

## PERILAKU PEMAMPATAN TANAH TERGANGGU YANG DIRESTRUKTURISASI SECARA BUATAN

Made Dodiek Wirya Ardana dan Tjokorda Gede Suwarsa Putra  
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. Sudirman, Denpasar  
Email: mddodiekwa2@gmail.com

**Abstrak:** Tanah yang terdeposit di alam akan memiliki struktur tanah secara alamiah. Struktur tanah akan memberikan ciri pada parameter sifat fisik dan mekanik tanah. Tanah dapat mengalami kerusakan struktur alamiahnya karena aktivitas/gangguan luar seperti pembebanan dan gangguan mekanik, misalnya pengambilan contoh tanah (*sample*). Tanah yang mengalami kerusakan struktur (*remolded*) akan kehilangan sebagian besar dari kemampuannya dalam memberikan respons mekanik atau daya dukung serta perilaku pemampatannya. Untuk mengembalikan kondisi struktur tanah yang telah rusak dengan cara alamiah, dibutuhkan waktu geologi yang sangat lama. Pada penelitian ini, dilakukan upaya pembentukan struktur tanah buatan dengan merekayasa pertumbuhan struktur tanah dengan menambahkan bahan aditif. Tanah *remolded* berupa lempung hasil fabrikasi dicampur dengan bahan semen dengan variasi kadar tertentu. Campuran semen dan tanah lempung dengan kadar air pada batas cair dibentuk sebagai benda uji dan diberikan beban pra-konsolidasi dalam kurun waktu tertentu. Uji konsolidasi satu dimensi dilakukan pada seri benda uji sesuai dengan kadar aditif dan waktu pembebanan pra-konsolidasi. Hasil uji indeks pemampatan,  $c_c$  untuk variasi kadar semen 0%; 0,5%; 1%; 3% dan 6% adalah 0,41; 0,44; 0,49, 0,61 dan 0,62 Sedangkan uji indeks pemampatan pada benda uji tanpa aditif yang diberikan beban pra-konsolidasi 25 kPa dengan lama waktu pembebanan 2, 30, 45, 60, dan 80 hari memberikan hasil pada kisaran 0,34.

**Kata kunci:** struktur tanah, kerusakan struktur, remolded, konsolidasi, indeks pemampatan.

### *COMPRESSION BEHAVIOUR OF ARTIFICIALLY RESTRUCTURED DISTURBED SOIL*

**Abstract:** *The deposit soil in nature naturally possess its structure. The soil structures distinguish the physical and mechanical properties of soil. The soil structure degradation in nature may occur due to disturbances such as construction loads and mechanical disturbance during soil sampling. Remolded soil which degrade most of its structures loss the mechanical responses or bearing capacity and change its compression behavior. Restore the soil structure will essentially need such a very long geologic time. In this study, an effort to restore the soil structure is conducted. An additive compound such as cement is mixed with remolded soil to generate the artificial soil structure. The remolded soil which is a fabricated soil mixed with the cement at its liquid limit water content. The soil-cement mixture then to be casted and burdened to a certain pre-consolidation load for a variation duration of loading time. One-dimensional consolidation tests are carried out for those samples accordingly. The test results show the compression index of samples mixture with amount of additive compound 0%, 0,5%, 1%, 3% and 6% are adalah 0,41; 0,44; 0,49, 0,61 and 0,62. The compression indexes for samples burdened with pre-consolidation pressure of 25 kPa and duration of loading time 2, 30, 45, 60 and 80 days show similar value of 0.34.*

**Keywords:** *soil structure, structure degradation, remolded, consolidation, compression index*

## PENDAHULUAN

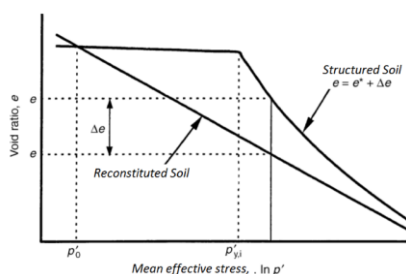
Partikel pembentuk tanah dan sistem gaya antar partikel tanah memiliki variasi yang sangat tidak terbatas sehingga potensi banyaknya struktur tanah yang terbentuk juga tidak terbatas banyaknya. Sifat mekanik tanah merupakan refleksi secara langsung dari pengaruh pentingnya keberadaan struktur tanah (Mitchell, 1976). Pengetahuan tentang hubungan antara jenis tanah, struktur tanah, dan sifat fisik dan mekaniknya akan memudahkan pemahaman tentang perilaku tanah. Struktur tanah secara sederhana diistilahkan sebagai susunan dan ikatan partikel pembentuk tanah yang memberikan ciri pembeda sifat mekanik dari tanah yang tidak terganggu (*structured*) dan tanah terganggu (*destructured*) (Liu dan Carter, 2000; Suebsuk *et al.*, 2010). Perilaku kembang susut, keruntuhan dan pemampatan tanah dipengaruhi langsung oleh struktur tanah. Pada kondisi sebenarnya di lapangan, tanah sangat mudah mengalami kerusakan struktur akibat gangguan dari luar, misalnya adanya pembebanan. Penelitian tentang perilaku tanah, khususnya tentang kemampu-mampatan tanah tidak terganggu secara alamiah di alam, telah banyak di teliti (Locat and Levebre, 1985; Mitchell, 1976). Penelitian sejenis telah banyak dilakukan dalam rangka perbaikan tanah (Nagaraj *et al.*, 2003). Pada studi ini, dilakukan penelitian dengan upaya untuk membangun kembali struktur tanah yang telah rusak secara menyeluruh (*destructured soil*, *disturbed soil* atau *remolded soil*) dengan melakukan penambahan bahan aditif dan pembebanan pra-konsolidasi. Pemberian beban pra-konsolidasi di laboratorium dan pemeraman dalam waktu tertentu menjadi kebaruan penelitian ini. Selanjutnya, akan

dilakukan uji untuk memeriksa pertumbuhan struktur tanah dan parameter pemampatannya.

## Struktur dan Pemampatan Tanah

Tanah dapat memiliki struktur yang berbeda-beda. Faktor yang mempengaruhi struktur tanah adalah 1) faktor komposisi contohnya adalah kandungan mineral, ukuran butir, bentuk butir, bahan kimia pada air pori, serta kadar air sedangkan 2) faktor lingkungan contohnya adalah tekanan, temperatur, konsentrasi bahan terlarut, metode dan usaha pemadatan serta waktu. Kedua faktor tersebut akan membentuk struktur awal tanah (*initial structure*). Di alam, proses fisik dan kimia seperti pelapukan, sementasi, transformasi mineral, pengaruh tekanan, konsolidasi, geser, erosi, kembang-susut, kombinasi efek tekanan-temperatur-waktu akan memberikan perubahan secara alamiah pada struktur awal ini dan pada akhirnya akan membentuk struktur final (*final structure*).

Tanah lempung lunak memiliki kekuatan (*strength*) yang rendah dan memiliki potensi kemampu-mampatan (*compressibility*) yang besar. Sifat mekanik tanah jenis ini membutuhkan upaya perbaikan tanah untuk meningkatkan kemampuan dan kekuatannya. Dalam hal yang lain, ketergangguhan tanah yang berakibat rusaknya struktur tanah juga merupakan potensi yang menurunkan kekuatan tanah. Idealisasi perilaku pemampatan tanah untuk tanah yang masih memiliki struktur dan tanah yang telah kehilangan struktur secara menyeluruh diberikan oleh Liu dan Carter, 2000 (Gambar 1). Ilustrasi kualitatif dari idealisasi tanah berstruktur dan tidak berstruktur tersebut di atas memperlihatkan perbedaan nilai angka pori ( $\Delta e$ ) pada tegangan efektif yang sama.

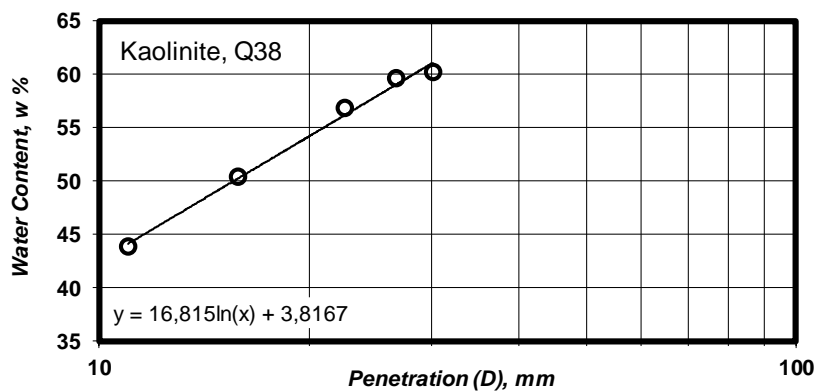


Gambar 1. Idealisasi perilaku pemampatan tanah berstruktur (*structured soil*) dan tanah tidak berstruktur (*reconstituted soil*) (Liu dan Carter, 2000)

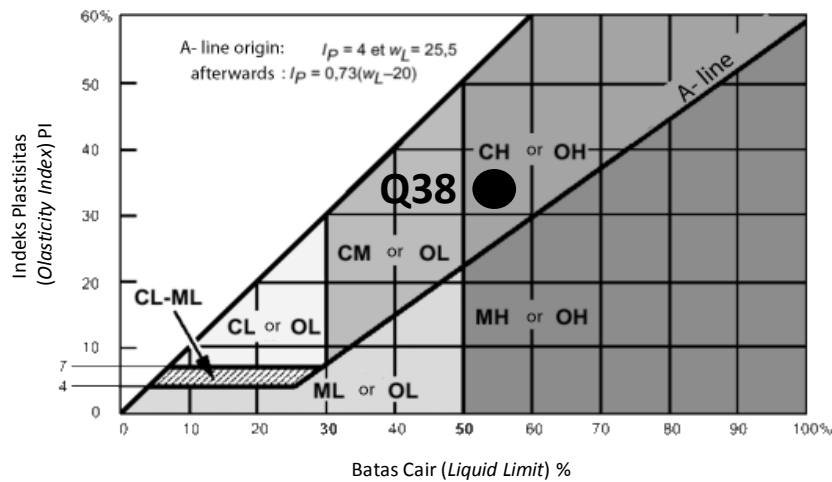
Pengujian standar pemampatan memberikan informasi tentang parameter konsolidasi dan kekuatan tidak tersekup dari suatu tanah. Evaluasi pengaruh ketergangguan tanah (benda uji) pada parameter konsolidasi dapat ditentukan dari tanah yang secara ideal tidak terganggu (*undisturbed* atau *structured soil*) atau tanah yang tersementasi (Shogaki and Kaneko, 1994). Perilaku pemampatan tanah dapat dipantau dari degradasi struktur tanah akibat ketergangguan (*disturbance*). Tanah/benda uji yang terganggu ditandai dengan nilai angka pori,  $e$ , yang kecil dan sebaliknya nilai penurunan (*settlement*) yang sangat besar. Salah satu parameter indeks pemampatan, yaitu besarnya penurunan, dapat dengan mudah dijadikan indikator perilaku pemampatan.

**Benda Uji dan Prosedur Pengujian**

Material tanah yang digunakan dalam studi ini adalah tanah lempung dari keluarga *kaolinite* (*Kaolinite Q38*) yang merupakan hasil fabrikasi. Tanah fabrikasi ini digunakan untuk memodelkan kerusakan struktur pada tanah *disturbed* atau *remolded*. Tanah ini telah mengalami kerusakan secara fisik, bentuk fisik berupa serbuk/bubuk dan dalam keadaan kering. Ukuran butir tanah fabrikasi ini adalah lolos saringan no.200. Tanah ini memiliki batas-batas *Atterberg* yaitu kadar air pada batas cair *LL* sebesar 55%, kadar air batas plastis *PL* sebesar 22%, dan indeks plastisitas *PI* sebesar 33%. Dari besaran hasil uji tersebut, tanah *Kaolinite Q38* termasuk dalam kelompok tanah lempung dengan plastisitas tinggi (*CH*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Kadar air batas cair *Kaolinite Q38*



Gambar 3. Kategori *CH-Kaolinite Q38*

Peralatan yang digunakan untuk membentuk benda uji dirancang secara khusus untuk mendapatkan dimensi (tinggi dan diameter) benda uji yang sesuai dengan persyaratan benda uji pada alat uji konsolidasi satu dimensi (*one-dimensional oedometer*). Alat ini memiliki fasilitas pembebanan aksial untuk menerapkan tegangan pra-konsolidasi pada benda uji. Benda uji akhir yang terbentuk mempunyai dimensi tebal 20 mm dan diameter 50 mm. Skema variasi benda uji adalah; Seri I, benda uji dibuat dari campuran tanah *Kaolinite Q38* dengan aditif semen tipe I dengan kadar masing-masing 0%, 0,5%, 1%, 3%, dan 6% dan diperam selama 2 hari; Seri II, benda uji dibuat dari tanah *Kaolinite Q38* murni dan diberikan beban pra-konsolidasi sebesar 25 kPa selama 1 hari, 30 hari, 45 hari, 60 hari, dan 80 hari. Maksud dari penambahan kadar semen pada masing-masing benda uji Seri I adalah bukan untuk mendapatkan kuat tekannya, tetapi untuk melihat proses sementasi yang terjadi atau pertumbuhan struktur tanah buatan akibat proses sementasi. Sedangkan pada variasi lamanya, pemberian beban pra-konsolidasi pada benda uji Seri II yang tidak diberi aditif semen adalah untuk melihat ada atau tidaknya pertumbuhan struktur tanah. Pada kedua seri benda uji dilakukan uji konsolidasi satu dimensi yang mengacu pada prosedur ASTM D2435–96.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Struktur Tanah Buatan

Hasil uji konsolidasi untuk benda uji Seri I dan II diberikan dalam grafik hubungan angka pori (*void ratio*,  $e$ ) dan tegangan efektif (*effective stress*,  $p$ , kPa). Gambar 4a dan Gambar 4b secara berturut-turut menyajikan hubungan  $e$ -log  $p$  untuk benda uji Seri I dan Seri II. Seperti ilustrasi idealisasi tanah, kedua rangkaian grafik  $e$ -log  $p$  memberikan pola ideal untuk tanah yang memiliki struktur (disebut sebagai struktur buatan) dan tanah yang tidak memiliki struktur. Bila tanah *remolded* dengan kadar aditif semen sebesar 6% adalah tanah yang memiliki struktur yang utuh, maka tanah tersebut dapat dianalogikan dengan tanah tidak terganggu (*undisturbed* atau *structured soil*). Keempat grafik lainnya dapat dianalogikan sebagai tanah yang

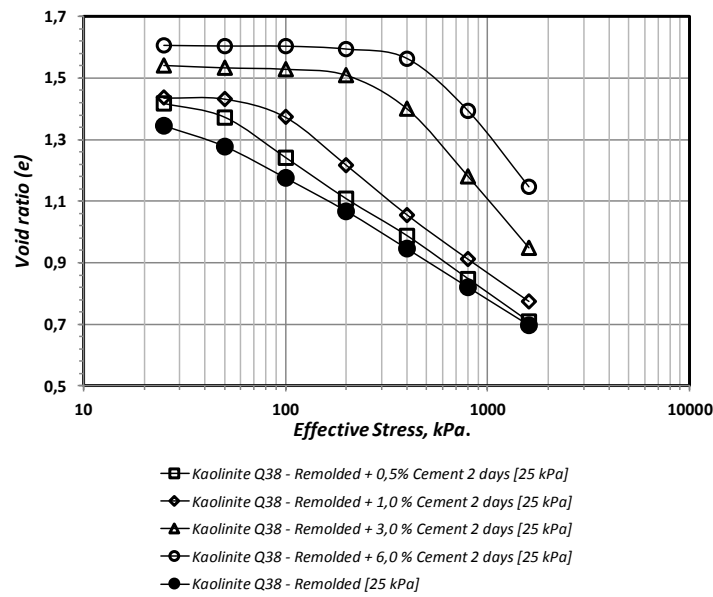
terganggu (*disturbed soil*). Perbedaan angka pori ( $\Delta e$ ) pada masing-masing benda uji Seri I terlihat jelas pada semua tegangan efektif yang diterapkan. Penambahan kadar aditif semen pada tanah *remolded* ini membentuk struktur tanah buatan akibat proses sementasi yang terjadi pada partikel tanah. Tanah *remolded* yang tidak berstruktur, setelah mengalami proses sementasi, memberikan perilaku idealnya tanah berstruktur. Pola ideal keruntuhan tanah berstruktur saat menerima beban ditunjukkan pada kurva-kurva benda uji Seri I, yaitu terdapat tegangan efektif batas yang akan menghancurkan struktur tanah dan menyebabkan tanah kehilangan strukturnya atau tanah mulai mengalami keruntuhan/deformasi. Hal ini ditandai dengan adanya perubahan kemiringan kurva (*gradient*) pada tegangan efektif batas konsolidasi. Di lain pihak, seperti ditunjukkan Gambar 4b, kurva-kurva pada benda uji Seri II, yang tidak diberikan aditif semen tetapi diperam dalam waktu tertentu, ternyata tidak menunjukkan adanya pembentukan struktur buatan. Hal ini terlihat pada kurva-kurva  $e$ -log  $p$  pada Seri II tersebut yang memiliki *gradient* yang hampir sama. Artinya, saat tegangan konsolidasi diterapkan, tanah masih memiliki perilaku yang sama yaitu seperti halnya tanah *remolded*.

### Pemampatan

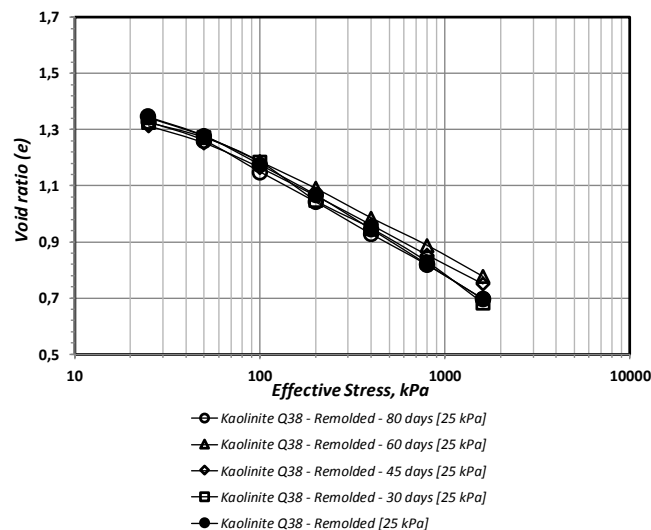
Terbentuknya struktur buatan pada campuran tanah dengan variasi aditif semen memberikan angka pori awal ( $e_0$ ) yang berbeda secara signifikan pula. Pada beban pra-konsolidasi yang sama yaitu sebesar 25 kPa, benda uji pada Seri I menunjukkan nilai angka pori mulai dari kisaran 1,6–1,3. Hal ini mengikuti kondisi ideal tanah yang berstruktur (*undisturbed* atau *structured soil*) pada kadar aditif 6% dan tanah yang tidak berstruktur secara menyeluruh pada kadar aditif 0% (*remolded soil*). Indeks pemampatan pada benda uji dengan struktur tanah (aditif 6%) memberikan gambaran *gradient* yang lebih curam daripada benda uji benda uji-benda uji yang kadar aditifnya lebih rendah, begitu pula dengan tanah tanpa struktur. Benda uji pada

Seri II dengan kurva-kurva seperti Gambar 4.b. menunjukkan bahwa upaya pemeraman pada benda uji dengan beban pra-konsolidasi 25 kPa selama 80 hari tidak memberikan efek pertumbuhan struktur tanah. Dengan demikian, perilaku pemampatannya bila ditinjau dari besarnya indeks pemampatan tidak banyak memberikan perbedaan atau dengan kata lain pada penerapan tegangan efektif yang berbeda-beda tidak memberikan perubahan indeks pemampatan. Uji konsolidasi satu dimensi dilakukan pada seri-seri benda uji

sesuai dengan kadar aditif dan waktu pembebanan pra-konsolidasi. Hasil pengujian indeks pemampatan,  $c_c$  untuk variasi kadar semen 0%; 0,5%; 1%; 3% dan 6% adalah 0,41; 0,44; 0,49, 0,61 dan 0,62 Sedangkan hasil pengujian indeks pemampatan pada benda uji tanpa aditif yang diberikan beban pra-konsolidasi 25 kPa dengan lama waktu pembebanan 2, 30, 45, 60 dan 80 hari memberikan hasil pada kisaran 0,34.



Gambar 4.a. Hubungan e- log p Seri I



Gambar 4.b. Hubungan e- log p Seri II

## SIMPULAN DAN SARAN

Studi ini mempelajari perilaku pemampatan tanah pada tanah yang direkayasa untuk memiliki kembali struktur tanah (struktur tanah buatan). Tanah yang telah rusak struktur tanahnya, tidak dapat diharapkan dapat merestrukturisasi dirinya kembali dalam waktu yang pendek. Untuk membuat struktur buatan pada tanah, proses sementara dapat dilakukan dengan melakukan penambahan aditif yang mengikat partikel-partikel tanah dengan proses penyemenan. Tanah yang mengalami ketergangguan atau kerusakan struktur atau tanah yang tidak lagi memiliki struktur secara menyeluruh memiliki perilaku pemampatan yang berbeda secara signifikan. Indeks pemampatan tanah pada tanah yang berstruktur memiliki kemiringan atau gradien pemampatan yang lebih tajam daripada tanah yang tidak memiliki struktur tanah. Hal ini terjadi karena struktur tanah merupakan salah satu penyumbang kekuatan tanah dalam menerima gangguan atau mendukung pembebanan. Dari studi ini didapatkan indeks pemampatan pada tanah dengan analogi tanah berstruktur yaitu dengan kadar aditif semen 6% adalah 1,5 kali dari tanah yang tidak berstruktur. Sedangkan untuk tanah tidak berstruktur, meskipun diperam hingga 80 hari ternyata tidak menunjukkan pembentukan struktur sehingga besar nilai indeks pemampatannya adalah cenderung sama yaitu sebesar 0,34.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada teknisi-teknisi Laboratorium Mekanika Tanah University of Wollongong, NSW, Australia atas segala bantuannya dalam membangun alat uji konsolidasi skala besar yang salah satu komponen alatnya dipergunakan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Liu, M.D. and Carter, J.P. 2000. Modelling the Destructuring of Soils During Virgin Compression, *Geotechnique* 50 (4). p.479–483.
- Locat, J. and Levebre, G. 1985. The Compressibility and Sensitivity of an Artificially Cemented Clay Soil, *Geotechnol.* 6 (1). p.1- 27.

- Mitchell, J.K. 1976. *Fundamental of Soil Behaviour*. John Wiley and Sons, New York.
- Nagaraj, T.S., Miura, N., Chung, S.G. and Prasad, K.N. 2003. Analysis and Assessment of Sampling Disturbance of Sensitive Clays, *Geotechnique* 53 (7). p. 679–683.
- Shogaki, T. and Kaneko, M. 1994. Effects of Sample Disturbance on Strength and Consolidation Parameter of Soft Clay, *Soils and Foundation* 34 (3). p.1-10.
- Suebsuk, J., Horpibulsuk, S. and Liu, M.D. 2010. Modified Structured Cam Clay: A Generalized Critical State Model for Destructured, Naturally Structured and Artificially Structured Clays. *Computers and Geotechnics*, doi:10.1016/j.compgeo. 2010.08. 002.