

PERILAKU GESER TAKTERDRAINASE PADA TANAH LEMPUNG TERSEMENTASI TIRUAN

John Tri Hatmoko¹ dan Yohanes Lulie²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta

Email : john@mail.uajy.ac.id

² Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta

Email : lulie@mail.uajy.ac.id

ABSTRAK

Penelitian mengenai perilaku geser tanah lempung tak tersementasi dan tersementasi dengan kadar air rendah serta tegangan keliling rendah, sudah banyak dilakukan. Pada penelitian ini dicoba untuk melihat perilaku geser pada tanah lempung dengan kadar air tinggi (tak terdrainasi), kadar semen tinggi dan tegangan keliling rendah sampai tinggi. Kadar semen yang digunakan adalah : 3%, 6%, 9%, 12% dan 18%. Pengujian geser dilakukan dengan alat uji triaksial terkonsolidasi dengan mengontrol tegangan air pori. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: nilai sudut gesek dalam dan kohesi meningkat sebanding dengan peningkatan kadar semen yang ditambahkan pada tanah yang disebabkan oleh terjadinya ikatan antara semen dengan tanah. Ikatan sementasi memiliki peran yang sangat penting pada kekuatan tanah lempung tersementasi. Pada saat tegangan keliling lebih rendah dari tegangan efektif rerata, ikatan sementasi memberikan kontribusi yang cukup pada peningkatan kekuatan tanah. Ketahanan geser tidak menurun dengan menurunnya tegangan keliling. Pengaruh sementasi pada tekanan air pori akan nampak bilamana tanah sampel menerima tegangan keliling yang lebih kecil dari tegangan efektif rerata. Tekanan air pori maksimum pada tanah tersementasi lebih besar dari tanah tak tersementasi pada tegangan keliling yang sama. Pada lintasan tegangan tanah tersementasi untuk tegangan keliling lebih kecil dari tegangan efektif rerata ditemukan bahwa lintasan terletak disebelah kiri lintasan terdrainasi. Pada kadar air tinggi, ikatan antara tanah dengan semen tidak nampak memberikan kontribusi kekuatan pada tanah tersementasi

Kata kunci : lempung, takterdrainase, tegangan geser, tekanan air pori, lintasan tegangan, tegangan keliling.

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung, khususnya tanah lempung lunak banyak dijumpai diberbagai tempat di belahan bumi . Tanah lempung ini memiliki karakteristik yang tidak menguntungkan dibidang Teknik sipil, yaitu : kuat geser dan kuat tekan rendah, kompresibilitas tinggi, sangat lemah jika kandungan air tinggi, akan menyusut jika kadar air rendah. Tanah jenis ini sangat menimbulkan masalah di berbagai kota di dunia yang antara lain ditunjukkan oleh adanya : pondasi bangunan retak, penurunan besar, keretakan pada lantai bangunan dsb. Oleh sebab itu, para peneliti dan pakar geoteknik selalu mengupayakan perbaikan tanah ini dengan berbagai cara. Cara stabilisasi yang populair adalah stabilisasi dengan kapur ataupun semen. Di Asia, khususnya di Indonesia, stabilisasi dengan semen lebih disukai daripada kapur sebab di beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa semen lebih efektif dibandingkan dengan kapur (Broms, 1984).

Penelitian mengenai perilaku geser untuk tanah lempung tak tersementasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti beberapa dekade terakhir (Roscoe, et.al; 1958, 1963; Henkel and Poorooshasb 1963; Wroth and Loudon 1967; Roscoe and Burland 1968; Balasubrahmaniam 1973, 1975; Parry and Nadarajah 1973; Yudhbir and Narajah 1974; Pender 1977; Mitachi and Kitago 1979; Mayne and Swason 1981; Atkinson 1990); dan masih banyak lagi hasil hasil penelitian mengenai hal tersebut. Hasil-hasil penelitian tersebut sangat bermanfaat untuk pengetahuan dasar sifat-sifat tanah lempung. Tanah lempung secara konvensional diklasifikasikan sebagai tanah lempung terkonsolidasi normal (*normally consolidated clay*) dan tanah lempung terkonsolidasi berlebih (*overconsolidated clay*) yang semuanya tergantung pada sejarah pembebanan (*stress history*) pada tanah tersebut. Namun demikian karena beragamnya proses geoteknik sehubungan dengan pembentukan tanah akan berakibat pada beragamnya kondisi tanah yang ada di lapangan. Beberapa faktor penting yang berpengaruh terhadap kondisi tanah lempung di lapangan adalah : sejarah pembebanan, lingkungan dan waktu. Oleh karena pengaruh waktu, proses penuaan dan rayapan akan terjadi pada tanah tersebut yang berakibat pada lemahnya ikatan antara partikel partikelnya dan kemungkinan tanah tersebut akan berubah menjadi batuan lunak (*soft rock*). Ikatan tersebut dinamakan ikatan sementasi alami

(*natural cementation bond*). Ikatan sementasi tersebut merupakan faktor kunci untuk mengontrol perilaku tanah lempung lunak alami. Sebagai contoh, lempung lunak alami pada kondisi terkonsolidasi normal akan stabil pada angka pori yang tinggi dan kompresibilitas rendah. Oleh sebab itu, klasifikasi tanah lempung kemudian di analisis ulang dan dikenal sebagai : lempung tersementasi dan terkonsolidasi normal (*normally consolidated cemented clay*); lempung tersementasi dan terkonsolidasi berlebih (*Overconsolidated cemented clay*), dan lempung tersementasi alami (*naturally cemented clay*) (Nagaraj et.al. 1997).

Ditambahkan bahwa tanah lempung tersementasi tiruan banyak dijumpai pada praktek-praktek maupun proses konstruksi teknik Sipil. Sebagai contoh: pada saat proses instalasi tiang bor akan terjadi sementasi tanah disekitar ujung tiang, pengecoran pondasi telapak akan menyebabkan terjadinya sementasi tanah di bawah dasar pondasi. Pada proses sementasi ini akan terjadi rekasi pergantian ion-ion positif pada semen (Ca^{++} , dan Mg^{++}) dengan ion-ion positif pada tanah lempung (K^+ dan Na^+). Proses ini terjadi sangat cepat yang menyebabkan bertambahnya partikel-partikel kasar pada tanah yang pada akhirnya akan terjadi kenaikan sudut gesek dalam pada tanah lempung yang tersementasi. Kedua, pada jangka panjang (lebih dari 28 hari), akan terjadi reaksi posolanik yaitu terbentuknya kalsium silikat hidrat (C-S-H), aluminum silikat hidrat (A-S-H) maupun calsium-aluminum silikat hidrat (C-A-S-H) yang berbentuk gel-gel yang kemudian akan berubah menjadi gumpalan-gumpalan yang cukup keras.

Untuk peningkatan kekuatan tanah lunak (geser maupun tekan) dengan bahan tambah kimia sebagai contoh teknik pencampuran tanah dalam di lapangan, tanah lempung alami akan terusik oleh sayap sayap pada proses pencampuran dan akan bercampur dengan semen atau kapur. Oleh sebab itu, sementasi alami akan rusak dan berganti dengan tanah lempung yang bercampur dengan semen. Jenis tanah ini disebut dengan tanah lempung tersementasi (*cement admixed clay*) atau lempung tersementasi tiruan.

Penelitian mengenai perilaku geser tanah lempung tersementasi, dengan kadar semen rendah dengan tegangan keliling rendah, sudah banyak dilakukan (Mitachi and Swason 1981, Pender 1977, Atkinson 1990, Hatmoko 2003, 2004). Hasil-hasil penelitian tersebut menambah pengetahuan dasar mengenai tanah lempung tersementasi. Tanah sampel pada penelitian-penelitian tersebut diidentifikasi yang pada umumnya merupakan tanah lempung terkonsolidasi normal maupun terkonsolidasi lebih tergantung pada sejarah terbentuknya tanah tersebut. Pada penelitian ini akan dicoba untuk membuat tanah lempung tersementasi dengan kadar semen tinggi serta tegangan keliling rendah sampai tinggi.

2. STUDI PUSTAKA

Upaya stabilisasi tanah lempung sudah banyak dilakukan dengan stabilisator yang beraneka ragam seperti : kapur, semen, kombinasi semen dan abu terbang, GEOSTA, aspal dan lain-lain. Alasan penggunaan bahan-bahan tersebut adalah kesesuaiannya dengan jenis tanah, mudah didapat, murah harganya, dan tidak mencemari lingkungan.

Kizdi (1979) melaporkan bahwa dengan menambah semen baik kedalam tanah lempung maupun kedalam tanah pasir akan meningkatkan kepadatan maksimum tanah tersebut sebesar kurang lebih 10%. *Hosiya and Mandal (1984)*, melakukan stabilisasi tanah lempung dengan bubuk logam (aluminum + besi tuang). Hasil penelitian yang dilaporkan adalah bahwa dengan menambah 0,5% berat bubuk logam kedalam tanah lempung akan menaikkan nilai kohesi tanah tersebut kurang lebih sebesar 15%, sedangkan kuat tekan bebas tanah tersebut meningkat kurang lebih 17% dibanding dengan kuat tekan bebas tanah asli.

Idrus (1991) melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapur sebagai bahan kimia. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut : kepadatan kering maksimum (standar Proctor) meningkat sebesar 30% dari kepadatan semula (tanah asli), dengan kadar kapur optimum pada 8,5%. *Hapsoro (1996)*, melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan campuran abu terbang dan GEOSTA. Kadar abu terbang dibuat tetap sebesar 13% dari berat tanah, sedangkan kadar GEOSTA bervariasi sampai dengan 15% (0,1,5,8,10,15). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar GEOSTA terbaik (optimum) berada pada 8%. Pada kadar optimum tersebut, kuat geser tanah meningkat sebesar 25% dan kepadatan kering maksimum meningkat 28%, yang diikuti oleh penurunan kadar air optimum.

Hatmoko (2000), melakukan penelitian stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan stabilisator pasir dan semen. Penambahan pasir dimaksudkan untuk menurunkan indeks plastisitas tanah lempung. Pada penelitian ini, penambahan pasir 7,5% berat menunjukkan penurunan indeks plastisitas yang cukup besar. Kemudian pada komposisi campuran tersebut (kadar pasir 7,5%), dilakukan stabisasi dengan semen dengan prosentasi : 0, 2,5; 7,5; 10; 12,5; dan 15%. Pengujian sifat-sifat mekanik yang dilakukan adalah pengujian kepadatan, CBR, dan pengujian tekan bebas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa: kepadatan maksimal dan kadar air optimum dicapai pada kadar semen 7,5%. Peningkatan nilai CBR dan penurunan nilai pengembangan terlihat cukup besar pada masa peredaman 14 hari. Kuat tekan bebas akan naik dengan naiknya kadar semen pada tanah tersebut, semakin tinggi kadar semen

akan menaikkan kuat geser sesaat (kuat geser tak terdrainase) yang disebabkan oleh terjadinya sementasi pada tanah lempung.

Perilaku tegangan-regangan (*constitutive model*) untuk tanah lempung, terutama didalam alat uji triaksial belum banyak diteliti. Namun demikian berikut ini akan dipaparkan hasil-hasil penelitian mengenai perilaku tanah secara umum didalam alat uji triaksial. Clough(1981) melakukan penelitian mengenai perilaku tanah yang distabilisasi dengan semen dengan hasil bahwa jumlah dan sifat semen, tegangan keliling, kepadatan relatif, gradasi, dan struktur tanah adalah variabel-variabel yang perlu diperhatikan didalam mempelajari perilaku tegangan regangan tanah pasir tersementasi. Disamping itu, Gens(1993) menyatakan bahwa perilaku tanah sangat dipengaruhi oleh riwayat geologi serta riwayat tegangan-regangan juga oleh tingkat regangan, suhu, dan arah tegangan utama. Chang & Woods (1992) secara umum mengatakan bahwa pada tingkat tegangan tertentu, tegangan geser pada tanah pasir tersementasi dapat dipresentasikan didalam diagram lingkaran Mohr dimana parameter-parameter gesernya harus memperhitungkan kandungan semen. Dimana kohesi tanah merupakan fungsi yang unik sementasi tanah (kandungan semen yang ada didalam tanah). Namun demikian, nilai sudut gesek dalam nampaknya tidak begitu dipengaruhi oleh sementasi.

Atkinson(1993) menunjukkan bahwa perilaku tegangan-regangan tanah yang tersementasi alami maupun buatan pada dasarnya tergantung pada keadaan awal, dan hubungannya dengan kurva garis leleh . Perilaku pasir tersementasi diidealisasikan dengan membagi menjadi tiga klasifikasi. Klasifikasi pertama, terjadi bilamana tanah mencapai kondisi lelehnya pada saat terjadi tekanan isotropis. Dalam kasus ini geser akan menghasilkan perilaku yang serupa dengan tanah tidak terganggu. Klasifikasi kedua, terjadi pada tegangan menengah dimana ikatan akan pecah pada saat menerima geser. Klasifikasi ketiga, tanah digeser dengan tegangan keliling yang relatif kecil dibandingkan dengan kekuatan ikatannya.

Puppala, J.A. (1995), melakukan eksperimen pada pasir dengan kadar sementasi sangat kecil dengan alat uji tekan bebas. Pasir tersementasi tiruan dengan kadar semen 1% dan 2% diuji didalam alat *cone penetrometer* mini. Nilai-nilai batas adalah regangan lateral volumetrik sama dengan nol dengan tegangan vertikal konstant. Diperoleh bahwa tahanan konus meningkat dengan meningkatnya kadar semen didalam pasir. Namun demikian, tahanan selimut nampaknya tidak ada hubungan langsung dengan volume semen didalam pasir, hanya terlihat bahwa nilainya berkisar antara 50 sampai dengan 150 kPa. Tahanan konus meningkat menjadi 2 kali lipat sampai dengan 4 kali lipat dibandingkan dengan pasir tak tersementasi. Rad and Clough (1982) mengusulkan bahwa ada korelasi antara nilai kuat tekan bebas (q_u) dengan kadar sementasi pada tanah. Tanah dengan nilai q_u antara 100 kPa sampai dengan 300kPa dinyatakan sebagai tersementasi sangat rendah (*weakly cemented*), sedangkan tanah dengan nilai kuat tekan bebas lebih kecil dari 100 kPa, dinyatakan sebagai tersementasi sangat lemah (*very weakly cemented soil*).

Hatmoko (2004) melakukan penelitian mengenai perilaku geser tanah pasir tersementasi buatan (*artificially cemented sand*) didalam alat uji triaksial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan bebas meningkat dengan meningkatnya kadar semen didalam tanah. Hubungan antara derajat sementasi dengan kuat tekan bebas merupakan hubungan linier. Korelasi antara derajat sementasi dengan kohesi tanah adalah positif, dengan hubungan linier. Namun tidak demikian halnya dengan nilai sudut gesek dalam, dimana tidak ada korelasi yang jelas antara derajat sementasi dengan nilai sudut gesek dalam tanah tersementasi. Kuat geser tanah tersementasi yang diuji didalam triaksial konvensional merupakan fungsi dari kuat tekan bebas dan sudut gesek dalam untuk tanah tak tersementasi. Modulus elastis dan sekan modulus untuk tanah tersementasi tidak secara signifikans dipengaruhi oleh tegangan keliling. Antara modulus elastis maupun sekan modulus dengan kadar semen didalam tanah ada hubungan langsung yang berkorelasi positif. Dengan meningkatnya kadar semen, nilai modulus elastis maupun nilai sekan modulus meningkat.

Hatmoko, John T. & Lulie, Y. (2005), melakukan penelitian mengenai kuat tekan bebas tanah ekspansif yang distabilisasi dengan abu ampas tebu dan kapur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kaputr menurunkan tekanan dan potensi pengembangan dengan angka yang cukup berarti. Potensi pengembangan turun dari 12% ke 1,12% , sedangkan tekanan pengembangan turun dari 340 kPa ke 105 kPa, pada tanah dengan kadar kapur 10%. Disamping itu, kepadatan maksimum meningkat dan dicapai nilai maksimum pada kadar kapur 4%. Kuat tekan bebas selalu naik dengan kenaikan prosentase abu ampas tebu. Pada kadar abu ampas tebu 12,5% dicapai kuat tekan bebas maksimum yang kemudian menurun. Clough (1981) meneliti tentang tanah pasir tersementasi tiruan maupun alami. Dia menyimpulkan bahwa garis leleh pada tanah tersementasi maupun tidak menunjukkan kecenderungan yang sama. Garis leleh mendekati persamaan garis lurus dengan slope yang sama. Kohesi meningkat dengan meningkatnya kadar semen pada tanah, sedangkan sudut gesek dalam tidak terpengaruh oleh kadar semen di dalam tanah.

Kasama , et.al (2000) meneliti di dalam alat uji triaksial mengenai lempung yang dicampur dengan semen dalam kondisi *Consolidated Undrained (CU)* dengan kadar semen rendah. Mereka menyimpulkan bahwa garis leleh lempung tersementasi sejajar dengan tanah lempung yang tak tersementasi. *Balasubrahmaniam and Buensuceso*

(1989) meneliti karakteristik kekuatan dan deformasi pada lempung Bangkok yang dicampur dengan kapur di dalam alat uji triaksial dalam kondisi *Consolidated Undrained (UU)*. Berdasarkan sifat-sifat tegangan-regangan, lintasan tegangan, perkembangan tekanan air pori, dan perubahan volume, mereka melaporkan bahwa penambahan kapur pada lempung Bangkok akan meningkatkan kuat geser tanah tersebut.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan penelitian

Bahan penelitian adalah tanah lempung dengan kembang susut tinggi (ekspansive) yang diambil dari Wates D.I.Y., pada kedalaman kurang lebih 2,00 meter. Tanah memiliki plastisitas tinggi ($LL = 90,33$; $PL = 40,33$; $IP = 50$), lepas saringan no. 200 diatas 80%. Berat volume tanah sebesar 16 kN/m^3 , dengan spesifik gravity 2,6. Muka air tanah terletak sekitar 1,20 meter dari muka tanah.

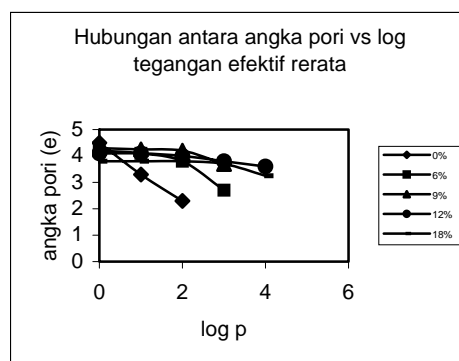
Metode pengujian

Tanah sampel disiapkan dengan kadar semen : 3,6,9,12, 15 dan 18% dengan kadar air ditetapkan sebesar 125% untuk mewakili kondisi takterdrainase. Pengujian fisik yang dilakukan adalah pengujian-pengujian standar. Sedangkan pengujian geser digunakan alat uji triaksial. Jenis pengujian triaksial adalah : *Consolidated Undrained (CU)* dengan kontrol tekanan air pori. Tegangan keliling dari 50 kPa sampai dengan 3000 kPa.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan antara e dengan $\log p$

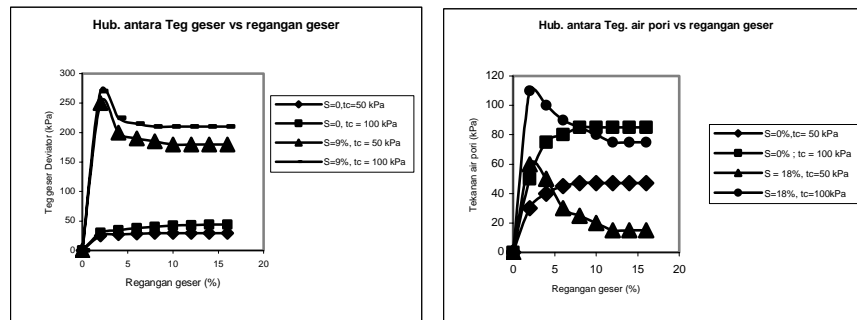
Hubungan antara angka pori (e) dengan logarithma dari tegangan efektif rerata ($\log p$) dari lempung tersementasi dengan kadar semen yang bervariasi terlihat pada gambar 1. Nilai rerata tegangan leleh efektif adalah 60, 220, 380 dan 1800 kPa pada tanah lempung tersementasi dengan kadar semen berturut-turut : 6, 9, 12 dan 18%.



Gambar 1. Hubungan antara angka pori vs log p

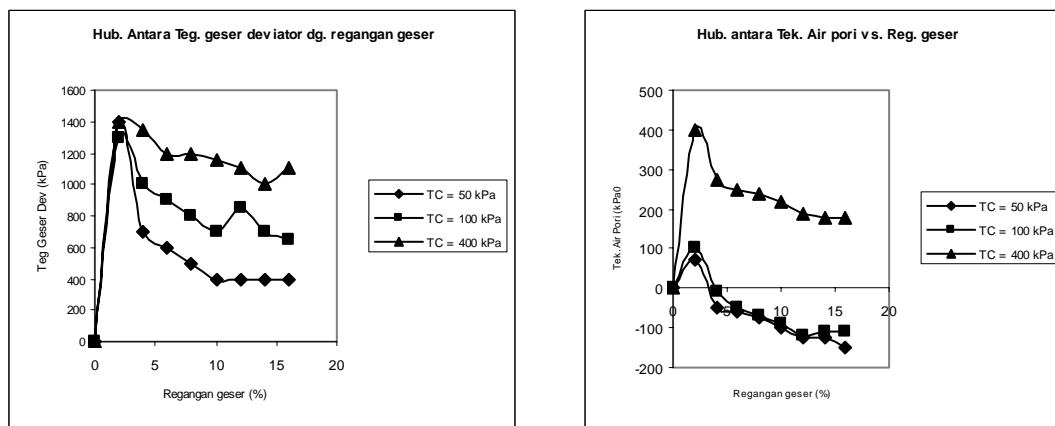
Hubungan tegangan-regangan geser dan tegangan air pori-regangan

Pengaruh sementasi tanah lempung terhadap hubungan antara tegangan-regangan geser untuk tegangan keliling lebih kecil dari tegangan efektif rerata di presentasikan pada gambar 2 dan 3 dengan kadar semen berturut-turut 9% dan 18% dengan kadar air konstan sebesar 125%. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan geser deviator meningkat pada kondisi puncak yang kemudian menurun pada harga q yang lebih rendah. Kondisi tersebut jelas bahwa tegangan deviator puncak tidak dipengaruhi oleh tegangan keliling efektif sebab kadar semen merupakan faktor terbesar ketika tegangan berada pada kondisi batas. Pengaruh sementasi terlihat jelas pada gambar 4 yang menunjukkan bahwa tegangan puncak pada tanah sampel yang tersementasi jauh lebih tinggi dibanding dengan tanah sampel yang tak tersementasi pada tegangan keliling yang sama. Namun demikian, kuat geser tanah lempung tersementasi secara praktis konstan walaupun tegangan keliling ditingkatkan. Hal ini disebabkan oleh perubahan orientasi tanah pada proses konsolidasi.



Gambar 2. Hub. Antara Tegangan geser dan Tek. Air pori vs Reg. Geser ($s=9\%$)

Walaupun hubungan tegangan-regangan geser pada sampel tersementasi pada dasarnya sama, tetapi tekanan air pori cenderung berbeda. Hal ini tergantung pada besarnya tegangan keliling. Disebabkan oleh tegangan geser deviator yang secara praktis sama untuk semua tegangan keliling, tegangan air pori puncak harus meningkat sejalan dengan meningkatnya tegangan keliling dengan demikian akan mengurangi tegangan efektif rerata dan tegangan normal. Setelah kondisi puncak, tegangan air pori mulai menurun.

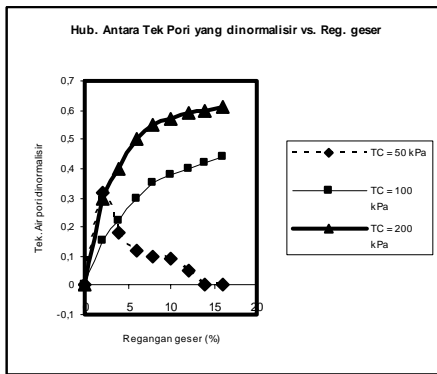


Gambar 3. Hubungan antara Teg. Geser deviator dan Tek. Air Pori vs. Reg. geser ($s=18\%$)

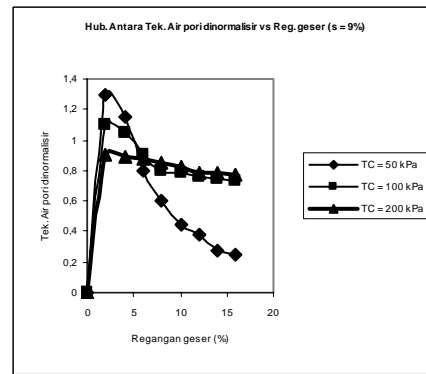
Disini ditemukan bahwa pada tegangan keliling yang sangat rendah dan kadar emen tinggi, tanah sampel terpecah menjadi bagian-bagian kecil. Namun demikian, pada kondisi geser tak terdrainase pengembangan dapat dicegah yang menghasilkan tekanan air pori negatif (gambar 3b). Dengan demikian, kriteria keruntuhan tanah sampel pada tegangan keliling lebih kecil tegangan puncak adalah keruntuhan membengkak yang pada akhirnya tanah sampel terbelah oleh akibat keruntuhan geser.

Untuk membandingkan karakteristik tipikal dari perkembangan tekanan air pori untuk tanah lempung terkonsolidasi lebih dan tanah lempung tersementasi, dibuat hubungan antara tekanan air pori yang dinormalisir (perbandingan antara perbedaan tekanan air pori dengan tegangan keliling) dengan tegangan geser dari tanah lempung asli dengan terkonsolidasi lebih dan tanah lempung tersementasi seperti terlihat pada gambar 4 dan gambar 5 berikut. Ditemukan bahwa puncak tekanan air pori ternormalisir meningkat dengan menurunnya rasio overkonsolidasi pada tanah lempung normal terkonsolidasi lebih (gambar7) disebabkan oleh terjadinya ikatan yang meningkatkan kekuatan maksimum. Dengan kata lain, tekanan air pori ternormalisir cenderung berkurang dengan meningkatnya tegangan keliling dan secara praktis menjadi konstan ketika tegangan keliling melebihi tegangan efektif rerata untuk tanah lempung tersementasi. Hal ini disebabkan ikatan sementasi mulai bekerja ketika tegangan keliling bertambah.

Dapat disimpulkan bahwa kenaikan kuat geser maksimum pada tanah lempung tersementasi terutama disebabkan oleh kadar semen didalam tanah tersebut., tidak dipengaruhi adanya ikatan antar butir tanah dengan semen. Proses pengikatan terjadi pada umumnya pada saat setelah tegangan maksimum terjadi dan hanya berpengaruh terhadap tegangan sisa. Tekanan air pori positif pada kondisi tegangan geser deviator puncak bahkan pada kondisi tegangan keliling yang sangat rendah, dan tekanan air pori tersebut meningkat sebanding dengan meningkatnya tegangan keliling. Tanah lempung tersementasi relatif stabil, sehingga tegangan keliling efektif merupakan faktor utama yang berpengaruh terhadap tekanan air pori mirip dengan perilaku tanah lempung tak tersementasi.



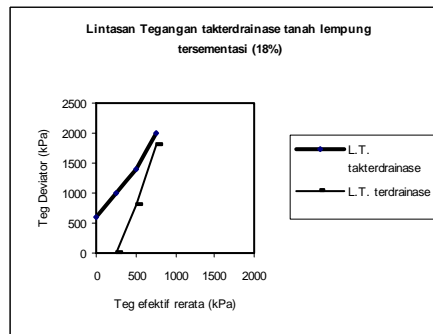
Gb 4. Hub antara Tek Air Pori dinormalisir vs Regangan Geser (s=0%)



Gb.5. Hub Antara Tek Air Pori dinormalisir vs Regangan Geser (S=9%)

Lintasan tegangan tak tedrainase

Lintasan tegangan tipikal pada tanah lempung tersementasi dengan tegangan keliling efektif yang lebih rendah dari tegangan leleh terlihat pada gambar 6. Dari gambar tersebut menunjukkan hasil lintasan tegangan dari tanah sampel dengan kadar semen 18% dengan tegangan keliling yang sangat rendah yaitu sebesar 10 kPa dan 200 kPa. Rasio nilai tegangan leleh merata dengan tegangan keliling sebesar 120 dan 12 untuk tegangan keliling efektif secara berturut-turut sebesar 10 dan 200 kPa. Hal tersebut selanjutnya dapat dibuktikan bahwa tegangan puncak untuk tanah lempung tersementasi secara signifikan dipengaruhi oleh ikatan sebab lintasan tegangan tak tedrainase terletak disebelah kiri dari lintasan tegangan tedrainase sampai dengan pada harga puncak. Kemudian, lintasan bergerak kekanan lintasan tegangan tedrainase .

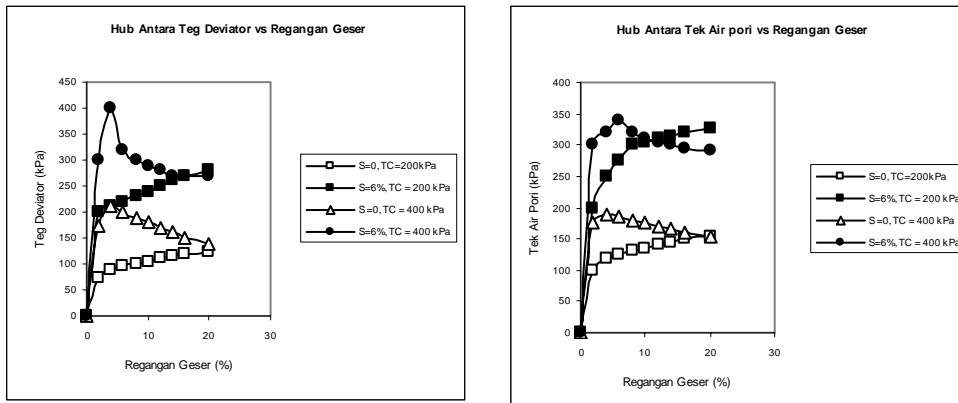


Gambar 6. Lintasan Teg takterdrainase tanah tersementasi (18%)

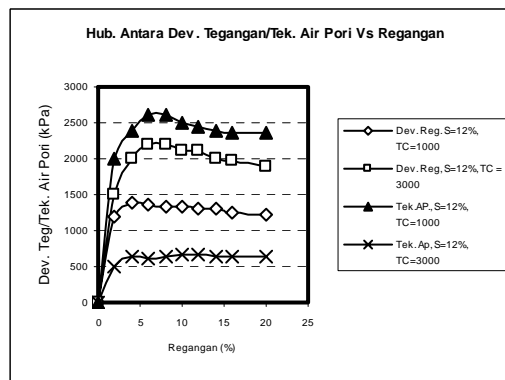
Hubungan antara tegangan deviator, tekanan air pori vs regangan geser pada tegangan keliling tinggi.

Semua sampel diuji dengan tegangan keliling lebih besar dari tegangan efektif merata. Pada kondisi ini, sementasi tanah memberikan sumbangan dalam meningkatkan tegangan puncak yang hal ini tidak terjadi pada tanah tersementasi dalam kondisi terkonsolidasi normal. Pelunakan regangan terjadi pada tegangan keliling tinggi. Perubahan susunan tanah lempung yang disebabkan oleh peningkatan tegangan keliling pada proses konsolidasi menyebabkan partikel-partikel tanah lempung merapat dan berakibat pada terbentuknya gumpalan-gumpalan lempung.

Gambar 7 dan 8 menunjukkan hubungan antara tegangan deviator dan tekanan air pori terhadap regangan geser untuk tegangan keliling tinggi (200 s/d 3000 kPa), baik untuk tanah lempung asli maupun untuk tanah lempung tersementasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan naiknya kadar semen tegangan geser meningkat sampai dengan nilai maksimumnya, sedangkan untuk tekanan air pori terjadi sebaliknya. Tegangan geser puncak meningkat sejalan dengan meningkatnya tegangan keliling. Hal ini disebabkan penurunan angka pori. Tegangan geser deviator pada tanah lempung tersementasi lebih tinggi dibanding dengan pada tanah asli. Hal ini disebabkan oleh adanya ikatan sementasi. Dari gambar-gambar tersebut dapat diperkirakan bahwa kontribusi ikatan sementasi terhadap kenaikan tegangan geser puncak masih ada.



Gambar7. Hubungan Antara Teg Deviator dan Tek. Air Pori vs Regangan Geser



Gambar 8. Hubungan Antara Dev. Tegangan/Tek. Air Pori Vs Regangan

Parameter kuat geser pada tanah lempung tersementasi

Berdasarkan pada hasil penelitian, parameter-parameter kuat geser yang diperoleh dengan pengujian triaksial dengan pengukuran tekanan air pori dapat diperoleh bahwa kohesi maupun sudut gesek dalam tanah lempung naik sesuai dengan kenaikan kadar semen. Hal ini disebabkan terjadinya ikatan sementasi pada tanah lempung tersebut.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Penambahan semen pada tanah ekspansif menurunkan nilai indeks plastisitas. Disamping itu, potensi dan tekanan pengembangan tanah menurun sesuai dengan prosentase semen yang ditambahkan pada tanah tersebut.
- Nilai sudut gesek dalam dan kohesi meningkat sebanding dengan peningkatan kadar semen yang ditambahkan pada tanah yang disebabkan oleh terjadinya ikatan antara semen dengan tanah. Disini terlihat peran sementasi terhadap kenaikan parameter kuat geser tanah.
- Ikatan sementasi memiliki peran yang sangat penting pada kekuatan tanah lempung tersementasi. Pada saat tegangan keliling lebih rendah dari tegangan efektif merata, ikatan sementasi memberikan kontribusi yang cukup pada peningkatan kekuatan tanah. Katahanan geser tidak menurun dengan menurunnya tegangan keliling.
- Pengaruh sementasi pada tekanan air pori akan nampak bilamana tanah sampel menerima tegangan keliling yang lebih kecil dari tegangan efektif merata. Tekanan air pori maksimum pada tanah tersementasi lebih besar dari tanah tak tersementasi pada tegangan keliling yang sama.
- Pada lintasan tegangan tanah tersementasi untuk tegangan keliling lebih kecil dari tegangan efektif merata ditemukan bahwa lintasan terletak disebelah kiri lintasan terdrainasi.
- Pada kadar air tinggi, ikatan antara tanah dengan semen tidak nampak memberikan kontribusi kekuatan pada tanah tersementasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson J.H. (1993) :” The mechanics of cemented carbonate sand”, *Geotechnique, London*, vol. 43, No. 1, pp.53-67.
- Balasubrahmanian , A. S., and Buensuceso, J.R., (1989): “On The Overconsolidated Behavior of lime-treated Soft Clay; *proceeding of 12th. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 1335-1338.
- Chang, T. and Woods,R.D (1992) :” Effects of particle contact bond on shear modulus” *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 118, No.8, pp. 1216-1233.
- Broms, D.D., (1984) : “Stabilisation of Soft-Clay with lime column”; *Proceeding, Seminar on Soil Improvement and construction Techniques in Soft Ground*, Nanyang Technological Institute, Singapore
- Clough (1981) :” Cemented Sand under Static Loading” *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, vol. 115, No.8, pp.1102-1117.
- Gens,A. (1993) :” Conceptual bases for a Constitutive models for bounded soils and weak rock” *Proc. of International Simposium on Geotechnical Engineering*, Vol.1, Balkema, Retterdam, The Netherlands, pp.485-494.
- Hapsoro,STU, 1996 : Stabilisasi Tanah Lempung dengan Abu Terbang dan GEOSTA, *Media Teknik Edisi Des 1996*.
- Hatmoko, John.,T. & Suhartono,F. (2000): Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan menggunakan Pasir dan Semen”. *Laporan Penelitian*, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta 2000.
- Hatmoko, John. T.& Lulie, Y. (2004): ”Perilaku tanah Pasir Tersementasi di dalam Alat Uji Triaksial Konvensional”, *Laporan Penelitian* Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Hatmoko, John., T. & Lulie, Y. (2005) : “UCS Tanah Lempung Ekspansif yang di stabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur”; *Laporan Penelitian* Universitas Atma Jaya
- Horpisbulsuk, S., and Miura, N., (2001): “A New approach for Studying of behavior of cement stabilized clay”*Proceeding the 15th. International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 3, Istanbul, Turkey*, pp. 1759 – 1762.
- Idrus, (1991): ”Stabilisasi Pada Lempung Losari Dengan Kapur dan Semen”., *Master Tesis*, Institut Teknologi Bandung.
- Kasama,K., Ochiai, H., and Yasufuku, N., (2000): “On the Stress-Strain Behavior of lightly Cemented Clay based on extended critical-state concept”; *Soils and Foundation*, vol. 40, No. 5, pp. 37 – 47.
- Lemanza, W., (1994), “Stabilisasi Tanah kohesif berplastisitas tinggi dengan kapur, semen, dan GEOSTA, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia.
- Lorenzo, A.G., and Bergado, D.T (2004),. : “Fundamental Parameters Of Cement-Admixed Clay- A New Approach” ; *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 10, October 2004 , pp. 1042-1050.
- Mitchell,J.K., (1976): “The Properties of Cement Stabilized Soils”, *Proceeding Residential Workshops on Material and Methods for Low Cost Road, Rail and reclamation Works*, Leura, Australia, September 6-10, 1978, published by Unsearch Ltd., University of New South Wales, 1976.
- Nagaraj, T.S., and Miura, N., (2001) :”Soft Clay-Behavior – Analysis and Assessment” ; *Balkema, Rotterdam*, The Netherlands.
- Supriyono, (1995): “Tekanan Pengembangan Untuk tanah tak terusik khususnya pada tanah Ekspansive,” *Majalah Media Teknik*, Fakultas Teknik Universitas Gadjahmada, No. 3, tahun XVII, edisi Desember, Yogyakarta 1995.
- Tjahyati, H., (1994):” Stabilisasi Tanah dengan semen dan GEOSTA”, *Puslitbang PU*, Bandung, Indonesia.
- Mitchell, J.K.(1976):” Fundamentals of Soils Behavior”, John Willey and Sons, Inc, New York.
- Puppala, J.A. et.all (1995) “ Cone Penetration in Very Weakly Cemented Sand” *Journal od Geotechnical Engineering*, vol. 121, No.8, August, 1995, pp.589- 600.
- Rad, N.S. and Clough, G.W. (1982):” The influence of Cementation on the static and dynamic behavior of sand” *Geotechnical Testing Journal* , pp.117-125.
- Saxena (1978):” Static Properties of lightly cemented Sand” *Journal of Geotechnical Engineeringf Divission; ASCE* , vol. 104, No.12, pp. 1449-1465
- Wong, I.H., and Poh, T.Y. (2000):”Effect of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structures”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.126, Number 3, March 2000.