posisi dari garis-garis geometri yang dibuat. Dalam setiap klaster sifat tanah adalah homogen, sehingga klaster dapat dianggap sebagai bagian-bagian yang membentuk lapisan-lapisan tanah.

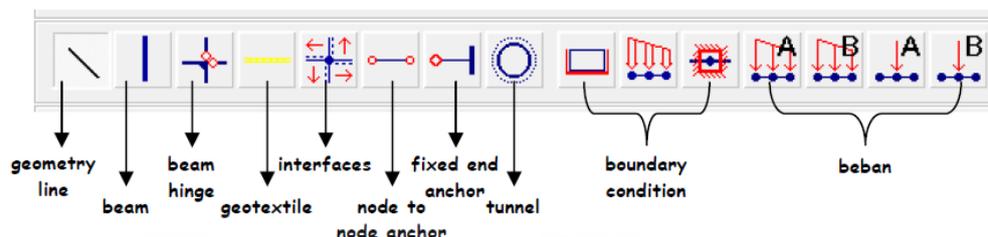
3.4.2 Pemodelan dengan *Software* Plaxis

Langkah-langkah pemodelan yang dilakukan akan menemukan beberapa tahapan diantaranya,

1. Geometry Modeling

Analisis dengan metode Elemen Hingga dimulai dengan pembuatan model geometri. Toolbars model geometri dapat dilihat pada gambar 3.15 dan pembuatannya meliputi:

- a. pemodelan topografi, kontur, penampang, dan geometri
- b. pemodelan stratigrafi tanah
- c. pemodelan struktur (pondasi tiang, dinding penahan tanah, dsb)
- d. pemodelan fase konstruksi
- e. pemodelan beban

f. pemodelan *boundary condition*

Gambar 3.15 Toolbar untuk pembuatan model geometri

2. Material Properties

a. Soil and interfaces

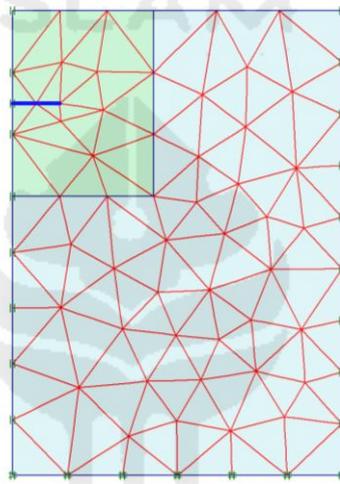
Material properties diinput untuk properties tanah dan struktur. Inputnya dilakukan dengan menggunakan pilihan material data sets yang terdiri atas *Soil and interface*, *beams*, *geotextiles* dan *anchors*. Material model digunakan untuk mensimulasi model tanah berdasarkan karakteristik regangan-regangan. Terdapat lima tipe material model yaitu *linier elastic*, *mohr Coulomb*, *hardening soil*, *soft soil* dan *Soft Soil Creep*. Dari beberapa model tersebut dalam penyelesaian tugas akhir, model yang digunakan adalah *Model Linier Elastic* dan *Model Mohr Coulomb*. *Model Linier Elastic* ini meliputi dua buah parameter kekakuan, yaitu *modulus young* (E), dan angka *poisson* (ν), model ini terutama digunakan pada struktur yang kaku dalam tanah yaitu pondasi. Model *Mohr Coulomb* adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima buah parameter yaitu, E dan ν untuk memodelkan elastis tanah, ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah. Model *Mohr Coulomb* ini disarankan untuk digunakan dalam analisis pendekatan awal terhadap perilaku tanah secara umum.

b. *Material Type*, digunakan untuk mensimulasikan interaksi air tanah. Terdapat tiga perilaku yaitu *drained behaviour*, *undrained behavior*, dan *non porous behaviour*. Digunakan material tipe *drained behaviour*, model ini mensimulasikan kondisi dimana tidak terjadi *excess pore pressure*.

Contohnya pada kasus tanah kering (*dry soil*) dan *full drainage* karena permeabilitas yang tinggi (pasir) atau kecepatan pembebanan yang rendah.

3. Mesh Generation

Mesh dibentuk secara otomatis oleh plaxis. Jumlah mesh dapat ditentukan melalui option *global coarsenes*. Semakin halus *mesh*, perhitungan akan semakin akurat tetapi akan membutuhkan memori yang lebih besar. Gambar 3.16 memperlihatkan tampilan *mesh coarse*.



Gambar 3.16 Mesh Coarse