

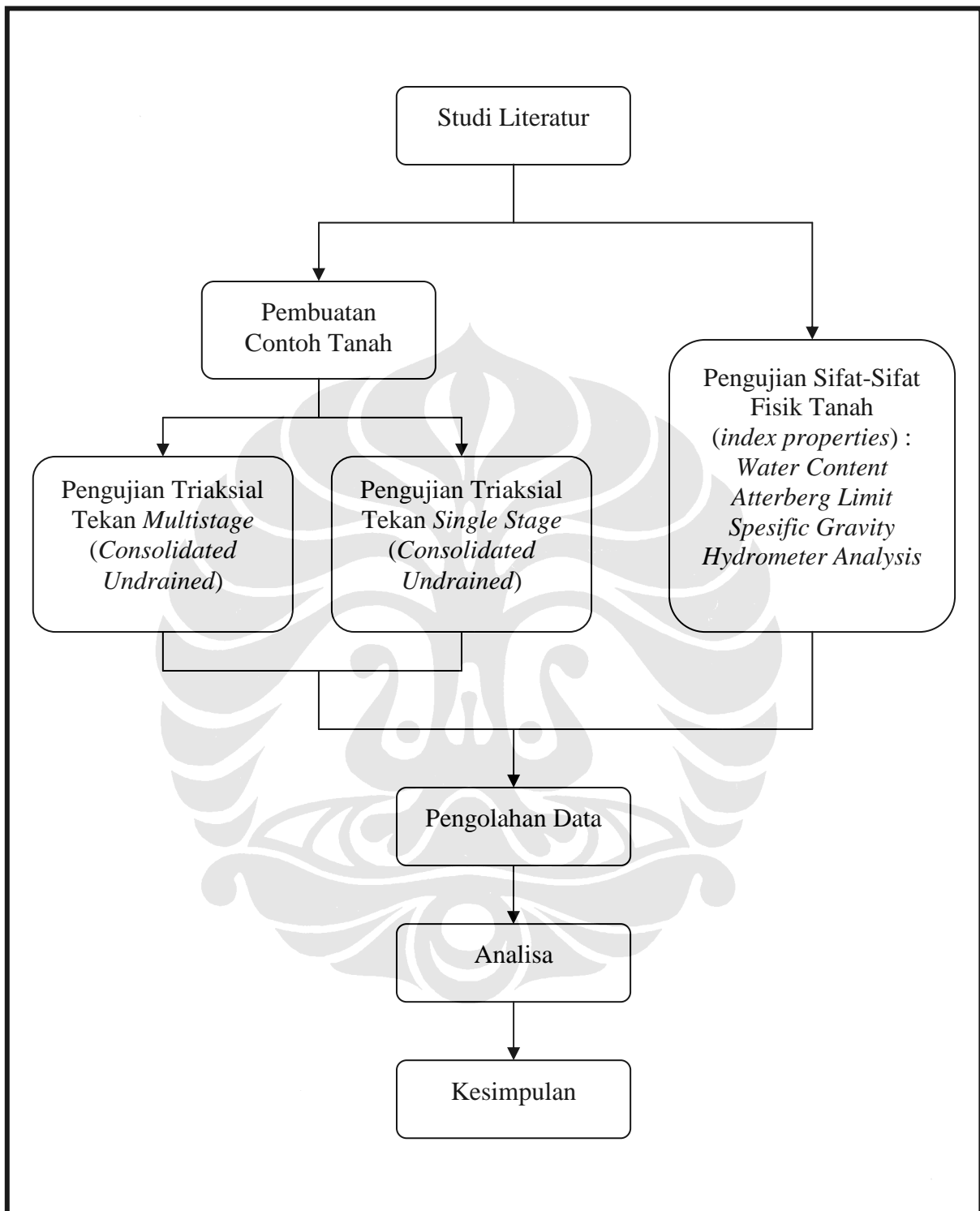
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kegiatan Penelitian

Kegiatan penelitian yang dilakukan dalam penulisan laporan skripsi ini meliputi studi literatur, pembuatan benda uji, pengujian sifat-sifat fisik tanah (*index properties*), dan penentuan parameter kuat geser tanah dengan melakukan pengujian triaksial tekan *multistage* (1 buah benda uji – 3 tahap) dan triaksial tekan konvensional prosedur normal / *single stage* (3 buah benda uji – 1 tahap) yang kedua pengujian tersebut dengan kondisi *consolidated undrained (CU-test)*. Sampel/ contoh tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah jenis lempung kaolin. Benda uji untuk pengujian triaksial, baik *multistage* maupun *single stage*, menggunakan benda uji standar berukuran kecil (d disesuaikan dengan peralatan yang ada dan tersedia pada saat pengujian) berbentuk silinder dengan dimensi diameter $D=1,5$ inchi (3,81 cm) dan tinggi $H=3$ inchi (7,62 cm). Adapun contoh tanah yang digunakan untuk benda uji triaksial merupakan tanah yang dibuat atau dibentuk (*remoulded*), yang dalam proses pematatannya diberikan beban prakonsolidasi selama jangka waktu tertentu. Seluruh kegiatan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Tahapan penelitian ini secara garis besar digambarkan pada diagram alir berikut ini (gambar 3.1) :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

3.2 Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah

Dalam penelitian ini, pengujian sifat-sifat fisik tanah (*Index Properties*) yang dilakukan adalah pengujian kadar air, *Atterberg Limit* (batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas), *specific gravity*, dan *hydrometer analysis*. Adapun gambaran dan langkah prosedur secara garis besar dari pengujian-pengujian ini akan diuraikan pada sub bagian di bawah ini.

3.2.1 Kadar Air

Kadar air merupakan perbandingan antara massa air yang terkandung dalam tanah dengan massa partikel padatnya. Prosedur yang dilakukan yaitu dengan memasukkan contoh tanah ke dalam oven selama kurang lebih 1 hari. Sebelum dimasukkan ke dalam oven, tanah tersebut ditimbang terlebih dahulu untuk mendapatkan berat basah tanah (w_{wet}). Setelah dimasukkan ke dalam oven selama kurang lebih 1 hari, contoh tanah dikeluarkan dari oven dan didiamkan beberapa saat. Selanjutnya contoh tanah ditimbang untuk mendapatkan berat kering tanah (w_{dry}). Kadar air tanah diperoleh dengan menggunakan perhitungan:

$$\% \text{ kadar air} = \frac{w_{wet} - w_{dry}}{w_{dry}} \times 100\% \quad (3.1)$$

3.2.2 Atterberg Limit

Atterberg limit terdiri dari *Plastic Limit* dan *Liquid Limit*.

A. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu dimana contoh tanah yang telah dimasukkan pada alat *casagranda*, dibuat celah dengan *standard grooving tool* dan alat *casagranda* diputar engkolnya dengan kecepatan 2 ketukan per detik dan tinggi jatuh 10 mm, pada ketukan ke 25 contoh tanah yang digores dengan *grooving tool* merapat sepanjang 0,5 inchi. Dalam penelitian ini, pengujian batas cair (*liquid limit*) dilakukan berdasarkan ASTM D 4318-84 prosedur A dengan menggunakan contoh tanah basah. Contoh tanah yang digunakan merupakan tanah lolos saringan No. 40. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *Casagrande*. Pengujian dilakukan sampai mendapatkan jumlah ketukan yang diinginkan. Apabila ketukan melebihi dari jumlah ketukan yang diinginkan maka tanah tersebut perlu ditambahkan

air. Dan sebaliknya jika jumlah ketukan kurang dari jumlah ketukan yang diinginkan, maka tanah tersebut perlu dikeringkan terlebih dahulu atau ditambahkan tanah pada campuran.

B. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu dimana contoh tanah digulung pada pelat kaca hingga mencapai diameter kurang lebih 1/8 inchi (3,2 mm) dan tanah tersebut tepat retak-retak halus. Dari penelitian ini dapat ditentukan *Plastic Index (PI)* atau indeks plastisitas dimana :

$$PI = LL - PL \quad (3.2)$$

dimana : *LL* = batas cair (*liquid limit*)

PL = batas plastis (*plastic limit*)

Pengujian batas plastis (*plastic limit*) dilakukan berdasarkan ASTM D 4318-84. Sama dengan pengujian batas cair, tanah yang digunakan pada penelitian batas plastis menggunakan tanah lolos saringan No. 40. Contoh tanah tersebut kemudian dipilin/digulung hingga memiliki diameter 3,18 mm dan terdapat retak-retak rambut (halus). Apabila retakan yang terjadi cukup besar maka perlu penambahan air pada sampel tanah. Namun apabila tidak terjadi retakan halus pada tanah yang dipilin, maka perlu penambahan tanah pada campuran.

3.2.3 *Specific Gravity*

Spesific Gravity atau berat spesifik tanah adalah perbandingan antara berat isi tanah dengan berat isi air pada suhu 4° C. Pengujian *specific gravity* yang dilakukan berdasarkan ASTM D 854 - 83. Contoh tanah yang digunakan adalah tanah lolos saringan No. 40. dengan kondisi kering oven. Pada pengujian air yang digunakan merupakan air suling. Nilai *specific gravity* diperoleh dengan rumus :

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w \quad (3.3)$$

dimana γ_w = berat jenis air pada suhu 4°C. Untuk penelitian pada T°C, maka harga tersebut harus dikoreksi dengan harga α . Karena volume air yang dipindahkan sama dengan volume solid tanah, maka :

$$G_s = \alpha (w_s / w_w) \quad (3.4)$$

dimana : w_s = berat tanah kering

w_w = berat air (berat air yang volumenya = volume tanah)

α = faktor koreksi suhu yang berhubungan dengan T°C pada saat penelitian.

3.2.4 Hydrometer Analysis

Hydrometer digunakan untuk menentukan distribusi dari butiran tanah yang memiliki diameter lebih kecil dari 0,074 mm (lolos saringan No.200 ASTM) yang dilakukan dengan cara pengendapan. Penelitian ini didasarkan pada hubungan antara kecepatan jatuh dari suatu butiran dalam suatu larutan, diameter butiran, berat jenis butiran, berat jenis larutan, dan kepekatan larutan tersebut. Hubungan ini dijabarkan oleh Hukum Stokes sebagai :

$$v = \frac{2\gamma_s - \gamma_w}{9\eta} \cdot [D/2]^2 \quad (3.5)$$

$$D = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot v}{\gamma_s - \gamma_w}} \quad (3.6)$$

dimana : v = kecepatan jatuh dari butiran (cm/s)

γ_s = berat jenis butiran (gram/cm³)

γ_w = berat jenis larutan (gram/cm³)

η = kepekatan larutan (dyne s/cm²)

D = diameter butiran (cm)

3.3. Pembuatan Benda Uji Triaksial

3.3.1 Material Pembuatan Contoh Tanah

Contoh tanah yang digunakan pada percobaan triaksial ini merupakan material kaolin murni dalam bentuk bubuk (*powder*) hasil pabrikasi yang biasanya digunakan untuk membuat keramik / porselen yang difabrikasi. Bahan / material kaolin ini memiliki nama dagang "kaolin filler super 325 mesh" yang diproduksi oleh PT. Asia Kaolin Raya. Tampilan umum secara visual dari material kaolin ini adalah berwarna putih dan berbentuk bubuk halus (*powder*) seperti tepung. Material

ini dalam paket penjualannya ditempatkan dalam karung dengan isi bersih kaolin per karung sebesar 40 kg.

3.3.2 Prosedur Pembuatan Contoh Tanah Kaolin

Contoh tanah yang digunakan pada percobaan triaksial ini adalah kaolin murni yang dalam keadaan awalnya masih dalam bentuk bubuk (powder). Untuk bisa membuat benda uji triaksial, maka material kaolin tersebut perlu dibuat / dicetak (*remoulded*) terlebih dahulu. Proses pemadatan / pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat *rowe cell* yang telah dimodifikasi / diganti tabungnya dengan menggunakan tabung cetak CBR. Adapun prosedur pembuatan contoh tanah untuk uji adalah sebagai berikut :

1. Bubuk kaolin dicampur dengan air suling sampai homogen dan berbentuk pasta dengan bantuan *mixer* atau diaduk manual dengan alat bantu atau tangan. Kadar air yang diperlukan agar sampel berbentuk pasta untuk awalnya ditentukan berdasarkan tampilan visual dan coba-coba (*trial and error*), kira-kira $\pm 10\% - 25\%$ di atas batas cairnya. Setelah didapat jumlah air yang "pas", maka nilai kadar air tersebut dapat dijadikan acuan untuk proses pembuatan contoh tanah selanjutnya.
2. Siapkan sebuah tabung untuk mencetak pasta kaolin menjadi tanah yang padat dan jenuh. Pada bagian dalam tabung diolesi dengan vaselin atau pelumas agar tidak terjadi gesekan antara piston pembeban (karet penekan udara *rowe cell*) dengan dinding tabung dan agar tanah tidak melekat pada dinding tabung.
3. Lalu pada dasar tabung diletakkan berturut-turut plat berpori, batu pori, dan kertas filter.
4. Kemudian pasta kaolin dimasukkan ke dalam tabung sedikit demi sedikit agar tidak ada udara yang terperangkap.
5. Setelah tabung hampir penuh, ratakan permukaan pasta kaolin, lalu di atasnya diletakkan lagi berturut-turut kertas filter, batu pori, dan plat berpori / plat penekan *rowe cell*.
6. Kemudian tabung ditutup dengan penutup *rowe cell* dan kencangkan baut-bautnya. Kemudian pasang dial pengukur penurunan pada batang penurunan

untuk dapat memonitor penurunan contoh tanah selama proses pembebanan / pemadatan.

7. Berikan tekanan ke dalam tabung sesuai dengan tekanan yang diinginkan dengan alat pengatur tekanan. Tekanan ini konstan selama contoh tanah dalam proses pemadatan / pembebanan, dari awal hingga akhir proses ini. Besarnya tekanan yang diberikan disesuaikan dengan beban pra konsolidasi yang diinginkan pada contoh tanah.
8. Catat penurunan dan kecepatan penurunan dari contoh tanah selama proses pemadatan ini. Pencatatan bacaan dial pengukur penurunan pada hari pertama dilakukan tiap jam sejak dimulainya pemberian tekanan, dan pada hari-hari selanjutnya dilakukan sekali per hari.
9. Setelah beberapa hari (sesuai dengan yang diinginkan / diperlukan), tekanan dalam tabung dihilangkan, buka baut dan penutup *rowe cell*, dan contoh tanah siap dicetak untuk membuat benda uji triaksial.

3.3.3 Pencetakan Contoh Tanah Untuk Benda Uji Triaksial

Setelah proses pembebanan prakonsolidasi selesai dilakukan pada contoh tanah kaolin, masukkan alat cetak triaksial berbentuk silinder ke dalam contoh tanah dengan cara menekan manual dengan tangan atau dengan bantuan dongkrak hidrolik. Pencetakan contoh tanah mengikuti standar ASTM D 2850-87 yaitu ukuran tinggi $\pm 2-2,5$ kali ukuran diameter silinder. Alat cetak triaksial standar ukuran kecil yang dipakai (yang tersedia di Laboratorium Mekanika Tanah FT-UI) mempunyai ukuran diameter = 36 – 38 mm dan tinggi = 72 – 76 mm. Setelah itu contoh tanah ini dikeluarkan dari tabung dengan bantuan ekstruder. Kemudian keluarkan benda uji triaksial dari cetaknya dengan bantuan dongkrak hidrolik ataupun manual dengan tangan. Setelah selesai proses pencetakan ini, maka contoh tanah yang belum diuji disimpan dalam *vacum desicator* agar kadar airnya tidak berubah.

3.4 Pengujian Triaksial Tekan *Multistage Consolidated Undrained (MTX-CU)*

Prosedur pengujian triaksial tekan *multistage* dengan sampel tunggal pada prinsipnya sama dengan pengujian triaksial tekan konvensional prosedur normal (*single stage*) dengan menggunakan 3 buah benda uji. Pada pengujian triaksial

multistage, sampel (tunggal) umumnya mengalami 3 tahapan (*stage*) pembebanan tekanan sel dan tiap tahapan tersebut diberikan tegangan deviator hingga mendekati (untuk tahap pertama dan kedua) atau mencapai (untuk tahap ketiga/terakhir) keruntuhan gesernya. Sedangkan pada pengujian triaksial konvensional, tiap-tiap benda uji diberikan tekanan sel yang berbeda-beda dan tiap-tiap benda uji tersebut diberikan tegangan deviator hingga mencapai keruntuhan gesernya dalam sekali tahap.

Secara garis besar urutan standar proses pengujian triaksial terkonsolidasi – tak terdrainasi (*TX-CU*) untuk setiap benda uji adalah saturasi (penjenuhan), konsolidasi, dan kompresi. Pada pengujian triaksial *CU multistage*, walaupun hanya mengalami satu kali proses saturasi pada awal pengujian, sebuah benda uji akan mengalami proses konsolidasi dan kompresi lebih dari satu kali, tergantung dari jumlah tahapan (*stage*) yang diinginkan. Proses-proses tersebut secara garis besar digambarkan pada diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 3.2. Adapun langkah-langkah secara umum yang dilakukan pada pengujian triaksial tekan *multistage consolidated undrained (MTX-CU)* adalah sebagai berikut:¹

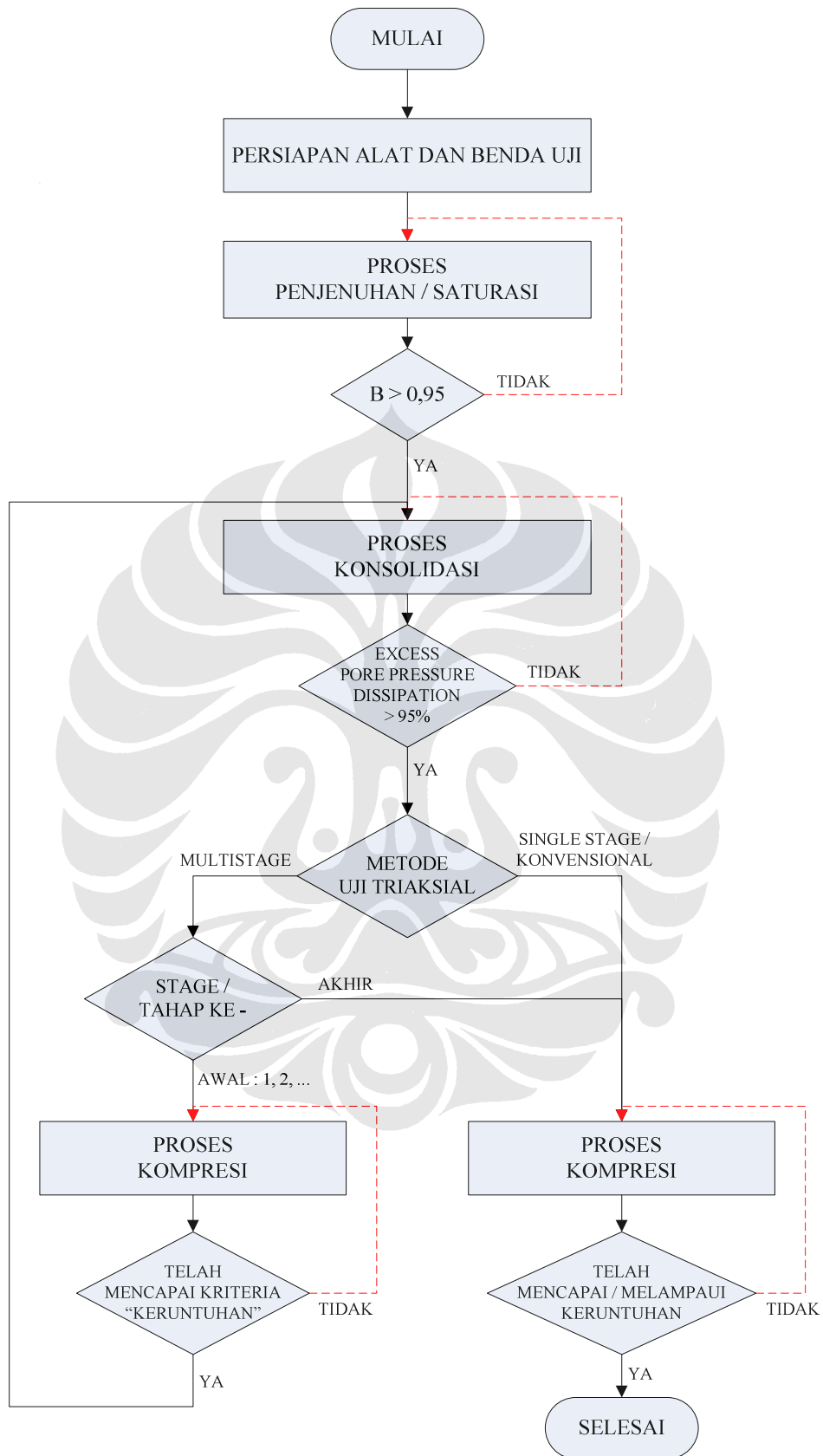
1. Persiapkan benda uji seperti pada pengujian normalnya *CU-test*.
2. Konsolidasikan benda uji dengan tekanan sel / keliling efektif tahap pertama (yang terendah) yang telah ditentukan sebelumnya.
3. Hitung waktu untuk mencapai keruntuhan, dan perkirakan kecepatan regangan yang tepat yang bergantung pada tipe pengujian dan kondisi drainasi.
4. Mulai tahap pemberian beban tekan (aksial) dengan cara seperti biasanya. Selama proses pengujian, hitung data untuk kemudian digambarkan grafiknya (plot); tegangan deviator, tekanan pori, rasio tegangan utama, terhadap regangan (%) dengan menerapkan kondisi-kondisi yang diperlukan. Bila perlu jalankan pengujian sedikit lebih lambat dari normalnya agar bisa menggambar grafik-grafik ini secara *up-to-date*.
5. Ketika telah mendekati keruntuhan berdasarkan kriteria-kriteria yang tepat, hentikan mesin tekan (pemberian tegangan deviator). Keruntuhan ditandai dengan mulai terbentuknya permukaan keruntuhan didalam sampel, atau

¹ K.H. Head, *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 3*, (New York:Wiley,1986), hal.972-973

dengan mulai mendatarnya kurva tegangan / regangan, atau dengan salah satu kriteria yang telah dibahas pada sub bab 2.4.2.

6. Segera balikkan arah motor penggerak untuk mengurangi beban aksial secepatnya hingga mencapai nilai nol, dan catat bacaan regangan aksial yang terjadi selama proses ini. Gambarkan sketsa bentuk dari sampel. Biarkan selama waktu tertentu yang cukup agar tekanan pori mencapai kesetimbangan sebelum dilakukan proses selanjutnya. Penghilangan beban aksial mencegah “*creep*” pada struktur tanah di antara tahapan-tahapan pembebanan, dan mengijinkan sedikit pemulihan elastis pada regangan.
7. Naikkan tekanan sel sampai tingkatan yang diperlukan untuk tahapan selanjutnya, dan tunggu hingga tekanan pori menjadi stabil.
8. Konsolidasikan sampel seperti pada tahap sebelumnya. Hitung dimensi konsolidasi yang baru.
9. Hitung waktu untuk mencapai keruntuhan pada pembebanan tahap selanjutnya dari data konsolidasi baru, dan hitung kecepatan regangan yang baru. Keruntuhan pada tahap ini biasanya dicapai pada regangan yang lebih kecil daripada pada tahap pertama; sebagai contoh jika keruntuhan pada tahap pertama hampir mencapai antara regangan 5% dan 10%, maka hanya diperlukan regangan sekitar 1-2% pada tahap berikutnya. Lebih jauh lagi saat tekanan efektif bertambah, nilai c_v biasanya akan berkurang. Oleh karena itu kecepatan mesin untuk tahap 2 dan 3 akan jauh lebih lambat daripada pada tahap 1.
10. Putar plat mesin untuk membuat kontak ulang antara piston sel dan tutup bagian atas kemudian atur ulang pengukur (*dial gauge*) regangan dan pengukur ring beban (*load ring*) ke bacaan angka nol atau ke datum yang baru.
11. Mulai kembali penerapan pembebanan aksial pada kecepatan regangan yang tepat, dan secara bersamaan hitung dan gambarkan grafik seperti pada langkah poin 4. Lanjutkan pemberian beban hingga mencapai “keruntuhan” dengan pendekatan seperti yang telah dijelaskan pada langkah poin 5.
12. Buat perhitungan sebagai berikut :

- Regangan : gunakan panjang sampel yang baru untuk menghitung regangan berdasarkan nilai datum nol yang baru, dan tambahkan nilai regangan ini dengan nilai regangan saat akhir proses *unloading* untuk mendapatkan nilai regangan kumulatif. Nilai regangan ini hanya yang disebabkan oleh proses pemberian dan penghilangan tegangan deviator.
 - Tegangan deviator : gunakan luas sampel yang baru dan volume dan regangan diukur dari nilai datum yang baru, untuk menghitung tegangan deviator (yang dikoreksi). Untuk menerapkan koreksi membran gunakan nilai regangan kumulatif.
 - Perubahan volume : hitung perubahan volume lebih lanjut sebagai persentase dari nilai volume yang baru dan gambarkan (plot) nilai persentase ini dimulai dari titik datum yang baru.
 - Tekanan air pori : gambarkan (plot) nilai yang tercatat. Tekanan pori saat dimulainya tiap tahapan biasanya sama, atau berada sedikit di atas.
13. Ulangi langkah-langkah 6 hingga 12 sehubungan dengan penerapan total tiga tahap pembebanan (jika dapat dipraktikkan). Tahapan ke-4 terkadang juga dapat dimungkinkan. Lanjutkan pada tahap akhir hingga melewati puncak tegangan deviator.
14. Kurangi pemberian beban dan tekanan hingga nol, dan lepaskan sampel untuk dibuat sket / gambar, diukur beratnya, dan pengukuran, seperti pada pengujian triaksial normal. Selesaikan perhitungan-perhitungan seperti biasanya.



Gambar 3.2 Diagram alir pengujian triaksial tekan terkonsolidasi – tak terdrainasi metode konvensional (*single stage*) dan *multistage*.