

**PENGARUH TEKANAN AIR PORI
TERHADAP TEGANGAN REGANGAN
PADA TANAH ELASTOPLASTIS**

(KARYA ILMIAH)

**Disusun Oleh:
Ir.Kamaluddin Lubis.MT**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2011**

Diterima : 27/4 - 2011

26 April 2011



PENGARUH TEKANAN AIR PORI TERHADAP TEGANGAN REGANGAN PADA TANAH ELASTOPLASTIS

(KARYA ILMIAH)

**Disusun Oleh:
Ir.Kamaluddin Lubis.MT**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2011**

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, atas rahmad dan karuniaNya yang telah banyak memberikan pemikiran dan waktu sehingga penulisan Buku ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada seluruh rekan-rekan yang telah banyak memberikan masukan berupa pemikiran atas selesainya buku ini.

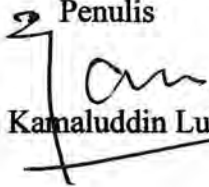
Tanah lempung umumnya mempunyai sifat elastis dan elastoplastis disebabkan oleh terjadinya perubahan dari tekanan volume maupun tekanan geser yang akan mengakibatkan tanah mengalami penyusutan dan pengembangan

Buku ini adalah merupakan salah satu penulisan yang mengkaji tentang Pengaruh Tekanan Air Pori Terhadap Tegangan Regangan Pada Tanah Elastoplastis disamping dari pada itu penulis menyadari bahwa ini masih jauh dari kesempurnaan oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat positif sangat diharapkan demi kesempurnaannya.

Semoga Buku ini dapat bermanfaat, berguna bagi setiap pembaca maupun staf pengajar di Perguruan Tinggi ,khususnya bagi dosen selanjutnya, dan dapat menjembatani didalam meningkatkan mutu pendidikan tinggi guna mencerdaskan pendidikan anak bangsa, dan negara pada umumnya

Medan, 26 April 2011

Penulis


Ir. Kamaluddin Lubis, MT

ABSTRAK

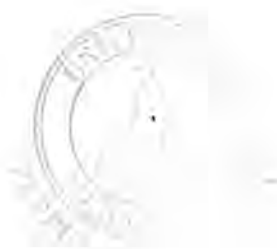
Tegangan regangan didalam massa tanah dapat disebabkan oleh beban yang bekerja dipermukaan maupun beban oleh beban akibat berat sendiri tanah. dapat diartikan tegangan adalah sebagai gaya yang bekerja persatuan luas dari tanah tersebut, sedangkan regangan adalah hasil dari perbandingan antara pengurangan volume terhadap volume awalnya akibat adanya tegangan yang bekerja. Hubungan antara tegangan regangan untuk keadaan elastis hal ini terjadi pada regangan yang sangat kecil dan tanah dapat kembali ke bentuk semula diberikan tegangan.

Pada hubungan *plastis* tanah tidak dapat kembali ke bentuk semula dan nilai tegangan tetap untuk setiap penambahan nilai regangan. Tanah lempung umumnya mempunyai sifat *elastis* dan *elastoplastis* disebabkan oleh terjadinya perubahan dari tekanan volume maupun tekanan geser yang akan mengakibatkan tanah mengalami penyusutan dan pengembangan .

Adanya perbedaan antara hasil laboratorium dengan hasil model menunjukkan kesensitipan parameter-parameter tanah yang digunakan pada model yang dihasilkan dari laboratorium yaitu : parameter kemiringan garis puncak (M) yang apabila ditambah atau dikurangkan nilainya akan merubah bentuk grafik.

Hasil prediksi pada hubungan *regangan axial* terhadap, *deviator stress* terlihat untuk sample terkonsolidasi normal pada (CD-600) akan lebih baik apabila parameter $M = 1.46$ diturunkan menjadi $M = 1.36$, ini dibuktikan dengan hasil prediksi mendekati 38%, sehingga didapat (selisih tinggi jarak antara tes dan prediksi rata-rata 49.1072), demikian juga pada kondisi *undrained* (sample CU-600) terlihat selisih antara test dan prediksi adalah 73.88456, nilai parameter menjadi naik sehingga hasil test mendekati prediksi dengan selisih jarak 41.93039 dan grafik prediksi naik sebesar 43 % .

Kata Kunci: Tanah elastoplastis, tanah plastis, elastis



DAFTAR ISI

ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR GRAFIK	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR NOTASI	

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang	
1.2 Maksud Dan Tujuan	
1.3 Permasalahan	
1.4 Batasan Masalah	
1.6 Metode penulisan	

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum	
2.2 Pembahasan Prilaku Tegangan Regangan Akibat Tekanan Air Pori .	
2.2.1 Keruntuhan Geser Pada Tanah Jenuh Air	
2.2.2 Uji Geser Langsung	
2.2.3 Uji Geser Langsung Kondisi Air Teralirkan (drained) Pada.Pasir	

dan Lempung Jenuh Air	
3.1.5 Parameter-Parameter Tanah	
3.1.5.1 Penentuan Parameter Model	
3.1.6 Langkah-Langkah Penentuan Model Elastoplastis	

BAB IV ANALISA DATA DAN DISKUSI

4.1 Test Traksial Tanah Lempung.....	
4.1.1 Test Teraliri (drained) Sampel Konsolidasi Normal	
4.1.2 Ciri-Ciri Tegangan-Regangan	
4.1.3 Ciri-Ciri Regangan Volume-Regangan Axial	
4.2 Tes Tidak Teraliri (Undrained) Pada Sampel Terkonsolidasi Normal (Normal consolidated)	
4.2.1 Ciri-Ciri Tegangan –Regangan	
4.2.2 Perubahan Tekanan Air Pori Pada Setiap Regangan	
4.3 Pemodelan Tanah Elasto Plastis Pada Tanah Lempung Menggunakan Metode <i>Critical State Soil Model CSSM</i>	
4.3.1 Grafik Perilaku Karakteristik Tanah Terkonsolidasi Normal pada Kondisi <i>Darined</i> Terhadap Hasil Model dan Hasil Uji Test Triaksial.	
4.3.2 Grafik Karakteristik Perilaku Tanah Terkonsolidasi Normal pada Kondisi Undrained dengan Hasil Uji Test Triaksial	
4.4. Analisa Diskusi Hasil Prediksi terhadap Test Laboratorium pada Tanah Terkonsolidasi Normal pads Kondisi (<i>Drained</i>) dan	

(Undrained).

4.4.1. Grafik Kondisi Teraliri (*Drained*) untuk Sample (CD-600)

Normal Konsolidasi (*Normal Consolidated*).....

4.4.2. Grafik Kondisi Teraliri (*Undrained*) untuk Sample (CD-600)

Normal Konsolidasi (*Normal Consolidated*) untuk

$M^* = 1.26$ & $M^* = 1.76$

BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Alat Uji Geser Langsung Dengan Cara Regangan Terkendali (Strain Controlled)

Gambar 2.2. Hasil Uji Geser Langsung Kondisi Drained Pada Sebuah Tanah Lempung Overconsolidated

Gambar 2.3. Garis Keruntuhan Tanah Lempung Yang Didapat Dari Uji Geser Langsung Kondisi Drained

Gambar 2.4 Uji Triaksial Kondisi Consolidated-Drained

a. Benda Uji Dalam Kondisi Menerima Tekanan Penyekat (Tekanan Sel)

b Pemberian Tegangan Deviator

Gambar 2.5 Uji Triaksial Kondisi Consolidated-Drained

a Perubahan Benda Uji Dari Benda Uji Akibat Tegangan Penyekat Sel

b Diagram Tegangan Deviator Lawan Regangan Arah Vertical Untuk Tanah Pasir Regangan (Lepas) Dan Untuk Tanah Lempung Terkonsolidasi Normal

Gambar 2.6. Uji Triaksial Kondisi Consolidated-Drained

a Perubahan Volume Dari Pasir Regang Dan Lempung Terkonsolidasi Normal Selama Pembeban Tegangan Deviator

b Diagram Deviator Lawan Regangan Arah Vertical Untuk Pasir Padat Dan Tanah Lempung Terkonsolidasi Lebih

c Perubahan Volume Dari Pasir Padat Dan Lempung Terkonsolidasi Lebih Tegangan Deviator

Gambar 2.7. Variasi Dari $\sin \phi$ Terhadap Indeks Plastic Dari Sejumlah Tanah

Gambar 2.8. Uji Consolidated-Drained

a Benda Uji Dalam Kondisi Tegangan Penyekat Sel

b Perubahan Volume Dari Benda Uji Akibat Tegangan Penyekap

Gambar 2.9. Uji Consolidated-Drained

a Pemberian Tegangan Deviator

b Tegangan Versus Tegangan Aksial

Gambar 2.10. Uji Consolidated-Drained

a Variasi Dari Tegangan Air Pori Dari Tanah Selama Terkena Tegangan Deviator Untuk Tanah – Tanah Pasir Dan Lempung Terkonsolidasi Normal

b Tegangan Deviator Versus Tegangan Aksial

c Variasi Tekanan Air Pori Akibat Pemberian Tegangan Deviator Pada Pasir Padat Dan Lempung Terkonsolidasi Lebih

Gambar 2.11. Lempung Terkonsolidasi Normal Dan Lempung Terkonsolidasi Lebih

Gambar 2.12. Konsep Dasar Tegangan Dan Regangan

Gambar 2.13. Kekuatan Material Rapuh

Gambar 2.14. Hubungan Tegangan Regangan

Gambar 2.15. Hubungan Tegangan Regangan Untuk Beberapa Keadaan

Gambar 2.16. Tegangan Efektif

Gambar 2.17. Tebal Lapisan Dan Tekanan Pori

Gambar 2.18. MIT Stress Path

Gambar 2.19. Cambridge Stress Path

Gambar 2.20. Regangan Volumetrik

Gambar 2.21. Uji Triaksial Konsolidasi Teraliri (Consolidated-Drained)

Gambar 3.1. System Pengujian Triaksial Dengan Mesin GDS

Gambar 3.2. Skematik Sistem Pengujian Triaksial GDS

Gambar 3.3. Sel Triaksial Hidraulik



DAFTAR GRAFIK

- Grafik 4.1. Hubungan Deviator Stress Terhadap Regangan Pada Tes Uji Teraliri (Drained)
- Grafik 4.2. Hubungan Regangan Volume Terhadap Regangan Aksial Pada, Test Uji Teraliri (Drained)
- Grafik 4.3. Hubungan Deviator Stress Terhadap Regangan Aksial Untuk Data Undrained Terkonsolidasi Normal
- Grafik 4.4. Hubungan Grafik Tekanan Air Pori Terhadap Regangan Aksial Pada Test Triaksial Tak Teraliri (Undrained) Terkonsolidasi Normal
- Grafik 4.5 Hubungan *Deviator Stress* Terhadap Regangan *Axial* Hasil Prediksi.
- Grafik 4.6 Hubungan *Deviator Stress* Terhadap Regangan *Axial* Hasil *Prediksi* Dan Hasil Test Triaksial
- Grafik 4.7 Hubungan Regangan Volume Terhadap Regangan Axial Hasil Prediksi
- Grafik 4.8. Hubungan Regangan volume terhadap Regangan Axial hasil prediksi dan hasil test triaksial.
- Grafik 4.9 Grafik Hubungan *Deviator Stress* Terhadap Regangan *Axial* Hasil Prediksi
- Grafik 4.10 Grafik Hubungan *Deviator Stress* Terhadap Regangan Axial Hasil Prediksi Dan Hasil Test Triaksial.
- Grafik 4.11 Hubungan Tekanan Air Pori Terhadap Regangan Axial Hasil Prediksi.
- Grafik 4.12 Grafik Hubungan Tekanan Air Pori Terhadap Regangan Axial Hasil Prediksi Dan Hasil Test
- Grafik 4.13 Hubungan *Deviator Stress* Terhadap Regangan Axis Pada Saat $M = 1.46$ (Drained)
- Grafik 4.14 Hubungan *Deviator Stress* Terhadap Regangan Axial

Pada Saat $M = 1.36$ (Drained)

Grafik 4.13 Hubungan *Deviator Stress* Terhadap Regangan Axis
Pada Saat $M = 1.46$ (Undrained)

Grafik 4.14 Hubungan *Deviator Stress* Terhadap Regangan Axial
Pada Saat $M = 1.36$ (Undrained)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.2. Parameter - Parameter Model

Tabel 3.1. Nilai Indeks Properties Sampel

Tabel 3.3. Data — Data Dari Hasil Test Triaksial

DAFTAR NOTASI

A	Luas Bidang
A'	Tegangan Yang Terjadi Di Titik A'
B	Parameter Tanah Pads Modulus Elastisitas
B'	Tegangan Yang Terjadi Di Titik B'
C	Tegangan Yang Terjadi Di Titik C
$d\epsilon^e_s$	Perubahan Regangan Axial Elastis
$d\epsilon^p_s$	Perubahan Regangan Axial Plastis
$d\epsilon^e_v$	Perubahan Regangan Volume Elastis
$d\epsilon^p_v$	Perubahan Regangan Volume Plastis
dQ	Gaya Plastik
du	Perubahan Tekanan Air Pori
dW	Perubahan Kerja
dW_s	Perubahan Kerja Geser
dW_v	Perubahan Kerja Volume
$d\zeta$	Scalar Positif. Perubahan Pengerasan
$d\lambda$	Scalar Positif Yang Bergantung Pads Tegangan Dan Beban
$d\Omega$	Perubahan Fungsi Pengembangan
\dot{E}	Modulus Elastisitas
e_{cs}	Angka Pori Kritis
e	Angka Pori

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan adanya gaya luar bekerja pada tanah, maka pada permulaan, air yang terdapat pada pori-pori memikul tekanan normal yang bekerja. Setelah air pori itu mengalir keluar, tekanan itu berangsur-angsur dipikul oleh butir-butir tanah. Seperti diketahui, tekanan yang dipikul air pori disebut tekanan air pori dan tekanan yang bekerja pada butir-butir disebut tekanan efektif. Tekanan air pori ditambah tekanan efektif disebut tekanan total.

Tegangan-regangan didalam massa tanah dapat disebabkan oleh beban yang bekerja dipermukaan maupun oleh beban akibat berat sendiri tanah. Maka dapat diartikan tegangan adalah sebagai gaya yang bekerja per satuan luas dari tanah tersebut sedangkan regangan adalah hasil dari perbandingan antara pengurangan volume terhadap volume awalnya akibat adanya tegangan yang bekerja.

Hubungan antara tegangan regangan untuk keadaan elastis, dan plastis dari material tanah. Hubungan tegangan regangan dalam keadaan elastis, hal ini teradi pada regangan yang sangat kecil dan tanah dapat kembali ke bentuk semula apabila diberikan tegangan. Pada hubungan plastis, tanah tidak dapat kembali ke bentuk semula dan nilai tegangan tetap untuk setiap pertambahan nilai regangan.

Tanah lempung umumnya mempunyai sifat elastis, plastis dan elastoplastis, dikarenakan terjadi perubahan dari tekanan volume maupun tekanan geser yang akan mengakibatkan tanah mengalami penyusutan dan pengembangan.

Salah satu masalah utama dalam ahli bidang geoteknik adalah menerangkan perubahan bentuk tanah apabila dikenakan tegangan. Ini biasanya dapat diterangkan dari data-data yang diperoleh dalam pengujian laboratorium. Apabila data telah diperoleh dari uji perilaku maka perubahan bentuk tersebut dapat dimodelkan untuk memprediksi bentuk perilaku tanah.

Menurut teori perilaku mekanika tanah dapat diungkapkan dalam bentuk variable tegangan-regangan, perubahan volume dan perubahan tekanan air pori, maka dari itu diperlukan suatu metoda untuk memprediksi perilaku tanah.

Tegangan-regangan didalam massa tanah dapat disebabkan oleh beban yang bekerja dipermukaan maupun oleh beban akibat berat sendiri tanah. Dalam menganalisa perilaku tanah maka diperlukan parameter-parameter yang dalam menentukan grafik tegangan-regangan.

Dalam memprediksi perilaku tanah *Critical State Soil Model* menggunakan data dari hasil test triaksial, yaitu suatu test dengan pembebanan yang hampir menyerupai keadaan yang sebenarnya dilapangan. Dari test ini kita akan mendapatkan parameter-parameter tanah yang banyak digunakan dalam ilmu mekanika tanah, seperti regangan pada saat tanah mengalami keruntuhan, sudut geser, poisson ratio, κ , factor scalar, pengerasan, pengembangan.

Berdasarkan penjelasan umum diatas dalam menganalisa dan memprediksi perilaku tanah normal konsolidasi dengan model elasto plastic berdasarkan konsep keadaan kritis. Dengan memasukkan parameter-parameter yang diperlukan , model ini dalam penggunaanya diharapkan hasilnya dapat mendekati dengan hasil pelaksanaan dilapangan. Semakin banyak percobaan yang dibuat, tentu saja hasil yang didapat akan semakin akurat.

Dalam test tak teraliri, perubahan volume tidak berlaku tetapi yang mempengaruhi adalah tekanan air pori. Tekanan air pori dalam kondisi ini berlaku disebabkan air ditahan keluar daripada sample yang menyebabkan naiknya tekanan air didalam pori-pori tanah. Perubahan tekanan air pori diukur pada setiap regangan axial yang ditampilkan pada grafik dan merupakan hasil tes triaksial uji laboratorium.

1.2 Maksud Dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini menentukan angka tegangan pada keadaan puncak, pengaruh tekanan air pori, dengan menentukan parameter-parameter yang diperlukan oleh model yang dihasilkan dari test laboratorium yang dilakukan pada jenis tanah elasto plastis.

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk menemukan hasil prediksi model elasto plastis untuk sebagai acuan seberapa besar nilai garis keadaan puncak atau tegangan pada keadaan puncak, pengaruh tekanan air pori terhadap tegangan regangan pada tanah elasto plastis yang akan digunakan.

1.3 Permasalahan.

Adapun yang menjadi permasalahan dalam penulisan ini adalah Peninjauan menggunakan hasil penelitian laboratorium dengan ketentuan sebagai berikut :

- Percobaan drained test dan undrained test dengan uji CTC (*Conventional Yriaxial Compression*) dengan tidak memperhitungkan waktu.
- Perilaku tanah yang diasumsikan adalah tanah yang bersifat homogen dan isotropic Berta terkonsolidasi normal
- Perilaku mekanika tanah diungkapkan dalam bentuk variable tegangan dan regangan yang menggunakan parameter-parameter seperti : sudut geser (θ), poison ratio (ν), kappa (I), factor scalar (k), pengerasan (E_{co}), pengembangan (A), kemiringan garis keadaan puncak atau tegangan pads keadaan puncak (M)
- Kekuatan tanah dapat digambarkan dengan kekuatan geser, tekanan air pori dan perubahan volume.
- Menentukan hasil model tegangan-regangan terhadap hasil test.

1.4 Pembatasan Masalah.

Dikarenakan permasalahan yang terlalu luas maka perlu dibatasi dengan ketentuan sebagai berikut :

- Percobaan drained test dan undrained test dengan uji CTC *Conventional Triaxial Compression*) dengan tidak memperhitungkan waktu dengan menggunakan sampel terkonsolidasi normal
- Sample yang digunakan adalah sample terkonsolidasi normal.
- Perilaku mekanika tanah diungkapkan dalam bentuk variable tegangan dan regangan yang menggunakan parameter-parameter seperti : sudut geser (ϕ), poisson ratio (ν), kappa (λ), faktor scalar (σ_c), pengerasan (E_c), pengembangan (A), kemiringan garis keadaan puncak atau tegangan pada keadaan puncak (M)
- Perilaku tanah yang diasumsikan adalah tanah yang bersifat homogen dan isotropic Berta terkonsolidasi normal.
- Kekuatan tanah dapat digambarkan dengan kekuatan geser, tekanan air pori dan perubahan volume.
- Menentukan hasil model tegangan-regangan terhadap, hasil test.

1.5 Metode Penulisan.

- 1 **Kajian Pustaka**, Metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah, merupakan studi kajian pustaka serta penelusuran literature beberapa buku yang berkaitan dengan ilmu mekanika tanah menggunakan asumsi-asumsi yang diperoleh yang mendukung, dan berhubungan dengan kajian tugas akhir
- 2 **Analisa Data**, yaitu mengalisis data dari beberapa kajian pustaka yang diperoleh dan dapat disajikan dalam bentuk kesimpulan penulisan tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Bila mana tanah berada dalam keadaan tidak jenuh, meskipun tanah itu tidak kohesif, maka sifat kohesif itu kadang-kadang dapat terlihat sebagai tegangan permukaan dari air yang terdapat dalam pori-pori. Jadi kekuatan geser tanah berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu. selanjutnya untuk mempelajari kekuatan geser tanah kohesif yang berada dalam keadaan jenuh, diperlukan suatu pengertian yang mendalam mengenai peranan yang mendalam dari tekanan air pori.

Jika gaya luar bekerja pada tanah jenuh, maka pada permulaan, air yang terdapat pada pori-pori memikul tekanan normal yang bekerja. Setelah air pori itu mengalir keluar, tekanan itu berangsur-angsur dipikul oleh butir-butir tanah. Seperti diketahui, tekanan yang dipikul air pori disebut tekanan air pori dan tekanan yang bekerja pada butir-butir disebut tekanan efektif. Tekanan air pori ditambah tekanan efektif disebut tekanan total.

Pada tanah kohesif, permeabilitas air adalah sangat kecil sehingga air pori sulit disingkirkan. Dengan demikian pada jenis tanah kohesif, diperlukan waktu yang lama untuk mencapai sampai beban luar yang bekerja itu bekerja sepenuhnya sebagai tegangan efektif. Tegangan efektif adalah gaya per satuan luas yang dipikul oleh butir-butir tanah.

Air yang terdapat dalam tanah, dapat dibedakan atas air absorpsi yakni air yang diabsorpsi oleh permukaan butir-butir tanah, air kapiler yakni air yang tertahan dalam pori oleh tegangan permukaan dan air gravitasi yakni air yang bergerak sepanjang pori oleh gaya gravitasi.

Dalam menggambarkan perilaku tanah, para ahli harus dapat menciptakan model umum yang dapat berlaku untuk semua jenis tanah dan dalam semua jenis keadaan. Tetapi hal itu sangatlah sukar walaupun sifat *elastoplastis* tanah dapat dipakai sebagai dasar utama, penciptaan model tersebut. Hal ini dikarenakan sifat karakteristik tanah yang beragam jenis. Untuk mengurangi kelemahan-kelemahan tersebut sekurang-kurangnya suatu pemodelan tanah harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- Formulasi matematis yang digunakan harus memberikan hasil hubungan tegangan regangan yang stabil.
- Persamaan konstitutif harus ditunjang oleh data-data *experimental* yang cukup.
- Formulasi matematis yang mengandung parameter-parameter tanah yang mudah didapat melalui test yang standart. Pemodelan tanah tidak terlepas dari hukum *konstitutif* yaitu model matematik yang menjelaskan sifat material tertentu untuk diaplikasikan kedalam pemecahan masalah yang cukup rumit secara *kuantitatif*.

Persamaan-persamaan yang memodelkan sifat material disebut persamaan konstitutif. Dimana hukum konstitutif mempelajari tentang teori *Elasto plastis*. Teori elastisitas mengasumsikan suatu material akan kembali ke bentuk awal

apabila pengaruh luar dihilangkan. Sementara, itu model plastis ialah apabila suatu material yang diberi beban kemudian beban tersebut dihilangkan, perubahan bentuk material tidak akan kembali pada bentuk semula (kondisi awal). Material yang mempunyai perilaku *elastis* digambarkan terhadap tegangan-regangan yang liner dengan suatu konstanta *elastis*.

Model *Elasto plastis* memperhitungkan sifat tanah yang tergantung pada *stress path*. Dalam model ini penambahan tegangan ditunjukkan sebagai fungsi dari penambahan *stress dan strain*. Model *Elasto plastis* dipakai untuk material yang mengalami *hardening dan softening*.

2.2 Prilaku Tegangan Regangan Akibat Tekanan Air Pori

Prilaku tegangan regangan akibat tekanan air pori dibahas dengan berbagai cara pandang seperti yang diuraikan di bawah ini

2.2.1 Keruntuhan Geser Pada Tanah Jenuh Air

Pada tanah jenuh air, besar tegangan normal total pada sebuah titik adalah sama dengan jumlah tegangan efektifnya ditambah dengan tegangan air pori, atau

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.1)$$

dimana:

σ = tegangan normal

σ' = tegangan efektif

u = tegangan air pori

2.2.2 Uji Geser Langsung

Ini adalah pengujian tertua dan dalam bentuk yang paling sederhana untuk suatu susunan uji geser. Uji geser ini dapat dilakukan dengan cara tegangan geser terkendali, dimana penambahan gaya geser dibuat konstan dan diatur, atau dengan cara tegangan terkendali dimana kecepatan geser yang diatur.

Pada uji tegangan terkendali (*stress-controlled*) tegangan geser diberikan dengan menambahkan beban secara bertahap, dan dengan penambahan yang sama besar setiap kali, sampai runtuh. Keruntuhan akan terjadi sepanjang bidang bagi dari kotak metal tersebut. Setelah melakukan penambahan beban, maka pergerakan geser pada belahan kotak sebelah atas diukur dengan menggunakan sebuah arloji ukur (*dial-gauge*) horizontal. Perubahan tebal sampel (tanah dengan demikian juga merupakan perubahan volume sampel tersebut) selama pengujian berlangsung dapat diukur dengan pertolongan sebuah arloji ukur lain yang mengukur perubahan gerak *arch vertical* dari pelat beban.

Pada uji regangan terkendali (*strain controlled*), suatu kecepatan gerak mendatar tertentu, dilakukan pada bagian belahan atas dari pergerakan geser horizontal tersebut, dapat diukur dengan bantuan sebuah arloji ukur horizontal. Besarnya gaya hambatan dari tanah yang bergeser dapat diukur dengan membaca angka-angka pada sebuah arloji ukur ditengah sebuah pengukur beban lingkaran (*proving ring*). Perubahan volume dari sampel tanah selama uji berlangsung diukur seperti uji tegangan terkendali.



Gambar 2.1 Alat Uji Geser Langsung Dengan Cara Regangan Terkendali (Strain Controlled)
 Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

Meskipun demikian uji tegangan terkendali lebih menyerupai keadaan sesungguhnya keruntuhan dilapangan dari pada uji regangan-terkendali. Pada pengujian tertentu, tegangan normal dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma = \text{tegangan normal} = \frac{\text{gaya normal}}{\text{luas penampang lintang sampel tanah}} \quad (2.2)$$

Tegangan geser yang melawan pergerakan geser dapat dihitung sebagai berikut:

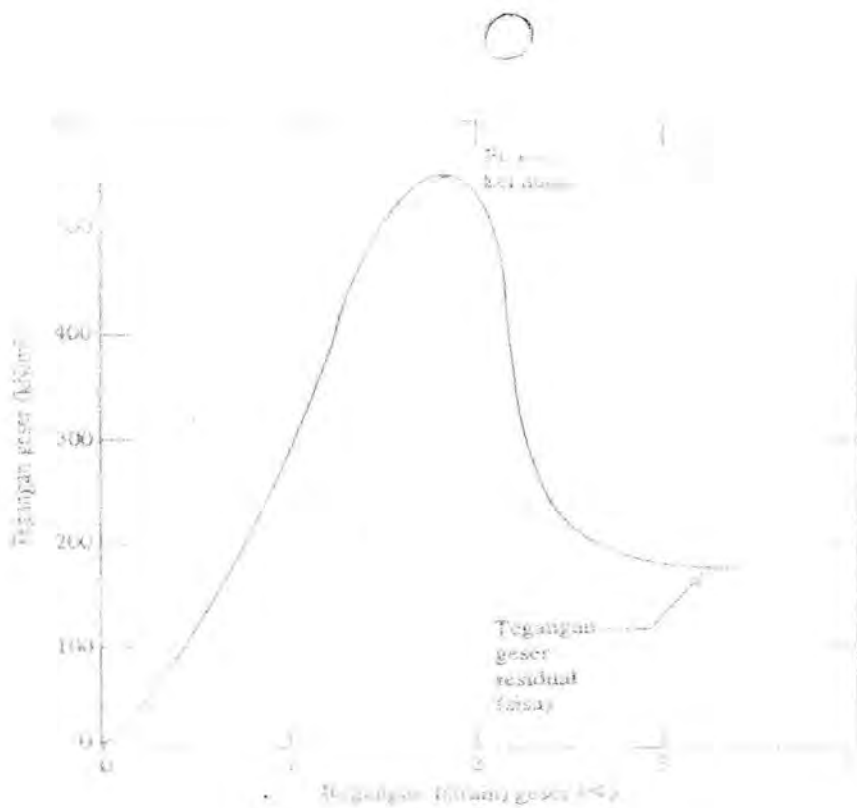
$$\tau = \text{tegangan geser} = \frac{\text{gaya geser yang melawan gerakan}}{\text{luas penampang lintang sampel tanah}} \quad (2.3)$$

2.2.3 Uji Geser Langsung Kondisi Air Teralirkan (*Drained*) Pada Pasir dan

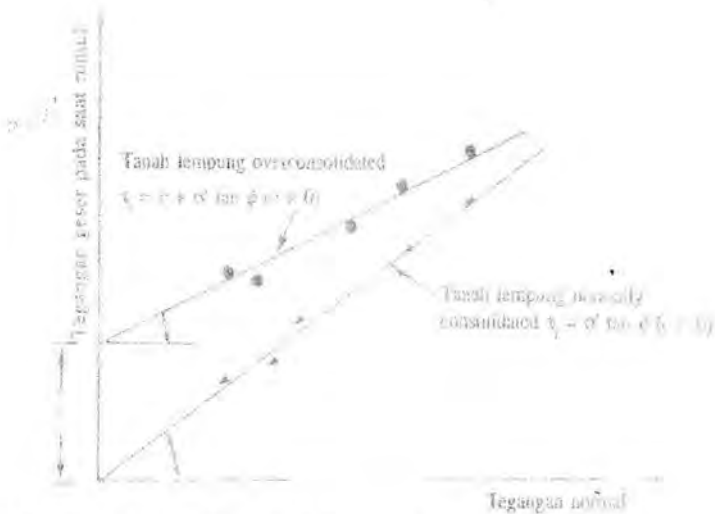
Lempung Jenuh Air

Uji kondisi air teralirkan (*drained*) dapat dilakukan pada suatu sampel tanah jenuh air asalkan kecepatan geser dibuat sangat perlahan sehingga tegangan air pori yang terjadi dalam sampel tanah dapat diabaikan karena air sempat mengalir keluar dari dalam pori-pori tanah tersebut. Air pori dari dalam sampel tanah akan mengalir keluar melalui dua bush batuan berpori-pori (*porous stone*).

Karena koefisien rembesan tanah relatif besar, maka tegangan air pori yang timbul akibat pembebanan (normal dan geser) dapat terdisipasi (berkurang akibat air pori dapat merembes keluar) dengan cepat. Jadi, untuk kecepatan geser yang normal (biasa), kita dapatkan kondisi pengaliran penuh (*full – drainage condition*) pada tanah pasir. Harga sudut geser 0 yang kita peroleh dari uji geser langsung pada pasir jenuh air sebagai akibatnya adalah sama dengan sudut geser sampel tanah tersebut pada saat kering. Selanjutnya terlihat dalam gambar 2,2 dan 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.2 Hasil uji geser langsung kondisi drained pada sebuah tanah lempung overconsolidated.
 Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)



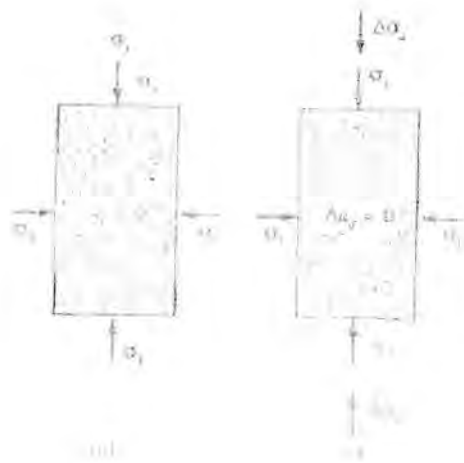
Gambar 2.3 Garis keruntuhan tanah lempung yang didapat dari uji geser langsung kondisi drained
 Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah 1994 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

2.2.4 Uji Air Teralirkan Terkonsolidasi (*consolidated – drained test*)

Pada pengujian ini, benda uji ditekan dari segala arah dengan tekanan penyekap (*confining pressure*) dengan cara memberikan tekanan pada cairan di dalam silinder. Setelah tekanan penyekap σ_3 dilakukan tegangan air pori dalam benda uji naik menjadi u , kenaikan tegangan air pori ini dapat dinyatakan dalam bentuk parameter tak-berdimensi. Seperti dalam gambar 2,4 dibawah ini

$$B = u_c$$

(2.4)



Gambar 2.4 Uji traksial kondisi consolidated- drained: (a) benda uji dalam kondisi menerima tekanan penyekap (tekanan sel), (b) pemberian tegangan deviator

Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)

Dengan $B =$ Parameter Tegangan Pori

Untuk tanah-tanah jenuh air, B sama dengan 1,0. Sekarang dengan pips aliran (*drainage*) tetap terbuka, akan terjadi disipasi akibat kelebihan tegangan air pori, dan kemudian terjadi konsolidasi. regangan pada pasir renggang dan pada tanah lempung yang terkonsolidasi normal, ditunjukkan hal yang serupa pada tanah pasir padat dan tanah lempung yang terkonsolidasi lebih.


Karena tegangan air pori yang terjadi selama uji dapat sepenuhnya terdisipasi, maka kita hasilkan

$$\text{Tegangan penyekap total dan efektif} = \sigma_3 = \sigma_3'$$

$$\text{Tegangan aksial total dan efektif} = \sigma_3 + (\Delta \sigma$$

Pada suatu uji traksial, σ_1' adalah tegangan efektif utama besar (major principal stress) pada saat terjadi keruntuhan dan σ_3' adalah tegangan efektif utama kecil (minor principal stress) pada saat terjadi keruntuhan. Selanjutnya Terlihat Dalam Gambar 2.5

Gambar 2.5 Uji traksial kondisi consolidated drained: (a) perubahan volume dari bends uji akibat tegangan penyekap sel. (b) diagram tegangan deviator lawan regangan arch vertica untuk tanah pasir renggang (lepas) dan untuk tanah lempung terkonsolidasi normal
Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)



Gambar 2.6 Uji triaksial kondisi consolidated drained: (c)perubahan volume dari pasir renggang dan lempung terkonsolidasi normal selama pembebanan tegangan deviator,(d)diagram tegangan deviator lawan regangan arah vertical untuk pasir padat dan tanah lempung terkonsolidasi lenih,(e)perubahan volume dari pasir padat dan lempung terkonsolidasi lebih tegangan deviator.

Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

2.2.5 Sudut Geser Kondisi Air Teralirkan (*Drained*) Tanah Lempung Terkonsolidasi Normal (*Normally Consolidated Clay*)

Sudut geser air teralirkan θ , umumnya mengecil sejalan dengan bertambahnya harga indeks plastic dari tanah. Keadaan ini terlihat pada gambar 2.8 sebagai hasil laporan dari Kenney (1959).

Untuk sejumlah tanah lempung. Meskipun titik data masih agak memencar, pola umum akan cenderung grafik kelihatannya memang benar demikian adanya. selanjutnya terlihat dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7 Variasi dari $\sin \phi$ terhadap indeks plastis dari sejumlah tanah (Kenney, 1959)

Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

2.2.6 Uji Air Termampatkan Terkonsolidasi (*Consolidated- Undrained Test*)

Uji air-termampatkan terkonsolidasi adalah tipe uji traksial yang paling umum digunakan. Pada uji ini, sampel tanah yang jenuh air mula-mula dikonsolidasi dengan tekanan penyekap (*confining pressure*) yang sama dari segala penjuru, dalam bejana berisi fluids. Adanya ini menyebabkan teradi pengaliran air dari dalam sampel tanah ke luar. Sesudah tegangan air pori akibat pemberian tekanan penyekap telah seluruhnya terdisipasi (yaitu bila $u = 0$), tegangan deviator D_a pada sampel tanah kemudian ditambah sampai

menyebabkan keruntuhan pada sampel tanah tersebut. Selama, berlangsungnya fase ini, hubungan drainase (pengaliran air) dari dan kedalam sampel tanah harus dibuat tertutup (drainase ini terbuka pada fase konsolidasi). Karena tidak mungkin terjadi pengaliran air, maka pada saat pembebanan $\Delta\sigma_d$ ini akan terjadi kenaikan tegangan air pori Δu_d , selama uji berlangsung diadakan pengukuran terus menerus terhadap $\Delta\sigma_d$ dan Δu_d , kenaikan tegangan air pori Δu_d ini dapat dinyatakan dalam besaran tak berdimensi yaitu $A =$ parameter tegangan air pori oleh Shemton (1954)

Pola umum variasi dari A_{cr_d} dan A_{u_d} dengan tegangan arah aksial untuk tanah pasir dan lempung dapat dilihat pada gambar 2.8d,e,f,dan g. pada tanah pasir lepas (renggang) dan tanah lempung terkonsolidasi normal, tegangan air pori akan membesar sejalan dengan bertambahnya regangan tadi. Pada tanah pasir padat dan tanah lempung terkonsolidasi lebih (*overconsolidated clay*), tegangan air pori akan membesar dengan bertambahnya regangan pada suatu batas tertentu. Kemudian setelah itu air pori menjadi negatif (relative terhadap tekanan atmosfer). hal ini karena tanahnya kemudian mengembang (*dilate*) jadi harga-harga tegangan utama dapat kita analisis sebagai berikut: pada gambar 2.8

Tegangan utama besar pada saat runtuh (tegangan total):

$$\sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = \sigma_1$$

Tegangan utama besar pada saat runtuh (tegangan efektif):

$$\sigma_1 + (\Delta u_d)_f = \sigma_1'$$

Tegangan utama kecil pada saat runtuh (tegangan total):

$$\sigma_3$$

Tegangan utama kecil pada saat runtuh (tegangan efektif):

$$\sigma_3 + (\Delta u_d)_f = \sigma_3'$$

dengan

$(\Delta u_d)_f$ = tegangan air pori pada saat runtuh



Gambar 2.8 Uji consolidated drained : (a) benda uji dalam kondisi terkena tegangan penyekap sel; (b) perubahan volume dari benda uji akibat tegangan penyekap

Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)

Gambar 2.9 Uji consolidated drained : (c) pemberian tegangan deviator; (d) tegangan deviator regangan aksial

Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip rekayasa geoteknis)



Gambar 2.10 Uji consolidated drained : (e) variasi dari tegangan air pori dari tanah selama terkena tegangan deviator untuk tanah-tanah pasir dan lempung terkonsolidasi normal ;(f) tegangan deviator versus regangan aksial; (g) variasi tekanan air pori akibat pemberian tegangan deviator pada pasir padat dan lempung terkonsolidasi lebih

Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

2.3 Tinjauan Perilaku Tegangan Regangan Tanah dengan Teori Model

Perilaku tegangan regangan tanah dengan teori model dikelompokkan menurut berbagai cara pandang seperti yang diuraikan dibawah ini.

2.3.1 Lempung Terkonsolidasi Normal Dan Lempung Terkonsolidasi

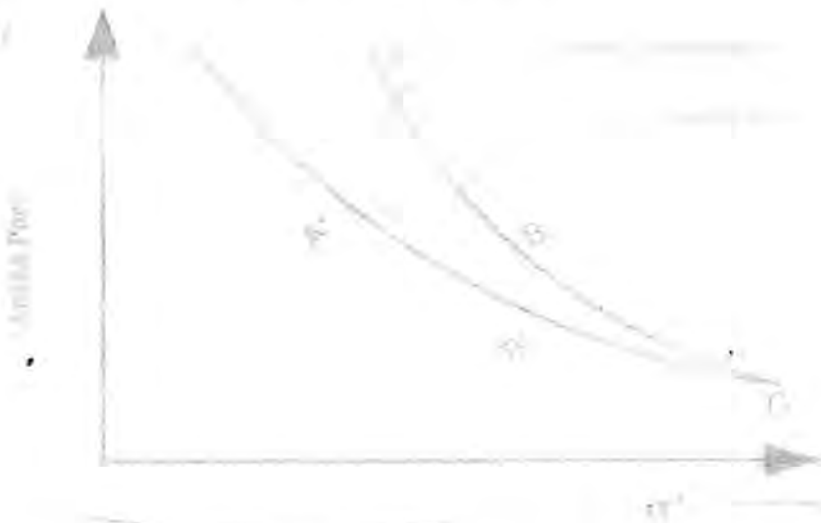
Berlebih

Disebut lempung terkonsolidasi normal (*normally consolidated clay*) jika tegangan *overbuden* yang dialami pada masa sekarang adalah sama dengan yang dialami pada masa lalu. hka tegangan *overbuden* yang dialami pada masa

sekarang lebih kecil dari yang pernah dialami pada, masa lalu, maka lempung tersebut lempung terkonsolidasi lebih (*over consolidated clay*).

Lempung mengalami konsolidasi berlebih dapat diakibatkan oleh beberapa hal diantaranya faktor-faktor geologi seperti erosi pada lapisan di atasnya, kenaikan muka air tanah dan sebagainya. Gambar 2.12 memperlihatkan salah satu contoh keadaan kedua lempung yang mengalami konsolidasi normal dan berlebih.

Tegangan yang terjadi pada titik C merupakan tegangan maksimum yang dialami lempung pada masa lalu atau disebut dengan *pre-consolidation stress* (p_c), sedangkan tegangan yang terjadi pada titik A' atau B' adalah tegangan yang dialami lempung pada masa sekarang atau *stress at over consolidated line* ($\sigma_{A'}$ atau σ_B) dan lebih kecil dari tegangan dititik C.



Gambar 2.11 Lempung terkonsolidasi normal dan lempung Terkonsolidasi lebih.

Sumber : J.H. Atkinson dan P.L.Bransby, Mekanika Tanah, Pengenalan Mekanika Tanah Peringkat tenting.

Perbandingan antara, *pre-consolidation stress* (p_c) dengan *stress at over consolidation line* disebut dengan *ratio konsolidasi berlebih* atau *overconsolidation ratio (OCR)*. Dengan demikian *OCR* pada lempung yang terkonsolidasi berlebih adalah p_c / p (*tekanan pra konsolidasi / tekanan efektif akibat lapisan tanah di atasnya*), dan lebih besar dari 1 sedangkan yang normal adalah sama dengan 1.

Suatu tanah dilapangan pada suatu kedalaman tertentu telah mengalami tekanan efektif maximum akibat berat tanah di atasnya (*maximum effective overburden pressure*) dalam sejarah geologisnya, sedangkan berkurangnya tekanan dilapangan mungkin disebabkan oleh proses yang dilakukan oleh proses geologi alamiah atau proses yang dilakukan oleh makhluk hidup (misalnya manusia dan binatang). Keadaan ini dapat dibuktikan dilaboratorium dengan cara membebani contoh tanah melebihi tekanan *overburden* maximumnya, lalu beban tersebut diangkat. (*unloading*) dan diberikan lagi (*reloading*).

Casagrande (1936) menyarankan suatu cara mudah untuk menentukan besarnya tekanan prakonsolidasi (P_c), dari grafik e versus $\log p$ yang digambarkan dari hasil percobaan konsolidasi dilaboratorium.

Overconsolidation ratio (OCR) untuk suatu tanah dapat didefinisikan sebagai:

$$OCR = P_c / P$$

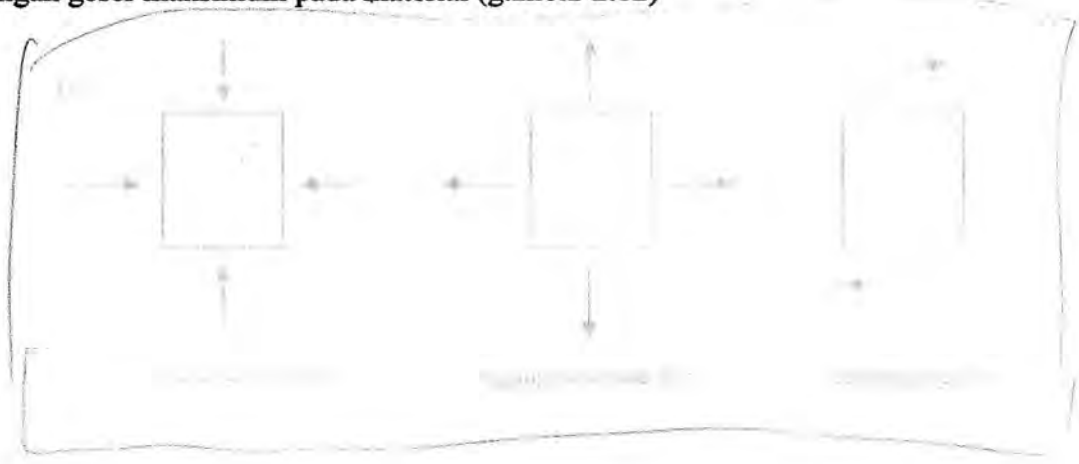
dimana :

P_c = tekanan praconsolidasi.

P = tekanan vertical efektif pada saat tanah itu diselidiki.

2.3.2. Konsep Dasar Tegangan dan Regangan

Kita dapat membedakan tiga keadaan tegangan yang dapat dialami oleh suatu material geologis, yaitu. desakan (*compression*) ^{gigitan} regangan, ^{tarik} dan tegangan geser. Pemampatan akan mengurangi volume dari material (misalnya tekanan hidrostatik), regangan di semua sisi akan melakukan kebalikannya dan menimbulkan celah-celah regangan, sedangkan tegangan geser akan memindahkan satu bagian dari material terhadap bagian yang lainnya. Dalam keadaan tegangan umum dari suatu volume material geologis terdapat perbedaan tegangan sehingga karenanya selalu ada tegangan geser ke berbagai arah dengan tegangan geser maksimum pada material (gambar 2.12)





Gambar 2.12 Konsep Dasar Tegangan Dan Regangan.
 Sumber : Drs.P.N.W.Verhoef (1994),geologi untuk tehnik sipil

Kekuatan suatu material dapat didefinisikan sebagai perbedaan tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh material menjelang terjadinya kehancuran dan keluluhan, sehingga akan timbul suatu kehilangan tahanan yang besar terhadap tegangan regangan (gambar 2.13)



Gambar 2.13 Kekuatan material rapuh dapat kita definisikan sebagai tegangan, dalam hal mana terjadi kehancuran. Kekuatan sebuah material plastis kita definisikan sebagai tegangan, dalam hal mana terjadi pelelehan.

Sumber : Drs.P.N.W.Verhoef (1994),geologi untuk tehnik sipil

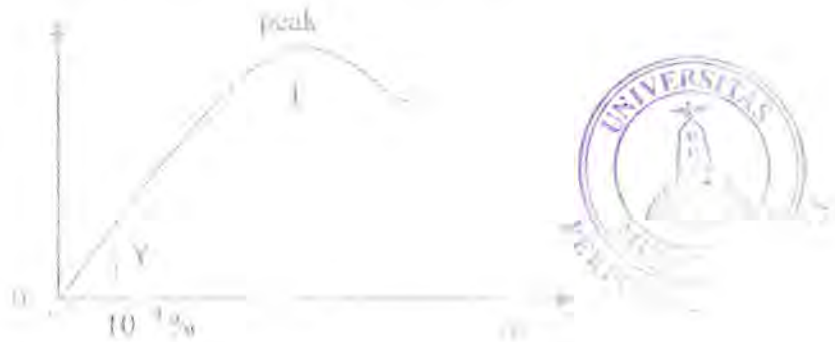
Apabila suatu material padat dikenakan tegangan eksternal, maka material tersebut akan mengalami deformasi (perubahan bentuk). Deformasi dapat translasi + rotasi komponen (untuk menentukan perubahan posisi dalam ruang) dan suatu komponen perubahan bentuk. Dalam mekanika batuan, yang dibahas hanyalah perubahan bentuk yang dialami oleh material, yaitu perubahan bentuk dan/ atau volume dari material yang disebabkan oleh tegangan yang dikenakan. Cara perubahan bentuk dari material, perilaku deformasi, tergantung dari sifat-sifat mekanis yang dimiliki material yang bersangkutan dibawah berbagai kondisi fisik yang dikenakan (tegangan, kecepatan deformasi, tekanan hidrostatik, temperatur). Melalui beberapa uji deformasi, kita dapat menentukan perilaku deformasi dari material geologis yang padat.

2.3.3 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan

Berdasarkan percobaan-percobaan yang telah dilakukan para ahli dilaboratorium, bentuk hubungan tegangan regangan adalah non linier (*Gambar 2.14*). Untuk regangan yang sangat kecil (10^{-4} %) hubungan tersebut adalah linier (Bowles, 1987)

Pada daerah *OY*, pada keadaan tersebut, tanah mempunyai sifat *elastis* (dapat kembali ke bentuk semula). Setelah melewati titik *Y* hingga mencapai titik *F* tanah bersifat *plastis* (tidak dapat kembali ke bentuk semula) dan terjadi pengerasan regangan (*strain hardening*). Titik *Y* disebut titik leleh (*yield point*) dan titik *F* disebut titik runtuh (*peak*). Keruntuhan akan terjadi apabila kuat

geser dari tanah tersebut terlampaui. Kemudian, setelah melewati titik F tanah biasanya mengalami pelemahan regangan (*strain softening*).



Gambar 2.14 Hubungan tegangan dan regangan
Sumber : Bradja M.Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

Hubungan antara tegangan regangan untuk keadaan elastis, elastis-plastis, dan plastis dari material tanah diperlihatkan pada (*Gambar 2.15*). Hubungan tegangan regangan dalam keadaan elastis, hal ini tedadi pads regangan yang sangat kecil dan tanah dapat kembali ke bentuk semula. Pada tanah dalam keadaan *elastis-plastis* dan *plastis*, dalam hal ini tanah setelah melewati batas *elastis* tidak dapat kembali ke bentuk semula. *Yield* dan kenmtuhan terjadi pads tegangan yang sama. Pada hubungan plastis, tanah tidak dapat kembali ke bentuk semula dan nilai tegangan tetap untuk setiap pertambahan nilai regangan. terlihat dalam gambar 2.15 dibawah

Gambar 2.15 Hubungan tegangan regangan untuk beberapa keadaan

Sumber : J.H. Atkinson, Bradja M. Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

2.3.4. Tegangan Efektif

Konsep tegangan efektif (Terzaghi, 1923) mengemukakan pengetahuan tentang pengaruh gaya-gaya dari partikel ke partikel dalam satu kerangka tanah.

Konsep ini hanya berlaku pada tanah jenuh sempurna.

Tegangan-tegangan yang berhubungan dengan prinsip tersebut adalah

1. Tegangan normal total (σ), yaitu gaya per satuan luas dalam arah normal bidang. Tanah dianggap adalah material padat (*fase tunggal*).
2. Tekanan air pori (u), tekanan yang diberikan oleh air yang ada dalam rongga (*pori*) pada partikel-partikel tanah.
3. Tegangan normal efektif (σ'), pada bidang mewakili tegangan yang dijajarkan melalui kerangka tanah.

Hubungan ketiga gambar diatas adalah

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.5)$$



Gambar 2.16: Tegangan efektif

Sumber : Bradja M. Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

Prinsip tersebut dapat diwakili oleh *model fisis* sebagai berikut. Tinjaulah sebuah bidang $i-i$ pada suatu tanah jenuh sempurna yang melewati titik-titik singgung antar partikel, seperti terlihat pada Gambar 2.17. Bidang $i-i$ yang bergelombang tersebut dalam skala besar sama dengan bentuk bidang sebenarnya karena ukuran partikel tanah relatif kecil. Sebuah gaya normal P yang bekerja pada bidang A sebagian dipikul oleh gaya-gaya antar partikel, dan sebagian lagi dipikul oleh tekanan air pori. Gaya-gaya antar partikel pada seluruh tanah, baik besar maupun arahnya sangat tidak beraturan (acak), tetapi pada tiap-tiap titik singgung dengan bidang yang bergelombang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen gaya yang arahnya normal dan tangensial terhadap bidang $i-i$ yang sebenarnya.

Komponen normal dinyatakan dengan N' dan komponen tangensial, dengan T . Tegangan normal efektif diinterpretasikan sebagai jumlah seluruh komponen N' dalam luas A , dibagi dengan luas A menjadi :

$$\sigma' = \frac{\sum N'}{A} \quad (2.6)$$

Tegangan normal total adalah :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.7)$$

Jika diantara partikel-partikel diasumsikan terdapat titik singgung, maka tekanan air pori akan bekerja pada bidang seluas A. Kemudian agar dapat tercapai keseimbangan pada arah normal terhadap i-i

$$P = \sum N' + uA \quad (2.8)$$

$$\text{Atau : } \frac{P}{A} = \frac{\sum N'}{A} + u$$

$$\text{Jadi : } \sigma = \sigma' + u$$

Pada (Gambar 2.16) ditunjukkan tegangan total dan tekanan pori yang terjadi pada suatu elemen di dalam suatu lapisan tanah.

Gambar 2.17 : Tebal lapisan dan tekanan pori
 Sumber : Bradja M. Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

Tegangan total pada Gambar 2.17

$$\sigma = h_1 \cdot \gamma + h_2 \cdot \gamma_{sat}$$

$$u = h_2 \cdot \gamma_w$$

Dengan demikian tegangan efektif yang terjadi : dimana $\sigma = G$ adalah berat isi tanah

2.3.5. *Stress Path* (Lintasan Tegangan)

Ketika tanah mengalami pembebanan, maka setiap elemen dari tanah mengalami perubahan bentuk dan tegangan. *Stress path* dapat menggambarkan secara menerus perubahan tanah selama pembebanan sampai tanah mengalami keruntuhan. Ada dua macam *stress path* yang biasa dipakai, yaitu *Massachusetts Institute of Technology (MIT) stress path* dan *Cambridge stress path*. MIT *stress path* dikembangkan oleh Prof. T.W.Lambe (1964).

Titik tegangan yang digunakan adalah yang menyatakan tegangan geser maksimum pada setiap kondisi, yaitu pada titik paling atas pada setiap lingkaran Mohr. Oleh karena itu *stress path* adalah hubungan dari titik-titik yang mempunyai tegangan geser maksimum dari setiap variasi bentuk tegangan. Dalam bentuk tegangan total hal itu dapat diperlihatkan (*Gambar 2.18*) dan *stress path-nya* adalah garis *AE*.

Gambar 2.18: MIT Stress path
 Sumber : Bradja M. Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

Pada *MIT stress path*, sumbu horizontal adalah titik paling atas dari setiap lingkaran Mohr, yaitu $\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$ dan sumbu vertical adalah sama dengan jari-jari lingkaran yaitu $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$. Karena itu parameter (*s*) dan (*t*) yang digunakan untuk menggambarkan *MIT stress path* dinyatakan sebagai :

$$S = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$$t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2.10)$$

dan dalam bentuk tegangan efektif :

$$S = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \quad (2.11)$$

$$t = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \quad (2.12)$$

nilai t adalah sama dengan nilai t' karena tegangan deviator tidak dipengaruhi oleh tekanan pori.

Cambridge stress path dikembangkan oleh Roscoe, Scholfield, dan Wroth (1958), dan Atkinson-Bransby (1978) di Universitas, Cambridge. Mereka mengembangkan penggunaan tegangan antara σ_2 pada tegangan efektif utama. Jadi terdapat tiga tegangan utama yaitu σ_1 , σ_2 dan σ_3 . Metode penggambaran ini terkenal dengan *Cambridge stress path* (Gambar 2.18). Parameter P' dan q' yang berhubungan dengan tegangan efektif dinyatakan sebagai :

$$P' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3}{3} \quad (2.13)$$

$$q' = \sigma'_1 - \sigma'_3 = \sigma'_1 - \sigma'_3 \quad (2.14)$$

Pada percobaan triaxial, kedua tegangan horizontal adalah sama ($\sigma_2 = \sigma_3$), dengan demikian parameter p' menjadi :

$$P' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3} \quad (2.15)$$

dan dalam bentuk tegangan total :

$$P = \frac{\sigma_1 + 2\sigma_3}{3} \quad (2.16)$$

Gambar 2.19: Cambridge Stress Path
Sumber : J.H.Atkinson dan P.L. Bransby, Mekanika Tanah.

2.3.6. Regangan Volumetrik

Selain tegangan efektif, regangan volumetric juga memainkan peranan penting dalam meneliti perilaku tanah. Gambar 2.20 memperlihatkan perubahan volume pada sample tanah.

Jika volume V dari suatu elemen pada tanah berkurang sebesar δV sebagai hasil' dari perubahan tegangan efektif, maka perubahan regangan volumetric dinyatakan sebagai :

$$\delta \epsilon_v = \frac{\delta v}{v} \quad (2.17)$$

Gambar 2.20: Regangan Volumetrik.

Sumber : Bradja M. Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

Volume tanah jenuh air terdiri dari volume partikel tanah V_s dan volume air V_w . Jika butiran tanah dan air pori sebagai incompressible maka volume dari elemen tanah hanya dapat berubah jika air keluar dari porinya, jadi

$$\delta V = \delta V_w \quad (2.18)$$

dimana. δV adalah pengurangan volume dari elemen tanah, dan. δV_w adalah volume air yang dikeluarkan.

Void ratio didefinisikan sebagai $e = V_w/V_s$, dan butiran tanah diasumsikan *incompressible*, sehingga $\delta V_s = 0$

$$\delta e = \frac{\delta V_w}{V_s} \quad (2.19)$$

$$\delta V = V_s \delta e \quad (2.20)$$

dan dari pers (2.17)

$$\delta\varepsilon_v = \frac{\delta v}{V_s} = \frac{V_s \cdot \delta e}{V_s + V_w} \quad (2.21)$$

$$= \frac{\delta e}{1 + e}$$

Untuk fully saturated diketahui $e = w \cdot G_s$, sehingga

$$\delta e = G_s \cdot \delta w \quad (2.22)$$

$$\delta\varepsilon_v = \frac{\delta w}{1/G_s + w} \quad (2.23)$$

Spesific volume adalah volume tanah dimana $V_s = 1$, sehingga didapat $V = 1 + e$. Dan percobaan tegangan efektif akibat δv dinyatakan

$$\delta v = \delta e \quad (2.25)$$

$$\delta\varepsilon_v = \frac{\delta e}{1 + e} = \frac{\delta v}{v} \quad (2.26)$$

2.3.7 Critical State Parameter

Tiga parameter, p' , q dan V , digambarkan sebagai tingkat contoh sebuah tanah selama test triaksial. Parameter-parameter tersebut didefinisikan :

$$p' = \frac{\sigma'_a + 2\sigma'_r}{3} = \frac{\sigma'_a + 2\sigma'_r}{3} - u. \quad (2.27)$$

$$q = \sigma'_a - \sigma'_r = \sigma'_a - \sigma'_r$$

V adalah volume secara spesifik, volume tanah berisi unit dari material tanah. ($V = 1 + e$; e = rongga pori.)

p' sering disebut pengaruh tekanan normal efektif, dan q' tekanan menyimpang (deviator stress). Kemajuan sebuah contoh tanah selama sekali test

triaxial dapat diwakili oleh sebuah serf penilaian penggambaran sebuah garis dalam sebuah ruang tiga dimensi yaitu $p', \Gamma, M, N, \kappa, V$ dan q .

Perbedaan tipe test/percobaan (*drained, undrained, compression*). Dimulai pada, test yang berbeda pada ruang (p', V, q), tanah (CSS) mekanik memberikan kits sejumlah aturan untuk test perhitungan pada "ruang (p', V, q)" : biasanya, dua, dari (p', V, q) ditentukan tipe test dan sebuah prosedur sederhana untuk ketiga. Empat parameter tanah yang konstan : M, F, κ dan X , parameter ini digambarkan sebagai fundamental tanah. Parameter didefinisikan dalam syarat ketujuh yang disebutkan, sebagai contoh rasio tekanan $\eta = \frac{q}{p'}$

Kecocokan pada parameter tekanan p' dan q adalah parameter regangan Volume (*volumetric strain*) dan regangan geser (*deviator strain*).

$$V = \varepsilon_a + 2\varepsilon_r \tag{2.29}$$

$$\varepsilon = 2/3 (\varepsilon_a + \varepsilon_r) \tag{2.30}$$

V dan ε digambarkan tegangan dari mulai tes : kita akan sering menggunakan simbol δV dan $\delta \varepsilon$ (untuk parameter tegangan) dimana

$$\delta V = \delta \varepsilon_a + 2\delta \varepsilon_r \tag{2.31}$$

$$\delta \varepsilon = 2/3 (\delta \varepsilon_a + \delta \varepsilon_r) \tag{2.30}$$

2.3.8 Regangan (*Strains*)

Total Volumetrik adalah jumlah dari volume elastis dan volume plastis

$$V = V^e + V^p \quad (2.35)$$

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p \quad (2.36)$$

Persamaan perubahan volume dan perubahan tegangan

$$\delta_v = \delta V^e + \delta V^p \quad (2.37)$$

$$\delta_\varepsilon = \delta \varepsilon^e + \delta \varepsilon^p \quad (2.38)$$

Gambar 2.21 hanya menunjukkan awal dan akhirnya. Sejak nilai P' pada kegagalan diketahui, nilai V dan ditemukan pada Gambar (2.20), jika regangan volume gagal dapat dihitung sebagai $(V-V_0)/V_0$.

Gambar. 2.21 Uji Triaksial konsolidasi teraliri (*consolidated–drained*)

Sumber : Bradja M. Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)

Untuk tanah yang jenuh air, parameter tegangan air pori (B) (Skemton, 1945)

Dimana $B = 1,0$. Sekarang bila hubungan dengan pipa aliran (drainage) tetap terbuka, akan terjadi disipasi akibat kelebihan tegangan air pori, dan kemudian terjadi konsolidasi. Lama kelamaan, tegangan air pori (u_c) mengecil menjadi nol. Pada tanah-tanah yang jenuh air, perubahan volume dari benda uji yang terjadi selama proses konsolidasi dapat ditentukan dari besarnya volume air pori yang mengalir keluar. Beban tegangan deviator pada benda uji ditambahkan dengan lambat sekali (kecepatan penambahan beban sangat kecil) seperti terlihat pada gambar 2.22. (a). Selama pengujian ini, pipa aliran air dibiarkan tetap terbuka dengan demikian penambahan beban deviator yang sangat perlahan-lahan tersebut memungkinkan terjadinya disipasi penuh dari tegangan air pori sehingga dapat diciptakan $\Delta u_d = 0$ selama pengujian.

Sebuah contoh yang umum dari variasi tegangan deviator terhadap penambahan regangan pada tanah pasir renggang dan pada tanah lempung yang terkonsolidasi normal ditunjukkan pada gambar 2.21. (b) menunjukkan hal yang serupa untuk pasir padat dan tanah lempung terkonsolidasi lebih. Perubahan volume benda uji yang terjadi selama pemberian beban tegangan deviator untuk beberapa macam jenis tanah diberikan pada gambar 2.21. (c dan d).

BAB III

PENENTUAN MODEL

3.1. Tinjauan Hasil Uji Laboratorium Triaksial.

Hasil pengujian triaksial yang diperoleh dari percobaan *CU (Consolidasi Undaraine)* dan *CD (Consolidasi Draine)* di laboratorium Untuk memperoleh parameter-parameter dengan perhitungan model elasto plastis dan model *Critical State Soil Model (CSSM)*.

Test utama dilakukan dengan pengujian mesin triaksial GDS (*Geotechnical Digital System*), yaitu mesin yang diubah sesuai dengan alai triaksial system lama. Uji triaksial untuk tegangan normal yang dikenakan dalam tiga arch terpenting terhadap spesimen tanah selinder. Oleh karena spesimen tanah adalah berbentuk selinder maka uji triaksial yang dikaji adalah tegangan simetri ($\sigma_2 = \sigma_3$). Rados triaksial secara umum dapat digunakan untuk mengkaji perubahan kelakuan geser dan perubahan bentuk tanah. Selain itu pengujian yang dilakukan bertujuan untuk menentukan kalibrasi dan memeriksa parameter-parameter model yang digunakan.

3.1.1. Sampel Tanah

Sampel tanah yang dipergunakan adalah tanah lempung terkonsolidasi normal (*normal consolidated*) dengan kondisi teraliri (*drained*) dan kondisi tak teraliri (*undrained*). Dalam hal ini tanah dilakukan pemadatan dan pengujian triaksial tanah terganggu dengan kandungan air optimum.

Bentuk dari pemadatan tanah bergantung pada tata cara uji terhadap kaedah pemadatan, ukuran *spesimen* tanah dan tenaga pemadatan.

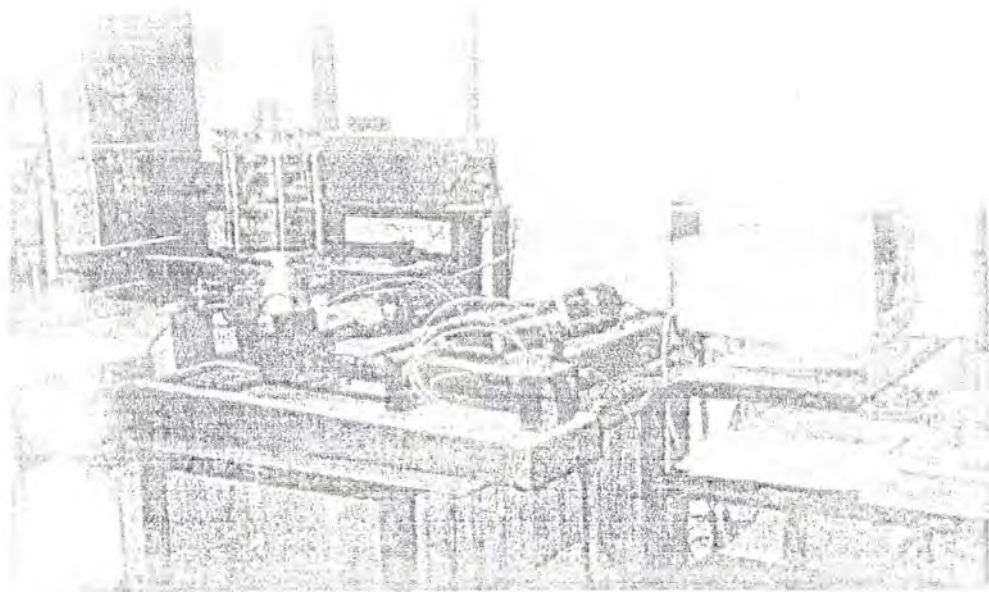
3.1.2. Kondisi Percobaan

Percobaan laboratorium untuk sample terkonsolidasi lebih pada tegangan sel efektif, 100 Kpa, 200 Kpa, 300 Kpa, 400 Kpa, 500 Kpa, dan 600 Kpa dalam keadaan *drained* dan *undrained* dengan tekanan balik (*back pressure*).

3.1.3 Peralatan Triaxial Tanah Lempung

Pengujian triaxial pada tanah jenuh menggunakan mesin GDS (*Geotechnical Digital System*). Mesin GDS yang digunakan terdiri dari beberapa bagian yaitu

1. Pengontrol tekanan-volume digital
2. Pengontrol computer
3. Perolehan data
4. Sel triaxial hidrolik



Gambar 3.1. Sistem Pengujian triaxial dengan mesin GDS
Sumber : Silalahi, M.S.A, 2000, Shear Strenght Prediction of Residual Soil by Triaxial Test.



Gambar 3.2. Skematik Sefistem Pengujian triaxial mesin GDS
Sumber : Silalahi, M.S.A, 2000, Shear Strenght Prediction of Residual Soil by Triaxial Test.



Gambar 3.3. Sel Triaxial Hidraulik
Sumber : Silalahi, M.S.A, 2000, Shear Strength Prediction of Residual Soil by Triaxial Test.

3.1.4 Indeks Propertis.

Dalam penentuan perilaku tanah digunakan nilai indeks properties sample terhadap parameter-parameter seperti dalam table 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 Nilai Indeks Properties Sampel

Parameter Tanah	Simbol	Nilai
Berat Jenis	Gs	2.62
Berat kering maksimum	γ_d	1402.1 kg/cm ³
Kandungan air optimum	W	26.6 %
Batas cair	LL	68 %
Batas plastis	Pl,	33 %
Indeks plastis	PI	35 %
Berat susut	SL	14 %

Sumber : Data dari Laboratorium. M.K.Hossain,1999

3.1.5. Parameter - Parameter Tanah

Kondisi pengujian tanah adalah terkonsolidasi lebih dimana σ_3 geser $\approx \sigma_3$ konsolidasi. Adapun parameter-parameter tanah untuk model ini diketahui dari data hasil uji laboratorium. Data-data tersebut dapat dilihat pada table 3.2.

Tabel 3. 2 Parameter-Parameter Model

Jenis Tanah	Jenis Ujian	Simbol Parameter	Mai Parameter
Terganggu	Undrained	V, h, M, Γ , λ_{cs} , $E_{0.}$, Λ dan β	0.329; 6900; 1.2879; 0.55; 0.04; 80; 0.1 dan 0.001
	Drained	V, h, M, Γ , λ_{cs} , $E_{0.}$, Λ dan β	0.329; 6900; 1.2879; 0.55; 0.04; 190; 0.001 dan 2.2
Tak Terganggu	Undrained	V, h, M, Γ , λ_{cs} , $E_{0.}$, Λ dan β	0.329; 6900; 1.46; 0.45; 0.063; 45; 0.07 dan 0.013
	Drained	V, h, M, Γ , λ_{cs} , $E_{0.}$, Λ dan β	0.329; 6900; 1.46; 0.45; 0.063; 90; 0.01 dan 1.5

Sumber : Data dari Laboratorium. M.K.Hossain,1999

Tabel 3. 3 Data-Data Dari Hasil Uji Triaxial

Jenis Sample	Kode Sampel	Data Hasil Laboratorium							
		ν	H	M	F	η_{cs}	E _o	A	
	CD-SAT-CP-100	0.329	6900	1.2879	0.55	0.04	190	0.001	2.2
	CD-SAT-CP-300	0.329	6900	1.2879	0.55	0.04	190	0.001	2.2
	CD-SAT-CP-600	0.329	6900	1.2879	0.55	0.04	190	0.001	2.2
	CU-SAT-CP-100	0.329	6900	1.2879	0.55	0.04	80	0.1	0.001
	CU-SAT-CP-300	0.329	6900	1.2879	0.55	0.04	80	0.1	0.001
	CU-SAT-CP-600	0.329	6900	1.2879	0.55	0.04	80	0.1	0.001

Sumber : Data dari Laboratorium. M.K.Hossain,1999



3.1.5.1 Penentuan Parameter Model

Untuk melakukan tindak balas tanah lempung menggunakan model ini diperlukan beberapa parameter-parameter seperti berikut ini:

- a. ν Adalah nilai poisson ratio. Perubahan ini tidak mempengaruhi hasil penggunaan model (nilai ini tidak sensitif dalam penggunaan model). Nilai parameter ini adalah diantara, 0.3 ke 0.5 (Hardin 1978, Lade dan Nelson 1987).
- b. h Adalah parameter model elastik. Parameter ini adalah untuk menentukan nilai modulus geser (G) bagi persamaan 3.3. nilai h adalah 6900 sesuai dengan yang diusulkan oleh Hardin dan Black (1966).

- c. M Adalah kemiringan garis keadaan puncak atau angka tegangan pada keadaan puncak.
- d. Γ Adalah nilai angka pori pada garis keadaan puncak (bidang $e - \ln P'$) bagi nilai tegangan radial efektif (p') sama dengan 1 kPa.
- e. λ_{cs} Adalah nilai kemiringan garis keadaan puncak pada bidang $e - \ln P''$
- f. $E\omega$ dan Ω Adalah parameter-parameter pengerasan yang didapati pada persamaan 3.27. Cara penentuan parameter $E\omega$ sama dengan parameter E' pada model hiperbolik. Nilai $\varepsilon^p_s / \omega_o$ diplotkan terhadap ε^p_s ditentukan dari pada $\varepsilon_s - \varepsilon^e_s$. dari pada hubungan linier diantara $\varepsilon^p_s / \omega_o$ dan ε^p_s , maka diperoleh kemiringan garis adalah $\frac{1}{M + \Omega}$ dan perpotongan adalah $\frac{1}{E\omega}$. Maka nilai $E\omega$ dan Ω boleh ditentukan. Dengan mengetahui nilai Ω pada persamaan 3.14, maka $E\omega$ dapat ditentukan apabila parameter pengembangan (A) diketahui atau dengan menggunakan perasamaan 3.15
- g. β Adalah parameter pengerasan yang terdapat pada fungsi keupayaan plastic. Parameter ini boleh ditentukan dengan

membuat plotan antara $\omega_o = \frac{-d\varepsilon \frac{p}{v}}{d\varepsilon \frac{p}{p}}$ terhadap $\frac{\omega_o}{M}$. Regangan

volume plastic ($\int \epsilon \frac{P}{v}$) dan regangan geser plastic ($d\epsilon \frac{P}{v}$) dan regangan geser plastic ($(d\epsilon \frac{P}{s})$) dapat ditentukan dengan persamaan 3.5. Nilai β dipilih sehingga fungsi ω_0 pada persamaan 3.7 mendekati data pengujian.

3.1.6 Langkah-langkah Penentuan Model Elasto Plastik

Model keadaan kritis ialah sebuah penyederhanaan dan pengidealan pada perilaku tanah (Muni Budhu).

Gagasan yang utama dalam model keadaan kritis ialah bahwa seluruh tanah akan gagal pada suatu permukaan keruntuhan yang khusus dalam ruang (q , p' , e). Jadi model keadaan kritis memasukkan perubahan volume dalam hal itu ukuran keruntuhan tidak sama dengan ukuran keruntuhan Mohr-Coulomb, yang menetapkan keruntuhan hanya sebagai proses mencapai kemiringan tegangan maksimum.

Dengan penentuan parameter dan permukaan keruntuhan yang diproyeksikan kedalam beberapa bidang seperti (q , p' , e), maka penambahan elastik dan plastik pada tanah.

Maka dari pada itu bagian ini merupakan ringkasan dari model rumus yang dipergunakan dalam penentuan langkah-langkah untuk mendapat hasil grafik dari perilaku tanah baik untuk tanah drained maupun undrained pada tanah yang terkonsolidasi normal antara lain dengan menentukan:

1. Tentukan parameter-parameter model :

2. Setkan Semua keadaan awal

- Hitung :

$$\triangleright e_{cs} = \Gamma + \lambda_e \times \ln p \quad \text{persamaan (3.1)}$$

$$\triangleright G = \frac{h \left\{ (2.17 - e)^2 \sqrt{p'} \right\}}{1 + e} \quad \text{persamaan (3.2)}$$

$$\triangleright K = \frac{2(1+V)G}{3(1-2V)} \quad \text{persamaan (3.3)}$$

$$\triangleright \Omega = - E \Omega A \quad \text{persamaan (3.4)}$$

$$\triangleright \frac{\varpi}{\varpi} = \frac{\varepsilon \frac{p}{s}}{\frac{1}{E\varepsilon} + \frac{\varepsilon \frac{p}{s}}{M + \Omega}} \quad \text{persamaan (3.5)}$$

$$\triangleright \frac{d\varpi_o}{dE_v^p} = E\Omega(1+e) \left(\frac{\overline{\varpi_o}}{M + \Omega} \right)^2 \quad \text{persamaan (3.6)}$$

$$\triangleright \frac{d\varpi_o}{dE_s^p} = W \left(1 - \frac{\overline{\varpi_o}}{M + \Omega} \right)^2 \quad \text{persamaan (3.7)}$$

$$\triangleright \frac{d\varpi_o}{dE_s^p} = E\Omega \left(\frac{1+e}{K} + \frac{\lambda_{cs}}{P'} \right) \left[\frac{\overline{\varpi_o}}{M + \Omega} \right]^2 \quad \text{persamaan (3.8)}$$

➤ $\Pi = \frac{1}{p \left[-\omega \frac{\partial \omega_o}{\partial \varepsilon_v^p} + \frac{\partial \omega_o}{\partial \varepsilon_s^p} \right] + K \omega \left[\omega \frac{\partial \omega_o}{\partial \varepsilon_v^p} + \frac{\partial \omega_o}{\partial \varepsilon_s^p} \right]}$ persamaan (3.9)

➤ $\frac{1}{G_{MRT}} = \frac{1}{3G} + \frac{-\frac{1}{3} \left(\omega o + p' \frac{\partial \omega o}{\partial p'} \right) + 1}{p' \left[-\omega_\theta \frac{\partial \omega o}{\partial \varepsilon_v^p} + \frac{\partial \omega o}{\partial \varepsilon_s^p} \right]}$ persamaan (3.10)

adalah parameter regangan geser *drained* $d\varepsilon_s = \frac{dq}{G_{MRT}}$

➤ $\frac{1}{G_{MRRT}} = \frac{1}{3G} + \frac{-\Pi \left(\omega o + p' \frac{\partial \omega o}{\partial p'} \right) + 1}{p' \left[-\omega_\theta \frac{\partial \omega o}{\partial \varepsilon_v^p} + \frac{\partial \omega o}{\partial \varepsilon_s^p} \right]}$ persamaan (3.11)

adalah parameter regangan geser *undrained* $d\varepsilon_s = \frac{dq}{G_{MRRT}}$

➤ $\frac{1}{K_{MPT}} = \frac{1}{K} + \frac{\omega_\theta \left(\omega_\theta + \frac{\partial \omega_o}{\partial \varepsilon_v^p} \right) - 3\omega_\theta}{p' \left(-\omega_\theta \frac{\partial \omega_o}{\partial \varepsilon_v^p} + \frac{\partial \omega_o}{\partial \varepsilon_s^p} \right)}$ persamaan (3.12)

➤ adalah parameter perubahan regangan volume *drained* $d\varepsilon_v = \frac{dp'}{K_{MPT}}$

3. Input data dimulai dengan perubahan regangan yaitu $d\varepsilon_a = 0.0004$

4. Hitung $dq = \frac{\partial \varepsilon_a}{\frac{1}{9K_{MPT}} + \frac{1}{G_{MRT}}}$ persamaan (3.13)

5. Hitung $dp' = \frac{1}{3}dq$ untuk *drained* dan $dp' = \Pi dq$ untuk *undrained*

6. Hitung $d\varepsilon_s^p = \frac{-\left(\sigma_0 + p' \frac{\partial \sigma_0}{\partial p'}\right) dp' + dq}{p' \left(-\sigma_0 \frac{\partial \sigma_0}{\partial \varepsilon_v^p} + \frac{\partial \sigma_0}{\partial \varepsilon_s^p}\right)}$ persamaan (3.14)

7. Hitung $\varepsilon_{sn}^p = \varepsilon_{sn-1}^p + \partial \varepsilon_{sn}^p$

8. Tentukan besarnya parameter pengerasan (ω_0)

9. Selanjutnya perobahan tegangan yang model terletak pada permukaan batas yang

baru yaitu : $\sigma_0 = \frac{q' + dq}{p' + dp'}$; $dp' = \frac{dq}{3}$ untuk tes mampatan triaxial *drained*,

maka $dq = \frac{q - \eta_0 p'}{\frac{\eta_0}{3} - 1}$; $dp' = K \eta_\psi d\varepsilon_s^p$ dan

$dq = \eta_0 (p' + dp') = \eta_0 (p' + K \eta_\psi d\varepsilon_s^p) - q$ untuk *undrained*

10. $dp' = \frac{dq}{3}$ untuk *drained*, $dp' = K \eta_\psi d\varepsilon_s^p$

11. Tentukan $p' = p'_0 + dp'$

12. Tentukan $q = q_0 + dq$

13. Hitung tekanan air pori (u) = $p - p'$

14. $d\varepsilon_v = d\varepsilon_v^e + d\varepsilon_v^p = \frac{dp'}{K} - \eta_\psi d\varepsilon_s^p$ untuk *drained*. $d\varepsilon_v = 0$; untuk *undrained*.

15. Selanjutnya hitung kembali dengan rumusan yang sama pada langkah 2, yaitu

menentukan $G, K, \Omega, \eta_\psi, \frac{\partial \sigma_0}{\partial \varepsilon_s^p}, \frac{\partial \sigma_0}{\partial \varepsilon_v^p}, \frac{\partial \sigma_0}{\partial p'}, \Pi, \frac{1}{G_{MRT}}, \text{ dan } \frac{1}{K_{MPT}}$

16. Ulangi kembali langka model yaitu langkah ke 3 sampai dengan langkah 13.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan.

Dari hasil yang diperoleh pada Pada Pembuatan Model elasto plastis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Adanya perbedaan antara hasil laboratorium dengan hasil model menunjukkan adanya kesensitipan parameter-parameter tanah yang digunakan pada model yang dihasilkan dari laboratorium yaitu : parameter kemiringan garis puncak (M) yang apabila ditambah atau dikurangkan nilainya akan merubah bentuk grafik.
2. Hasil prediksi pada hubungan *regangan axial* terhadap, *deviator stress* terlihat untuk sample terkonsolidasi normal pada (CD-600) akan lebih baik apabila parameter $M = 1.46$ diturunkan menjadi $M = 1.36$, ini dibuktikan dengan hasil prediksi mendekati 38%, sehingga didapat (selisih tinggi jarak antara tes dan prediksi rata-rata 49.1072), demikian juga pada kondisi *undrained* (sample CU-600) terlihat selisih antara test dan prediksi adalah 73.88456, nilai parameter menjadi naik sehingga hasil test mendekati prediksi dengan selisih jarak 41.93039 dan grafik prediksi naik sebesar 43 % .

DAFTAR PUSTAKA

- A.M.Britto,B.Sc.,Ph.D.Department of Engineering University of Cambridge and M.J.
Gunn,Ma., Dip.Com.Sei.Department of Civil Engineering University of Surrey,
Critical State Soil Mechanics Via Finite Elements. 1987 for Granular Soils,
Nan yang Tecnological University, Singapore
- Akitson,J.H clan Bransby,P.L.!978., *The Mekhanics of Soil and Introduction Critical State Soil Mechinecs*, MC Graw — Hill Book Company (UK) Limited.
- Bowles,J.E., *Sifat — sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah)*., Erlangga Jakarta.
- Budhu & Muni., 2000., *Soil Mechinecs and Fondations*, John Wiley & Sonsjnc,
- Das,Braja.M.,1994., *Prinsip— prinsip Rekayasa Geoteknis*, Erlangga, Jakarta
- Hatuty,I.P.,2003, *Critical State Soil Model Untuk Menginterprestasikan Prilaku Tanah*.,Tesis.
- Hardiyatno,H.C.,1994, *Mekanika Tanah 1 don 2.*, PT.Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Silalahi,M.S.A.,2000, *Shear Strenght Prediction of Residual Soil by Triaxial Test*
- Tanjung,D,2004,Prediksi Perilaku Kekuatan Tanah Over Consolidadi dengan Model Elastoplastis,tesis.