

STABILISASI TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN KAPUR PADA KONDISI KADAR AIR LAPANGAN

Yulian Firmana Arifin¹ dan Markawie²

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat, Kampus Unlam Banjarbaru, Telp 0511-4773868, email: yulianfirmana@yahoo.com.

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat, Kampus Unlam Banjarbaru, Telp 0511-4773868.

ABSTRAK

Paper ini membahas mengenai stabilisasi tanah lempung lunak dengan kapur pada kondisi kadar air lapangan. Sampel yang digunakan adalah lempung lunak dari Marabahan, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan. Kadar air sampel mula-mula adalah 76,2%. Sampel dicampur dengan kapur alam yang telah dihaluskan dan disaring dengan saringan No. 20 dengan persentase 4, 8, 12, 16, dan 20 persen berdasarkan berat kering sampel. Sampel yang telah dicampur dengan kapur diperam selama 7 dan 14 hari. Beberapa uji dilakukan di laboratorium antara lain uji plastisitas tanah, uji geser langsung, *unconfined compression test*, *vane shear test*, konsolidasi, dan CBR. Hasilnya memperlihatkan terjadinya penurunan nilai-nilai plastisitas tanah (batas cair dan indeks plastisitas) dan parameter kompresi tanah (c_c dan c_s) dengan meningkatnya persentase kapur. Sedangkan nilai-nilai kohesi, sudut gesek dalam, q_u dan q_r , dan CBR meningkat dengan meningkatnya persentase kapur. Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa waktu pemeraman berpengaruh terhadap parameter-parameter tanah yang dicampur kapur.

Kata kunci: stabilisasi kapur, kadar air lapangan, kuat geser tanah, pemampatan, CBR

1. PENDAHULUAN

Penggunaan kapur sebagai bahan stabilisasi tanah telah dikenal sejak lama. Stabilisasi dengan kapur telah digunakan dengan sukses untuk konstruksi dan peningkatan Bandar Udara Internasional Denver tahun 1991-1993 dan yang terbaru adalah di tahun 2003 [1]. Sembilan inchi lapisan subgrade yang distabilisasi dengan kapur terletak di bawah runway dan taxiway dan 18 inchi terletak di bawah apron. Untuk peningkatan Bandara Internasional Houston, sistem perkerasannya juga menggunakan lapisan subbase yang distabilisasi dengan kapur setebal 24 inchi.

Dari perhitungan biaya, penggunaan stabilisasi dengan kapur dapat mengurangi biaya konstruksi [1]. Contohnya pada sebuah proyek jalan raya di Pennsylvania, proyek tersebut memerlukan dana sebesar USD 29,3 juta jika dikerjakan dengan menggunakan desain biasa. Dengan menggunakan stabilisasi kapur, dana yang dibutuhkan hanya USD 21,6 juta atau dapat dikurangi lebih dari 25%. Di tempat lain di Arlington Texas pada proyek pabrik perakitan General Motor seluas 24 hektar, dana yang digunakan dapat dihemat lebih dari ratusan ribu dollar karena menggunakan lapisan yang distabilisasi dengan kapur.

Efek penambahan kapur pada tanah secara umum dapat dikategorikan sebagai pengeringan tanah, modifikasi tanah, dan stabilisasi tanah [1], [2]. Pengeringan tanah adalah pengurangan kadar air tanah secara cepat karena reaksi kimia antara air dan kapur serta penambahan material yang kering ke dalam tanah. Panas yang dihasilkan dari reaksi ini juga mengakibatkan pengeringan tanah. Disamping pengeringan, penambahan kapur juga mengakibatkan 2 reaksi utama, yaitu pertukaran kation dan flokulasi-aglomerasi yang terjadi secara cepat dan menghasilkan perbaikan plastisitas tanah secara cepat, mudah dikerjakan, dan pengurangan perubahan volume. Setelah pencampuran, ion calcium (C_a^{++}) dari kapur bermigrasi ke permukaan partikel lempung dan menggantikan air dan ion lain [3]. Tanah menjadi seperti berbutir, membuatnya mudah untuk dikerjakan dan dipadatkan. Modifikasi ini bersifat sementara dan tidak mengakibatkan peningkatan kekuatan tanah [1].

Berbeda dengan modifikasi, kapur yang digunakan sebagai stabilisasi dan peningkatan kekuatan subbase dan base di bawah perkerasan menghasilkan perubahan permanen pada karakteristik tanah. Ketika kapur dan air ditambahkan ke dalam tanah, pH tanah secara cepat meningkat di atas 10,5 yang memungkinkan kimia partikel lempung menjadi berubah. Silika dan alumina dilepaskan dan bereaksi dengan kalsium dari kapur membentuk kalsium-silika-hidrat (CSH) dan kalsium-aluminat-hidrat (CAH). Senyawa-senyawa ini membentuk matrik yang memberikan kontribusi pada kekuatan tanah yang

distabilisasi dengan kapur [1]. Pengaruh stabilisasi kapur biasanya diukur setelah 28 hari atau lebih, akan tetapi dapat dipercepat dengan menaikkan suhu tanah selama proses pemeraman [4].

Beberapa karakteristik tanah yang berubah ketika menggunakan stabilisasi kapur adalah pengurangan plastisitas tanah dan perubahan volume tanah [5], karakteristik pemadatan, potensi mengembang dan perubahan tekstur tanah [6], meningkatkan *unconfined compressive strength* [7], [8], daya dukung tanah yang ditunjukkan dengan peningkatan CBR tanah yang diuji di laboratorium maupun di lapangan [5], [9].

Beberapa peneliti juga telah berusaha menggunakan bahan kimia untuk menstabilisasi tanah lunak [10], [11]. Referensi [10] melaporkan hasil stabilisasi lempung lunak Batola dengan menambahkan aditif yaitu limbah karbit dan abu batubara dengan variasi persentase penambahan dan waktu pemeraman. Nilai CBR terbesar didapat pada sampel dengan pemeraman 7 hari pada variasi campuran 12% dengan nilai CBR sebesar 2,96% atau naik 2,19%. Hanya saja tes dilakukan pada kondisi pemadatan standar (Proctor). Hal ini tidak realistis karena kadar air asli lempung di lapangan adalah 127%. Diperlukan usaha yang besar untuk mengurangi kadar air lapangan (127%) menjadi kadar air optimum (35%). Selain itu, Referensi [11] telah melakukan stabilisasi tanah lempung lunak dengan menambahkan aditif berupa kapur dan abu batubara dan diperoleh kadar air optimum 18,03% dengan nilai CBR sebesar 2,56% pada campuran 10% atau naik 1,35%. Masalahnya kadar air lapangan tanah lempung tersebut adalah 83,96%.

Hasil penelitian di atas menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara kadar air lapangan dengan kadar air optimum laboratorium setelah distabilisasi, sehingga dalam pelaksanaan di lapangan sangat sulit dilakukan. Maka perlu adanya perbaikan tanah lempung dengan bahan campuran zat aditif misalnya kapur dengan tanpa merubah kadar air lapangan sehingga lebih realistis untuk diaplikasikan di lapangan. Metode atau cara memperbaiki sifat-sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena didalam proses perbaikan sifat-sifat tanah terjadi proses kimia dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam aditif untuk bereaksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur terhadap plastisitas, kuat geser dan pemampatan lempung lunak pada kondisi kadar air lapangan dengan mempertimbangkan persentase kapur dan waktu pemeraman.

2. MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah lempung lunak dari Marabahan, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan. Tanah tersebut diuji di laboratorium pada kondisi tak terganggu dan kondisi terganggu dengan prosedur pengujian berdasarkan standar ASTM [12]. Hasil pengujian tanah sebelum dilakukan stabilisasi seperti terlihat pada Tabel 1. Uji kimia juga dilakukan terhadap tanah sebelum distabilisasi. Hasil uji kimia tanah terlihat pada Tabel 2.

Kapur yang digunakan pada penelitian ini adalah kapur alam yang diambil di daerah pegunungan di Kec. Sungai Kupang, Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan.

Tabel 1: Karakteristik tanah yang diuji

Parameter		Nilai
<i>Specific gravity</i>		2,56
Kadar air (w)	(%)	76,2
Berat volume tanah (g)	Mg/m ³	1,52
Distribusi ukuran butir		
Kerikil (>2 mm)	(%)	0
Pasir kasar (0,6-2,0 mm)	(%)	0,93
Pasir medium (0,2-0,6 mm)	(%)	0,94
Pasir halus (0,05-0,2 mm)	(%)	5,96
Lanau (0,002-0,05 mm)	(%)	35,90
Lempung (<0,002 mm)	(%)	56,26
Plastisitas tanah		
Batas cair (LL)	(%)	100
Batas Plastis (PL)	(%)	35,5
Indeks plastisitas (PI)	(%)	64,5
Kuat geser tanah langsung		
c	kg/cm ²	0,109
φ	(°)	14

<i>Unconfined compression test</i>		
q_u	kg/cm ²	0,059
q_r	kg/cm ²	0,043
S_t		1,36
Konsolidasi		
c_c		0,75
c_s		0,12
c_v	cm ² /s	5 x 10 ⁻⁴
CBR _{laboratorium}	(%)	0,73

Tabel 2: Kimia tanah yang diuji

Parameter		Nilai
C	%	0,70
N	%	0,05
K ₂ O	mg/100g	0,99
P ₂ O ₅	mg/100g	4,04
P ₂ O ₅ -Bray	Ppm	0,64
pH		3,66
Ca	meq/100g	6,50
Mg	meq/100g	0,30
Na	meq/100g	0,39
K	meq/100g	0,04
Cation exchange capacity	meq/100g	27,36

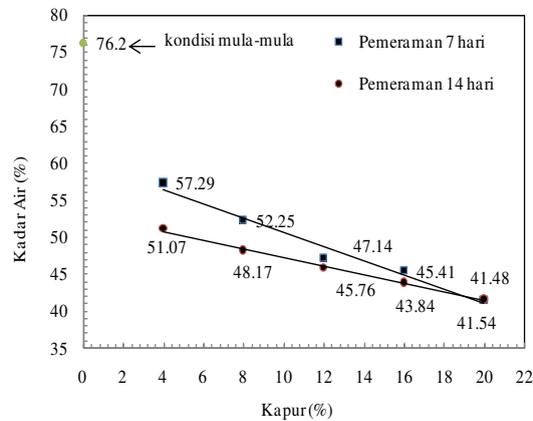
3. TEKNIK DAN PROSEDUR

Penelitian diawali dengan pengambilan sampel di lapangan dengan menggunakan dua metode yaitu pengambilan sampel terganggu dan tak terganggu. Sampel tak terganggu diuji sifat fisik dan mekaniknya untuk mendapatkan kondisi awal sebelum distabilisasi. Uji yang dilakukan antara lain *specific gravity*, berat volume, kadar air, distribusi ukuran butiran, plastisitas tanah, kuat geser langsung, *unconfined compression test*, konsolidasi, dan *California Bearing Ratio (CBR)* laboratorium. Uji dilakukan berdasarkan standar ASTM [12].

Untuk sampel terganggu, sampel dicampur dengan kapur untuk mempelajari perilaku tanah yang dicampur dengan kapur. Prosedur pencampuran dan pemeraman benda uji diawali dengan mengeringkan kapur di oven terlebih dahulu. Kapur kering ditumbuk kemudian disaring menggunakan saringan No. 20 sesuai dengan kebutuhan pengujian laboratorium. Campur sampel tanah terganggu tersebut tanpa merubah kadar air lapangan dengan kapur sesuai dengan persen campuran kapur. Persentase yang digunakan adalah persentase berat kering sehingga berat kering tanah dihitung berdasarkan kadar air sampel mula-mula. Sampel yang dicampur dengan kapur dimasukkan dalam pipa PVC mendekati berat volume asli lapangan, diperam atau didiamkan selama 7 hari dan 14 hari. Prosedur yang sama dilakukan untuk semua variasi benda uji. Setelah mencapai waktu pemeraman, benda uji dikeluarkan dan dicetak sesuai uji yang dilakukan. Uji yang dilakukan adalah kadar air setelah pencampuran, plastisitas tanah, uji kuat geser langsung, *vane shear test*, *unconfined compression test*, konsolidasi, dan *CBR*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel yang dicampur dengan kapur dan diperam kemudian diuji kadar airnya. Gambar 1 memperlihatkan kurva hubungan kadar air dengan persentase kapur. Seperti terlihat pada gambar, kadar air sampel berkurang dengan bertambahnya persentase kapur.



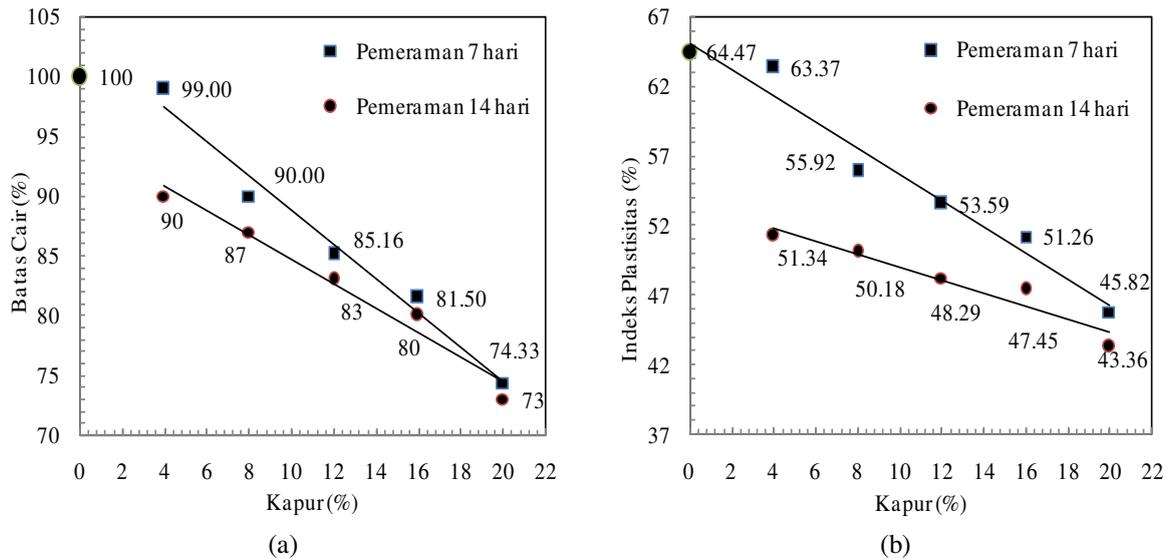
Gambar 1: Pengaruh persentase kapur terhadap kadar air sampel

Gambar 1 juga memperlihatkan bahwa kadar air sampel yang diperam 7 hari lebih tinggi dari 14 hari. Hal ini membuktikan bahwa penurunan kadar air tidak hanya diakibatkan oleh penambahan kapur kering pada sampel, akan tetapi juga ada proses kimia yang terjadi dimana proses tersebut dipengaruhi oleh waktu [1], [2]. Pengaruh persentase kapur dan waktu terlihat tidak berpengaruh ketika pada persentase kapur 20%.

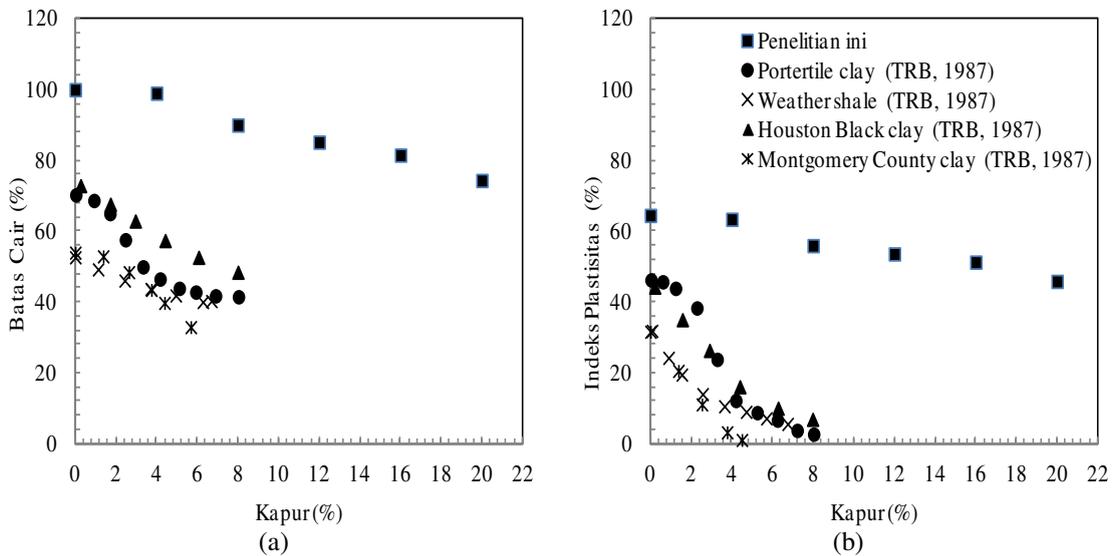
Pengaruh kapur terhadap plastisitas tanah

Gambar 2(a) dan 2(b) masing-masing memperlihatkan kurva pengaruh persentase kapur terhadap plastisitas tanah yang diperlihatkan dengan batas cair dan indeks plastisitas. Seperti terlihat pada Gambar 2, batas cair dan indeks plastisitas tanah berkurang dengan meningkatnya persentase kapur. Kurva batas cair sampel yang diperam 14 hari di bawah kurva sampel yang diperam 7 hari. Hal ini memperlihatkan pengaruh waktu pemeraman terhadap plastisitas tanah. Nilai batas cair terlihat tidak dipengaruhi oleh waktu pada persentase kapur 20%. Hal ini disebabkan karena persentase kapur dibandingkan persentase lempung di dalam campuran menjadi berkurang. Pada persentase kapur 20%, perbandingan antara kapur dan lempung menjadi 1 banding 2.

Gambar 3(a) dan 3(b) masing-masing memperlihatkan pengaruh penambahan kapur terhadap batas cair dan indeks plastisitas beberapa lempung yang didapat pada penelitian ini (Gambar 2) dan dari literatur [13]. Seperti terlihat pada Gambar 3(a), lempung yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai batas cair lebih tinggi dari lempung lain. Penambahan kapur yang digunakan oleh [13] juga lebih kecil yaitu sampai 8%. Efek penambahan kapur sangat signifikan, hal ini terlihat juga pada nilai indeks plastisitas tanah, dimana penambahan kapur sampai 8% menghasilkan indeks plastisitas mendekati nol. Hal ini dapat disebabkan oleh jenis lempung, jumlah kandungan lempung, kandungan kimia, dan kandungan organik tanah yang diuji pada penelitian ini berbeda dengan yang dilaporkan oleh [13].



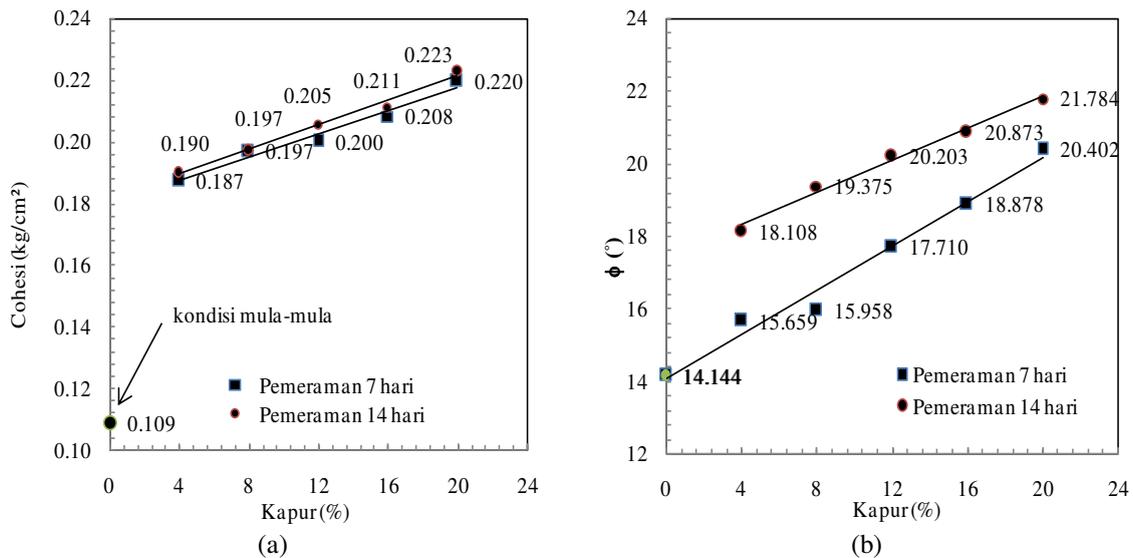
Gambar 2: Pengaruh persentase kapur terhadap plastisitas tanah



Gambar 3: Pengaruh penambahan kapur terhadap plastisitas beberapa lempung

Pengaruh kapur terhadap kuat geser tanah

Gambar 4(a) dan 4(b) masing-masing memperlihatkan hubungan antara persentase kapur dengan kohesi dan sudut gesek dalam dalam (□). Kedua parameter kohesi dan sudut gesek dalam didapatkan dari uji geser langsung. Seperti terlihat pada Gambar 4(a), nilai kohesi meningkat secara signifikan setelah penambahan kapur 4% dilanjutkan dengan peningkatan secara terus menerus dengan peningkatan persentase kapur. Kurva ini mengikuti pola perubahan kadar air akibat penambahan kapur (Gambar 1). Gambar 4(a) juga memperlihatkan bahwa peningkatan kohesi dengan bertambahnya waktu pemeraman. Hanya saja peningkatannya tidak signifikan. Ini memperlihatkan bahwa efek pengurangan kadar air lebih dominan daripada proses kimia antara lempung dan kapur.



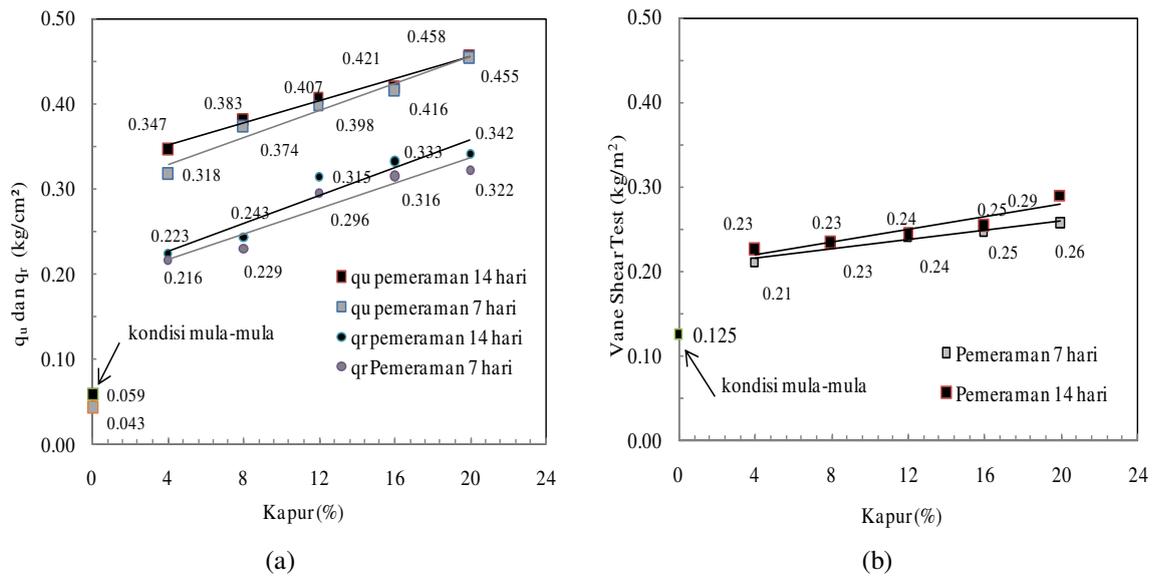
Gambar 4: Pengaruh persentase kapur terhadap (a) nilai kohesi tanah, dan (b) sudut gesek dalam

Penambahan kapur juga mengakibatkan peningkatan sudut gesek dalam (Gambar 4(b)). Peningkatan sudut gesek dalam ini akibat tidak hanya diakibatkan peningkatan butiran kasar dari kapur alam yang digunakan, akan tetapi juga disebabkan oleh pembentukan agregat-agregat tanah hasil reaksi kimia antara lempung dan kapur. Hal ini dibuktikan dengan adanya pengaruh waktu terhadap sudut gesek dalam seperti terlihat pada Gambar 4(b) dimana pada persentase kapur yang sama, sudut gesek dalam tanah yang diperam 14 hari lebih besar daripada yang diperam 7 hari.

Gambar 5(a) dan 5(b) masing-masing memperlihatkan hubungan antara persentase kapur dengan q_u dan q_r yang didapat dari *UCT* dan kuat geser tak terdrainase (*undrained shear strength/s_u*) yang didapat dari hasil *vane shear test*. Seperti terlihat pada Gambar 5(a), nilai q_u dan q_r meningkat dengan meningkatnya persentase kapur. Peningkatan nilai-nilai tersebut signifikan pada kadar kapur 4%, seperti nilai kohesi, peningkatan nilai q_u dan q_r lebih dominan disebabkan oleh pengurangan kadar air sampel.

Gambar 5(a) juga memperlihatkan pengaruh waktu terhadap nilai q_u dan q_r . Pada kadar kapur yang sama, nilai-nilai q_u dan q_r yang diperam 14 hari lebih besar dari pada yang diperam 7 hari. Hanya saja peningkatan tersebut tidak signifikan.

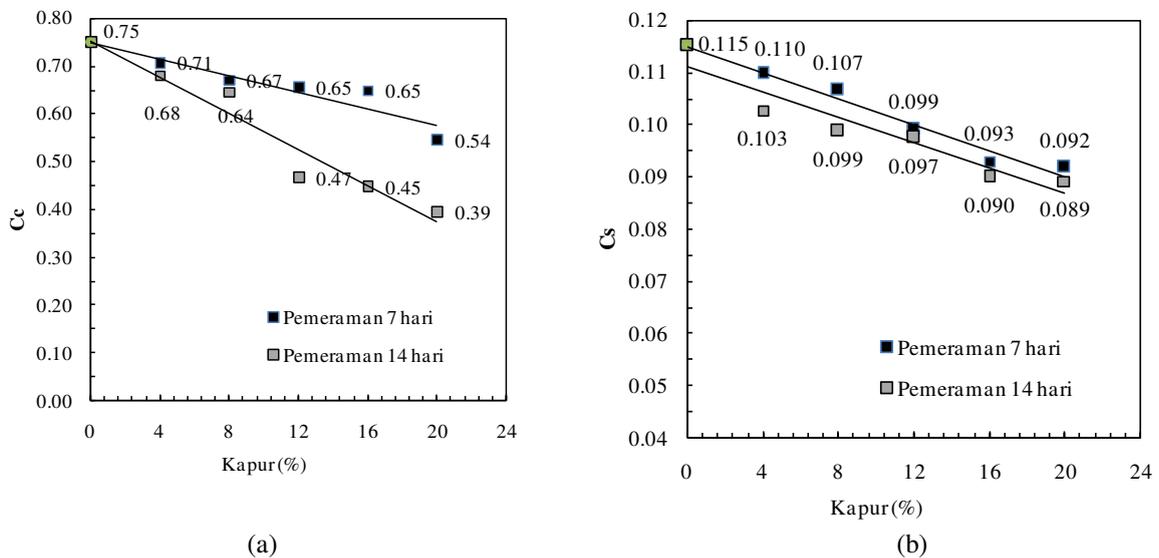
Dihitung dari data pada Gambar 5(a), sensitivitas sampel berkisar antara 1,3-1,5. Hampir tidak ada pengaruh persentase kapur terhadap sensitivitas tanah pada penelitian ini. Hal ini disebabkan karena tanah yang digunakan pada penelitian ini tidak termasuk tanah sensitive. Sesuai dengan hasil *UCT*, uji dengan *vane shear* juga memperlihatkan kecenderungan yang sama dimana nilai s_u meningkat dengan meningkatnya persentase kapur (Gambar 5(b)). Hasil di atas memperlihatkan bahwa reaksi yang terjadi antara kapur dan tanah masih didominasi oleh pengurangan kadar air. Proses ini terjadi dalam waktu yang singkat [1], [2] sehingga peningkatan kekuatan tanah masih mungkin terjadi pada waktu pemeraman yang lebih lama.



Gambar 5: Pengaruh persentase kapur terhadap (a) q_u dan q_r (b) *undrained shear strength*

Pengaruh kapur terhadap pemampatan tanah

Gambar 6(a) dan 6(b) masing-masing memperlihatkan hubungan antara persentase kapur terhadap nilai indeks kompresi (c_c) dan indeks pengembangan (c_s). Seperti terlihat pada Gambar 6, nilai c_c dan c_s mengecil dengan meningkatnya persentase kapur. Pengaruh kapur terhadap nilai c_c cukup signifikan terutama pada persentase kapur 20% dan waktu pemeraman 14 hari dimana nilai c_c berkurang hampir 50%.



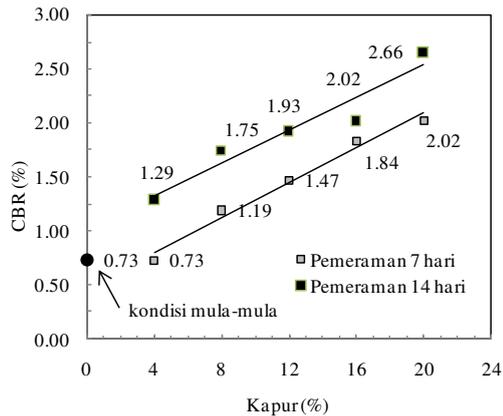
Gambar 6: Pengaruh persentase kapur terhadap (a) Indeks kompresi/ c_c , (b) Indeks pengembangan/ c_s

Pengaruh kapur terhadap CBR tanah.

Gambar 7 memperlihatkan hubungan antara persentase kapur dengan CBR sampel. Terlihat pada gambar, semakin tinggi persentase kapur semakin tinggi nilai CBR sampel. Berbeda dengan kecenderungan peningkatan kuat geser tanah yang dipengaruhi oleh pengurangan kadar air sampel, untuk sampel yang diperam 7 hari, peningkatan CBR terjadi pada persentase kapur lebih dari 4%. Sedangkan untuk sampel yang diperam 14 hari, peningkatan CBR telah terjadi pada persentase kapur 4%. CBR maksimum yang didapat pada penelitian ini adalah 2,66% atau meningkat hampir 4 kali dari kondisi CBR mula-mula. Meskipun nilai ini masih lebih kecil dari CBR minimum untuk pekerjaan pondasi jalan, akan tetapi hal ini

memperlihatkan suatu peningkatan dan CBR minimum masih mungkin untuk dicapai dengan memperpanjang waktu pemeraman.

Reaksi antara kapur dan lempung terjadi dalam waktu yang sangat lama. Referensi [4] menyarankan waktu minimal untuk pemeraman adalah 28 hari. Bahkan Referensi [14] melaporkan bahwa peningkatan kekuatan tanah yang signifikan terjadi setelah 180-360 hari. Pengamatan lapangan terhadap kekuatan dan pH tanah yang distabilisasi dengan kapur memperlihatkan bahwa kekuatan tanah meningkat secara terus menerus dan pH tanah konstan sampai lebih dari 10 tahun [15]. Hal ini membuktikan beberapa kondisi tanah yang terjadi setelah distabilisasi dengan kapur seperti penurunan kadar air secara cepat, modifikasi senyawa tanah, dan stabilisasi yang terjadi pada waktu yang sangat lama.



Gambar 7: Pengaruh persentase kapur terhadap CBR

Ada beberapa faktor penyebab reaksi antara kapur dan tanah lunak yang digunakan pada penelitian ini terjadi sangat lambat antara lain disebabkan kadar air yang tinggi, kandungan organik yang cukup tinggi yang dilihat dari nilai batas cair antara 50-55% untuk kondisi tanah dioven (*liquid limit ratio*, $LLR < 75\%$), dan kandung kation C_a^{++} yang dominan dikandung oleh tanah yang diuji.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang pengaruh penambahan kapur terhadap plastisitas, kuat geser, pemampatan, dan CBR tanah pada kondisi kadar air lapangan dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Kadar air sampel mengecil dengan bertambahnya persentase kapur.
2. Plastisitas tanah yang ditentukan dari batas cair dan indeks plastisitas tanah mengecil dengan meningkatnya persentase kapur.
3. Kohesi, q_u , q_r , dan s_u meningkat dengan meningkatnya persentase kapur. Pola peningkatannya hampir sama dengan pengurangan kadar air.
4. Kuat geser tanah dan CBR tanah yang distabilisasi meningkat dengan meningkatnya kadar air, sedangkan pemampatan tanah berkurang dengan bertambahnya persentase kapur.
5. Waktu pemeraman berpengaruh terhadap perilaku tanah yang distabilisasi dengan kapur.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. National Lime Association (NLA) (2005) *Lime Treated Soils Save Time & Money*, (http://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/tech-digest-lts.pdf)
2. National Lime Association (NLA) (2004) *Lime-Treated Soil Construction Manual: Lime Stabilization & Lime Modification*. (http://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/construct-manual2004.pdf)
3. Mallela, A, Von Quinturs, H, dan Smith, K.L. (2004) *Consideration of Lime-Stabilized Layers in Mechanistic-Envirical (Pavement Design)*, Nasional Lime Association, Arlington, Virginia.
4. National Lime Association (NLA) (2006) *Mixture design and testing procedures for lime stabilized soil*, (http://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/tech-brief-2006.pdf)
5. Little, D. N. (1995) *Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime*, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.

6. Basma, A. A., dan Tuncer, E. R. (1991) *Effect of Lime on Volume Change and Compressibility of Expansive Clays*, Transportation Research Record No. 1295.
7. Evans, P. (1998) *Lime Stabilization of Black Clay Soils in Queensland, Australia*, Presentation to the National Lime Association Convention, San Diego, California.
8. Dunlop, R. J. (1995) *Draft Manual on Pavement Design with Lime and Cement Stabilized Pavement Layers*, Transit New Zealand, Wellington, New Zealand.
9. Hopkins, T. C., Beckham, T. L., dan Hunsucker, D. Q., (1995) *Modification of Highway Soil Subgrades*, Research Report KTC-94-11
10. Anita (2010) *Stabilisasi Tanah Lempung Batola Menggunakan Campuran Limbah Karbit dan Abu Batubara*, Unpublished Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Univ. Lambung Mangkurat Banjarbaru.
11. Najib. A dan Irwandi (1999) *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Batubara Dan Kapur*, Unpublished Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Univ. Lambung Mangkurat Banjarbaru.
12. ASTM (2007) Annual Book of Standards. Volumes 04.08 and 04.09, Soil and rock, ASTM International, West Conshohocken, PA.
13. Transportation Research Board (TRB) (1987) *Lime Stabilization: Reactions, Properties, Design, and Construction*, State of the Art Report 5, Report prepared by TRB Committee on Lime and Lime-Fly Ash Stabilization, National Research Council, Washington, D.C.
14. Doty, R. dan Alexander, M. L. (1968) *Determination of Strength Equivalency for Design of Lime-Stabilized Roadways*, Report No. FHWA-CA-TL-78-37.
15. Biczysko, S. J. (1996) *Long-Term Performance of Lime Stabilized Road Subgrade*, "Lime Stabilization", Thomas Telford Publisher.