

A STUDY OF SHEAR STRENGTH PARAMETER'S CLAY STABILIZED WITH LIME ON WET SIDE COMPACTION

TINJAUAN PARAMETER KUAT GESER LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN KAPUR PADA PEMADATAN SISI BASAH

Senja Rum Harnaeni

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

E-mail : Senja_rum_h@yahoo.co.id

ABSTRACT

A structure built on expansive clay often are damage before reaching age plan. This is connected with soil shear strength paramater values, namely cohesion (c) and internal shear (ϕ). One of any methods to improve expansive clay is stabilization by lime. The soil compaction of clay stabilization-lime is often limited by quarry condition, namely wet soil or rain that cause water contain more than optimum water contain of the soil based compaction test. The research is mean to know clay shear paramaters that stabilizatiom with lie if it id compacted in wet. Method used is mixture original soil from Gading-Gunung Kidul and lime with percentage 2%, 4%, 6%, 8%and 10% of dry weighth of soil. Change of physical and mechanical characteristic of clay stabilization –lime can done by gradation test, special gravitational test, limited consitensi test, compaction test, and triaxial test UU. Triaxial test UU to obtain shear strength paramater, by 3 days optimumcondition and wate condition. Result of research show that the soil is CH by USCS, namely organic clay with midle plasticity, but the soil in A-7-6 group by AASHTO. Increasing lime contain with 3 days treatment will improve physical and mekanical cahraacteristic of soil, among decreasing plasticity index and increasing shear strength paramater of soil. Shear strenght paramater of original soil and mixture clay-lime in wet compaction tend smaller than optimum compaction. Shear strength paramater of the original soil in wet compection has relative big difference with optimum conndition. But the value of the shear strength parameters on the wet side compaction has a relatively small difference with the optimum for compaction on soil mixture – lime.

Keywords: Lime, Shear trength paramater, Wet compaction, Soil stabilization

ABSTRAK

Konstruksi yang dibangun di atas tanah lempung ekspansif sering mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana. Hal ini berkaitan dengan nilai parameter kuat geser tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut gesek internal (ϕ). Salah satu cara untuk memperbaiki tanah lempung ekspansif adalah stabilisasi dengan kapur. Pada pekerjaan pemadatan tanah stabilisasi lempung – kapur seringkali dibatasi oleh kendala kondisi quarry berupa tanah basah atau kendala musim hujan yang berdampak terhadap kandungan kadar air yang biasanya melebihi kadar air optimum berdasarkan tes pemadatan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah lempung yang distabilisasi dengan kapur jika dipadatkan pada sisi basah. Metode yang digunakan adalah mencampur tanah asli dari Gading – Gunung Kidul dan kapur dengan persentase penambahan 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat kering tanah. Untuk mengetahui perubahan sifat fisis dan mekanis tanah stabilisasi lempung - kapur dilakukan uji gradasi, uji gravitasi khusus, uji batas-batas konsistensi, uji pemadatan dan uji triaksial UU. Uji triaksial UU untuk menentukan parameter kuat geser, ditinjau terhadap perawatan 3 hari pada kondisi optimum dan pada sisi basah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menurut USCS tanah termasuk CH, yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi sedangkan menurut AASHTO tanah termasuk kelompok A-7-6. Penambahan kapur dengan masa perawatan 3 hari dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah, antara lain : menurunkan indeks plastisitas tanah dan meningkatkan nilai parameter kuat geser tanah. Nilai parameter kuat geser tanah asli serta campuran tanah lempung – kapur pada pemadatan sisi basah cenderung lebih kecil dibandingkan pemadatan pada sisi optimum. Pada tanah asli terjadi perbedaan nilai parameter kuat geser yang cukup besar pada pemadatan sisi basah jika dibandingkan pada sisi optimum. Tetapi nilai parameter kuat geser pada pemadatan sisi basah mempunyai perbedaan yang relatif kecil dengan pemadatan pada sisi optimum untuk campuran tanah – kapur.

Kata-kata kunci: kapur, parameter kuat geser, pemadatan sisi basah, stabilisasi tanah

PENDAHULUAN

Stabilitas konstruksi yang dibangun di atas tanah lempung ekspansif sangat dipengaruhi kadar air, dalam keadaan kering mempunyai stabilitas tinggi dan dalam keadaan jenuh akan mempunyai stabilitas yang rendah. Konstruksi yang dibangun di atas tanah lempung ekspansif akan retak, bergelombang atau terjadi penurunan sehingga konstruksi mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana bahkan menyebabkan ketidakamanan bagi pemakai konstruksi tersebut. Hal ini berkaitan dengan nilai parameter kuat geser tanah yaitu kohesi (c) dan sudut gesek internal tanah (ϕ).

Untuk mengatasi kondisi lempung ekspansif yang kuat dukungannya sangat dipengaruhi kadar air dilakukan perbaikan dengan cara stabilisasi, salah satunya adalah dengan penambahan kapur untuk meningkatkan kinerja tekniknya. Secara umum stabilisasi tanah akan memperbaiki sifat-sifat fisik tanah, meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi penurunan pada waktu yang akan datang.

Pada pekerjaan pemadatan tanah stabilisasi lempung-kapur, seringkali dibatasi oleh kendala kondisi *quarry* berupa tanah basah atau kendala musim hujan yang berdampak terhadap kandungan kadar air tanah yang biasanya melebihi kadar air optimum berdasarkan tes pemadatan. Kondisi tersebut akan mempersulit terpenuhinya kadar air optimum, karena di satu sisi target pelaksanaan pekerjaan harus terus berlangsung sesuai jadwal dan di sisi yang lain dikhawatirkan terjadi penurunan kualitas. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah lempung yang distabilisasi dengan kapur jika dipadatkan pada sisi basah.

Pemadatan Tanah (*Soil Compaction*)

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel.

Menurut Hardiyatmo (2002) pemadatan tanah bertujuan antara lain :

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Biasanya kadar air tanah yang dipadatkan, didasarkan pada posisi-posisi kadar air sisi kering optimum (*dry side of optimum*), dekat optimum (optimum) dan sisi basah optimum (*wet side of optimum*). Kering optimum didefinisikan sebagai kadar air yang kurang daripada kadar air optimumnya. Basah optimum didefinisikan sebagai kadar air yang lebih dari

kadar air optimumnya. Demikian juga dengan dekat optimum yang berarti kadar air yang kurang lebih mendekati optimumnya.

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah diperlukan bila suatu tanah yang terdapat di lapangan kondisinya jelek, misalnya : sifat sangat lepas, sifat kembang susutnya besar serta permeabilitasnya terlalu tinggi. Dengan stabilisasi pada tanah jelek tersebut diharapkan dapat memenuhi persyaratan teknis untuk perencanaan suatu konstruksi.

Metode stabilisasi yang banyak digunakan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah, sedangkan stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia seperti semen, kapur atau *pozzolan*.

Bowles (1984) menyatakan stabilisasi dapat berupa tindakan-tindakan :

1. Menambah kepadatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif untuk mempertinggi kohesi/kuat geser.
3. Menambah material agar terjadi perubahan a-lami dan kimiawi material tanah.
4. Merendahkan permukaan air tanah (*drainase*).
5. Mengganti tanah-tanah yang buruk

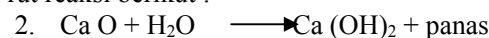
Kapur

Sebagai bahan stabilisasi biasanya digunakan kapur padam/kapur mati/ *slake lime* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan kapur tohor/kapur hidup/ *quick lime* (Ca O). Secara umum pemakaian kapur tohor lebih efektif, tapi mempunyai kelemahan dalam pelaksanaan yaitu pelaksanaan yang kurang hati-hati dapat membuat peralatan mudah berkarat dan menyebabkan terbakarnya kulit pekerja. Bahan dasar dari kapur adalah batu kapur. Batu kapur mengandung kalsium karbonat (Ca CO_3), dengan pemanasan ($\pm 980^\circ \text{C}$) karbon dioksidanya ke luar dan tinggal kapurnya saja (Ca O).

Kapur diperoleh dari pembakaran Ca CO_3 (batu kapur alami) sampai semua karbon dioksida terbakar.



Kalsium oksida (CaO) dapat mudah terhidrasi menurut reaksi berikut :



Kapur hasil pembakaran apabila ditambahkan air akan mengembang dan retak-retak. Banyak panas yang keluar (seperti mendidih) selama proses ini, ha-

silnya adalah kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Proses ini disebut *slaking*, adapun hasilnya yaitu *slaked lime* atau *hydrated lime*.

Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Dengan penambahan kapur akan mereduksi plastisitas tanah, meningkatkan kekuatan dan daya tahan, mengurangi penyerapan air dan pengembangan (*swelling*) yang diakibatkan oleh air. Pada keadaan ini efek stabilisasi adalah karena proses kimia tertentu dan bukanlah suatu penguatan akibat perlakuan mekanis. Proses kimia ini mengubah struktur tanah dengan cara pembentukan agregat butir yang lebih besar (*flokulasi*), dan hal inilah yang sangat menguntungkan untuk suatu konstruksi. Penambahan kapur mempengaruhi karakteristik pemadatan, yaitu kadar air optimum (w_{opt}) naik, berat volume kering maksimum (γ_{maks}) turun dan kurva pemadatan lebih datar.

Peningkatan kekuatan (*strength*) akibat dari stabilisasi lempung dengan kapur disebabkan 3 reaksi yang terjadi, yaitu : penyerapan air (*hydration of soil*), *flocculation*/pertukaran ion (*ion exchange*), dan *cementation* (pengerasan)/reaksi pozolan (*pozzolanic reaction*). Mekanisme lainnya adalah karbonisasi (*carbonation*), reaksi ini menyebabkan sedikit peningkatan kekuatan, sehingga dapat diabaikan. Reaksi cepat (*short term reaction*) meliputi hidrasi untuk kapur hidup dan flokulasi. Reaksi lambat (*long term reaction*) meliputi sementasi (*cementation*) dan karbonisasi (*carbonation*).

Kuat Geser

Parameter kuat geser tanah berupa kohesi (c) dan sudut gesek internal (ϕ) diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan, sehingga dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan maka akan ditahan oleh :

- (1) Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak bergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser,
- (2) Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Salah satu cara untuk menentukan kuat geser tanah di laboratorium adalah uji triaksial tak terkonsolidasi-tak terdrainasi (*triaxial unconsolidated-undrained*). Dalam pengujian ini, katup drainase tidak dibuka selama proses pengujiannya. Pertama tegangan sel/tegangan kekang (σ_3) diterapkan, kemudian tegangan deviator ($\Delta\sigma$) dikerjakan sampai terjadi keruntuhan. Untuk pengujian ini tegangan utama ma-

yor adalah σ_1 yang besarnya $\sigma_3 + \Delta\sigma$, sedangkan tegangan utama minor adalah σ_3 .

Uji ini merupakan uji triaksial dengan pembebanan cepat (*quick-test*), sehingga belum terjadi konsolidasi atau drainase pada lapisan tanah. Kondisi tersebut antara lain terjadi pada akhir pelaksanaan pembangunan bendungan urugan dan fondasi untuk timbunan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan pengambilan tanah di Gading, Gunung Kidul. Selanjutnya dilakukan pengeringan dan penyaringan tanah lolos No. 4, kemudian mencampur tanah dengan kapur sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat kering tanah. Setelah itu dilakukan uji sifat fisis dan mekanis tanah-kapur meliputi: gravitasi khusus, gradasi butiran, *Atterberg limits*, *standard Proctor* dan uji triaksial.

Adapun peralatan yang digunakan adalah :

- a. satu set saringan standar ASTM D421-85 dan hidrometer D422-63
- b. satu set alat ukur gravitasi khusus ASTM D854-02
- c. alat uji batas-batas konsistensi ASTM D4318-00,
- d. alat pemadat standar ASTM D698-00
- e. satu set alat triaksial tak terkonsolidasi tak terdrainase ASTM D2850-956).
- f. alat-alat bantu yang terdiri dari *oven*, timbangan dengan ketelitian 0,01, *stop watch*, termometer, gelas ukur 1000ml, desicator, cawan, picnometer.

Uji Triaksial

Pembuatan benda uji dibuat dengan memadatkan campuran tanah dan kapur berdasarkan kadar air optimum (dalam penelitian ini juga berdasarkan kadar air pada sisi basah) yang telah diperoleh dari uji pemadatan. Pada penelitian ini sisi basah yang ditinjau adalah pada kadar air : 90% MDD (w_1), 85% MDD (w_2) dan 80% MDD (w_3) untuk dibandingkan dengan kadar air optimum (OMC). Campuran tanah dan kapur yang telah dipadatkan dengan *standard Proctor* dicetak sebanyak 3 buah dengan ukuran diameter dan tinggi masing-masing kurang lebih 36mm dan 76mm. Benda uji dirawat selama 3 hari baru dilakukan uji triaksial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisis Kapur dan Tanah Asli

Tabel 1. Nilai gravitasi khusus kapur

Jenis bahan	Gravitasi khusus
Kapur	2,48

Tabel 2. Hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah

Data pengamatan	Hasil
Kadar air	38,39 %
Gravitasi khusus	2,74
Batas plastis (PL)	27,02 %
Batas susut (SL)	12,08 %
Plastisitas indeks (PI)	56,93 %
% lolos saringan No. 200	84,24 %
Lempung	23,5 %
Lanau	60,74 %
Pasir	15,76 %
MDD	1,37 gr/cm ³
OMC	30,33 %

Sifat Fisis Campuran Tanah+Kapur

Tabel 3. Nilai gravitasi khusus (Gs) campuran tanah lempung dan kapur

Variasi kapur	Nilai gravitasi khusus (Gs)
0 %	2,74
2 %	2,74
4 %	2,73
6 %	2,73
8 %	2,72
10 %	2,71

Tabel 4. Hasil uji gradasi butiran tanah

Variasi kapur	% fraksi > 0,075 mm (fraksi kasar)	% fraksi < 0,075 mm (fraksi halus)
	0 %	15,76
2 %	15,86	84,14
4 %	16,94	83,06
6 %	17,42	82,58
8 %	18,24	81,76
10 %	18,86	81,14

Tabel 5. Nilai batas-batas konsistensi

Variasi kapur	Batas-batas konsistensi			
	Batas cair (%)	Batas plastis (%)	Batas susut (%)	Index plastisitas (%)
0%	83,95	27,02	12,08	56,93
2%	83,04	27,16	12,17	55,87
4%	73,40	31,98	12,50	41,43
6%	73,12	32,37	12,54	40,75
8%	72,92	35,78	12,90	37,14
10%	71,02	36,91	13,27	34,10

Tabel 6. Hasil uji pemadatan

Variasi kapur	Kadar air optimum (OMC) (%)	Berat volume kering maksimum (MDD) (gr/cm ³)
0 %	30,33	1,37
2 %	30,39	1,35
4 %	30,44	1,34
6 %	30,61	1,32
8 %	31,25	1,31
10 %	32,28	1,30

Parameter Kuat Geser

Parameter kuat geser berupa sudut gesek internal (ϕ) dan kohesi (c) yang diperoleh dari uji triaksial. Hasil uji triaksial campuran tanah dan kapur dengan masa perawatan 3 hari tercantum pada Tabel 7 menunjukkan kecenderungan meningkatnya nilai sudut gesek internal (ϕ) dan nilai kohesi (c) seiring dengan penambahan kadar kapur.

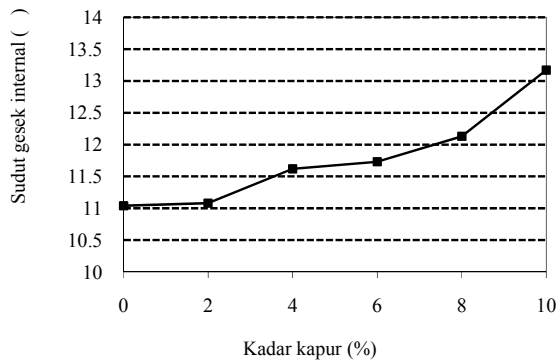
Tabel 7. Nilai sudut gesek internal (ϕ) dan nilai kohesi (c) berdasar uji triaksial UU dengan masa perawatan 3 hari

Variasi kapur	Kohesi /c (kN/m ²)	Sudut gesek internal / ϕ (...°)
0 %	112,33	11,04
2 %	119,80	11,08
4 %	121,62	11,62
6 %	122,97	11,73
8 %	126,89	12,13
10 %	129,05	13,17

Peningkatan nilai sudut gesek internal (ϕ) ini disebabkan karena penambahan kapur menimbulkan peristiwa *flokulasi-aglomerasi* yang menghasilkan massa tanah yang berukuran lebih besar dan beragam, sehingga menambah atau memperbesar bidang kontak antar butiran (A_c). Akibat bertambahnya bidang kontak antar butiran maka gaya geser yang terjadi pada bidang kontak antar butiran tanah semakin besar yang berarti nilai koefisien friksi (f) meningkat. Meningkatnya nilai koefisien friksi ini akan menyebabkan meningkatnya nilai ϕ , hal ini disebabkan hubungan nilai koefisien friksi berbanding lurus dengan nilai ϕ , yaitu $f = tg \phi$.

Nilai sudut gesek internal (ϕ) tanah asli dengan masa perawatan 3 hari adalah 11,04°. Nilai sudut gesek internal (ϕ) maksimum dengan masa perawatan 3 hari terjadi pada penambahan kadar kapur 10% yaitu sebesar 13,17°. Dengan demikian penambahan kapur sampai dengan 10% masih efektif untuk tanah ini, karena sampai penambahan 10% kapur masih meningkatkan nilai sudut gesek internal (ϕ). Pengaruh penambahan kadar kapur terhadap pening-

katan nilai sudut gesek internal (ϕ) dengan masa perawatan 3 hari dapat dilihat pada Gambar 1.

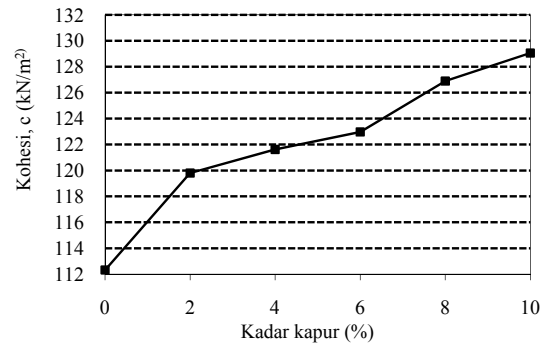


Gambar 1. Hubungan kadar kapur dengan nilai sudut gesek internal (ϕ) tanah.

Pada penelitian ini diperoleh nilai kohesi (c) tanah asli dengan masa perawatan 3 hari adalah $112,33 \text{ kN/m}^2$, sedangkan nilai kohesi (c) maksimum terjadi pada penambahan 10% kapur yaitu $129,05 \text{ kN/m}^2$.

Adapun peningkatan nilai kohesi (c) seiring dengan penambahan kadar kapur disebabkan adanya tarikan permukaan (*surface tension*). *Surface tension* ini terjadi karena adanya pertemuan antara air dan udara (*water-air interface*) yang ada pada tanah tidak jenuh. Penambahan kapur pada tanah dapat mengurangi derajat kejenuhan tanah. *Surface tension* yang disebabkan tekanan negatif akibat adanya gaya kapiler pada tanah tak jenuh menimbulkan gaya tarik menarik antar partikel, yang menghasilkan suatu kohesi (c) semu/ *apparent cohesion* (Mitchell, 1976). Oleh karena itu, semakin besar penambahan kapur, maka semakin kecil derajat kejenuhan tanah, sehingga

nilai kohesi (c) pun semakin besar. Pengaruh penambahan kadar kapur terhadap nilai kohesi (c) diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan kadar kapur dengan nilai kohesi (c).

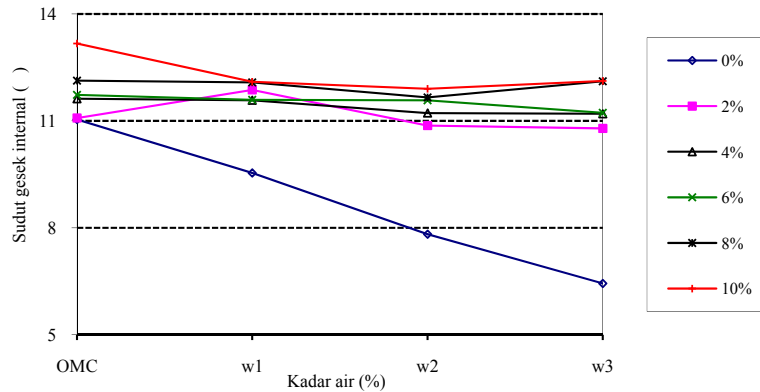
Parameter kuat geser campuran tanah lempung dengan kapur pada pemadatan sisi basah

Tabel 8 memperlihatkan kecenderungan penurunan parameter kuat geser tanah yaitu sudut gesek internal (ϕ) dan kohesi (c) campuran tanah dengan berbagai variasi kadar kapur pada pemadatan sisi basah dibandingkan jika dipadatkan pada sisi optimum.

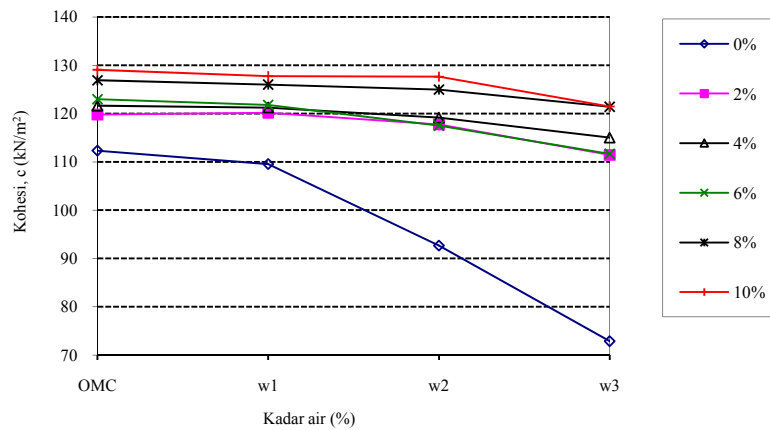
Kecenderungan penurunan nilai sudut gesek internal (ϕ) campuran tanah dengan berbagai variasi kadar kapur pada pemadatan sisi basah dibandingkan dengan pemadatan sisi optimum ditunjukkan pada Gambar 3. Adapun kecenderungan penurunan nilai kohesi (c) campuran tanah dengan berbagai variasi kadar kapur pada pemadatan sisi basah dibandingkan dengan pemadatan sisi optimum ditunjukkan pada Gambar 4.

Tabel 8. Nilai kohesi (c) dan sudut gesek internal (ϕ) berdasar uji triaksial UU dengan masa perawatan 3 hari campuran tanah lempung dengan kapur pada pemadatan sisi basah

Variasi Kapur	OMC		W_1		W_2		W_3	
	c_{UU} (kN/m^2)	ϕ_{UU} (...°)	c_{UU} (kN/m^2)	ϕ_{UU} (...°)	c_{UU} (kN/m^2)	ϕ_{UU} (...°)	c_{UU} (kN/m^2)	ϕ_{UU} (...°)
0%	112,33	11,04	109,56	9,54	92,69	7,82	72,89	6,44
2%	119,80	11,08	120,16	11,87	117,74	10,87	111,44	10,79
4%	121,62	11,62	121,23	11,58	119,17	11,22	115,02	11,20
6%	122,97	11,73	121,79	11,59	117,51	11,58	111,67	11,23
8%	126,89	12,13	126,00	12,08	124,96	11,66	121,42	12,11
10%	129,05	13,17	127,73	12,10	127,64	11,90	121,46	12,12



Gambar 3. Hubungan nilai sudut gesek internal (ϕ) pada berbagai variasi kadar kapur dengan kadar air pada pemadatan sisi optimum dan pemadatan sisi basah



Gambar 4. Hubungan nilai kohesi (c) pada berbagai variasi kadar kapur dengan kadar air pada pemadatan sisi optimum dan pemadatan sisi basah

Pada tanah asli, penurunan nilai sudut gesek internal (ϕ) dan nilai kohesi (c) pada pemadatan sisi basah karena kepadatan campuran tanah pada pemadatan sisi basah lebih rendah daripada pemadatan pada sisi optimum, sehingga :

1. Seiring dengan bertambahnya kadar air pada pemadatan sisi basah maka tanah menjadi terdispersi beraturan karena rongga yang biasanya terisi butiran tanah yang lebih kecil, terisi air. Sebagaimana yang disebutkan Lambe (1958) dalam Hardiyatmo (2002), bahwa pemadatan tanah dengan kadar air pada sisi basah akan mempengaruhi susunan, kuat geser serta sifat kemampuan tanah. Pada usaha pemadatan yang sama, dengan penambahan kadar air, penyesuaian susunan butiran menjadi bertambah. Pada sisi kering tanah selalu terflokulasi, tapi pada sisi basah susunan

tanah menjadi terdispersi beraturan. Karena tanah tidak terflokulasi maka massa tanah yang terbentuk berukuran lebih kecil dan beraturan sehingga mengurangi atau memperkecil bidang kontak antar butiran (A_c). Dengan berkurangnya bidang kontak antar butiran ini menyebabkan gaya geser yang terjadi yang terjadi pada bidang kontak antar butiran semakin kecil, yang berarti nilai koefisien friksi (f) nya turun. Menurunnya nilai koefisien friksi ini menyebabkan nilai sudut gesek internal (ϕ) turun karena nilai koefisien friksi berbanding lurus dengan nilai sudut gesek internal ($f = \tan \phi$).

2. Menurunnya nilai kohesi (c) seiring dengan bertambahnya kadar air pada pemadatan sisi basah disebabkan tidak adanya *surface tension* (tarikan permukaan), yang mana *surface tension* ini terja-

di karena adanya pertemuan antara air dan udara (*water-air surface*) yang ada pada tanah tidak jenuh. *Surface tension* yang disebabkan tekanan negatif akibat adanya gaya kapiler pada tanah tak jenuh menimbulkan gaya tarik menarik antar partikel, yang menghasilkan kohesi semu/*apparent cohesion* (Mitchell, 1976). Sementara itu pada pemadatan sisi basah, seiring dengan bertambahnya kadar air akan menambah derajat kejenuhan tanah, sehingga mengurangi atau menghilangkan *water-air surface* (karena pori-pori yang terisi udara akan diisi oleh air akibat kadar air yang bertambah besar), akibatnya mengurangi *surface tension* sehingga kohesi semu berkurang, maka nilai kohesi (c) cenderung turun seiring dengan bertambahnya kadar air pada pemadatan sisi basah.

Pada Tabel 8 juga memperlihatkan bahwa nilai sudut gesek internal (ϕ) dan nilai kohesi (c) pada pemadatan sisi basah cenderung mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar kapur. Kecenderungan ini karena semakin tinggi kadar kapur pada campuran tanah-kapur maka akan memperkecil nilai *swelling*, sehingga kepekaan campuran tanah-kapur terhadap perubahan kadar air berkurang (Dalam hal ini kepekaan terhadap bertambahnya kadar air pada pemadatan sisi basah). Maka :

1. Kecenderungan kenaikan nilai sudut gesek internal (ϕ) pada pemadatan sisi basah seiring dengan penambahan kadar kapur yang diperlihatkan pada Gambar 3 dikarenakan pada kadar kapur yang lebih tinggi, kepekaan terhadap perubahan kadar air lebih kecil sehingga pada kadar kapur lebih tinggi lebih terflokulasi, yang pada akhirnya akan menghasilkan sudut gesek internal (ϕ) yang

lebih besar jika dibandingkan campuran tanah-kapur dengan kadar kapur yang lebih rendah.

2. Sedangkan kecenderungan kenaikan nilai kohesi (c) pada pemadatan sisi basah seiring dengan penambahan kadar kapur yang ditunjukkan pada Gambar 4 disebabkan karena pada kadar kapur yang lebih tinggi, kepekaan terhadap perubahan kadar air lebih kecil sehingga pada kadar kapur lebih tinggi akan diperoleh campuran tanah-kapur dengan derajat kejenuhan yang lebih kecil, sehingga nilai kohesi (c) campuran tanah-kapur pada kadar kapur yang lebih tinggi akan lebih besar daripada nilai kohesi (c) campuran tanah-kapur dengan kadar kapur yang lebih rendah.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil uji campuran tanah-kapur, penambahan kapur pada tanah ini menyebabkan penurunan nilai fraksi halus dan nilai PI sehingga bisa disimpulkan bahwa penambahan kapur dapat memperbaiki tanah lempung.
2. Nilai parameter kuat geser lempung yang distabilisasi dengan kapur yang dipadatkan pada sisi basah lebih rendah dibandingkan jika dipadatkan pada sisi optimum.
3. Nilai parameter kuat geser lempung yang distabilisasi kapur pada pemadatan sisi basah meningkat seiring dengan penambahan kapur.
4. Pada tanah asli terjadi perbedaan nilai parameter kuat geser yang cukup besar pada pemadatan sisi basah jika dibandingkan pada sisi optimum. Tetapi nilai parameter kuat geser pada pemadatan sisi basah mempunyai perbedaan yang relatif kecil dengan pemadatan pada sisi optimum untuk campuran tanah-kapur.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, (2003), *Annual Book of ASTM Standards* section 4, Volume 04 08, ASTM International Barr Harbor Drive, West Con-shohocken, PA 19428-2959.
- Bowles, J.E., (1984), *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, Second Edition, Mc-Graw-Hill, Singapore.
- Craig, R.F., (1991), *Mekanika Tanah*, Terjemahan oleh Budi Susilo, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., (2002), *Mekanika Tanah I*, PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Ingles, O.G. dan Metcalf, J.B., (1972), *Soil Stabilization Principle and Practice*, Butter-worths Pty. Limited, Melbourne.
- Kezdi. A, (1979), *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Science Publishing Company, New York.
- Mitchell, J.K., (1976), *Fundamentals of Soil Behavior*, John Willey and Sons, Inc., New York.