

**PENGARUH VARIASI WAKTU PERAWATAN (*CURING*) DENGAN
PENAMBAHAN KAPUR TERHADAP KENAIKAN NILAI CBR TANAH LUNAK DI
PROYEK JALAN TOL GEMPOL – PASURUAN
(*The Effect of Curing Time on Lime Improved Soft Soil to CBR in Gempol-Pasuruan Toll
Road Project*)**

Ida Ayu Sarithayanti Mahaguna, As'ad Munawir, Yulvi Zaika

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan Mayjen Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email : sarithyantimahaguna@gmail.com

ABSTRAK

Terkadang prasarana transportasi mengharuskan untuk dibangun pada lokasi tanah yang kurang baik apabila ditinjau dari segi geoteknisnya, seperti pada lokasi proyek jalan tol Gempol-Pasuruan yang memiliki jenis tanah lunak. Tanah lunak memiliki sifat rentan akan penurunan yang besar dan memiliki daya dukung yang rendah. Perbaikan tanah atau stabilisasi tanah dengan menggunakan kadar kapur 6% dari berat keseluruhan tanah serta diberi variasi waktu perawatan (*curing*) diharapkan dapat meningkatkan mutu tanah dasar menjadi lebih baik. Pada penelitian ini dilakukan pengujian laboratorium terhadap tanah campuran kapur 6% dengan variasi waktu perawatan (*curing*) selama 0 hari, 4 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil pengujian CBR yang didapat menunjukkan bahwa kenaikan nilai CBR terus meningkat seiring bertambahnya waktu perawatan (*curing*). Dari pengujian Triaxial didapatkan nilai kuat geser (ϕ) yang terus mengalami peningkatan, namun berbanding terbalik dengan nilai kohesi (c) yang terus mengalami penurunan. Begitu juga dengan hasil dari pengujian kuat tekan bebas yaitu nilai q_u dan C_u yang terus meningkat seiring bertambahnya waktu perawatan. Hasil uji konsolidasi menyatakan waktu perawatan dapat mengurangi penurunan serta mempercepat proses tersebut.

Kata kunci: Tanah Lunak, Waktu Perawatan, kapur, CBR, Konsolidasi, Kuat Geser Tanah.

ABSTRACT

Sometimes transportation infrastructures are required to be established on unfavorable soil location when viewed from the geotechnical terms, such as in the location of Gempol-Pasuruan toll road project which has soft soil type. Soft soils have a high susceptibility to settlement and have low bearing capacity. Soil improvement using lime content of 6% of the total weight of the soil and variation of curing time is expected to increase the quality of soil properties. In this research, laboratory testing of 6% lime soil mixed with variation of curing time for 0 days, 4 days, 7 days, 14 days and 28 days. CBR test results that were obtained show that the value of CBR continues to increase with the increasing of curing time. Triaxial testing showed that shear strength value (ϕ) continues to increase, but inversely with cohesion (c) which continues to decrease. Likewise, the result of Unconfined Compression Strength testing which is the value of q_u and C_u continues to increase with the addition of curing time. The consolidation testing showed that curing time can reduce settlement and accelerate it.

Keywords: Soft Soil, Curing Time, Lime, CBR, Consolidation, Shear Strength.

1. PENDAHULUAN

Tanah lunak pada umumnya memiliki sifat rentan akan penurunan yang besar dan memiliki daya dukung yang rendah seperti pada lokasi proyek pembangunan jalan tol Gempol – Pasuruan di Kecamatan Grati dengan kondisi muka air yang tinggi. Peristiwa penurunan (deformasi) dalam kurun waktu cukup lama dan terjadi terus-menerus dapat membahayakan struktur di atasnya.

Perbaikan tanah dimaksudkan untuk dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar agar dapat menahan konstruksi di atasnya. Salah satunya adalah dengan cara kimiawi dengan menggunakan bahan aditif kapur. Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Firdaus R.N. dan Zaika (2018) terhadap tanah lunak di Kecamatan Grati, Pasuruan didapat nilai CBR *unsoaked* optimum yaitu dengan kadar kapur 6%.

Dalam penelitian ini penulis akan melakukan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*), *Triaxial Unconsolidated Undrained (remolded)*, *Unconfined (remolded)*, dan konsolidasi pada sampel tanah lunak di desa Kedawung Kulon, Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur yang dicampur dengan 6% kapur. Variasi waktu perawatan yang diberi adalah 0 hari, 4 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lunak

Tanah lunak mengandung mineral-mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi. Das (1993) menyatakan nilai hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium, akan menunjukkan bahwa tanah tersebut lunak

apabila: Koefisien rembesan (k) sangat rendah ≤ 0.0000001 cm/dt, Batas cair (LL) $\geq 50\%$, Angka pori (e) antara 2,5 – 3,2, Kadar air dalam keadaan jenuh antara 90% - 120%, dan Berat spesifik (G_s) berkisar antara 2,6 – 2,9.

2.2 Lanau

Dalam sistem klasifikasi tanah, lanau dikategorikan diantara pasir dan tanah lempung. Tanah lanau termasuk tanah berbutir halus bersamaan dengan tanah lempung. Lanau memiliki sifat plastisitas lebih rendah daripada lempung dan mudah ditembus air. Lanau memiliki kekuatan geser *undrained* yang rendah yaitu sekitar 10-20 kPa untuk tanah lanau yang lunak dan 4-10 kPa untuk tanah lanau yang sangat lunak. Menurut beberapa organisasi, lanau merupakan tanah berbutir halus yang memiliki rata-rata diameter 0,002 – 0,0075 mm.

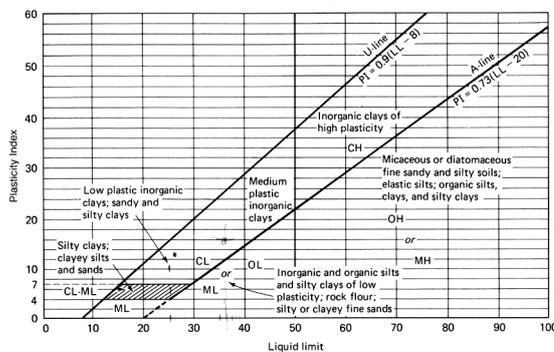
2.3 Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang bersifat multi komponen yang terdiri dari tiga fase yaitu padat, cair, dan udara. Bagian yang padat merupakan polymorphous terdiri dari mineral anorganik dan organik. Mineral – mineral lempung merupakan substansi – substansi kristal yang sangat tipis yang pembentukan utamanya berasal dari perubahan kimia pada pembentukan mineral – mineral batuan dasar. Semua mineral lempung sangat tipis termasuk dalam kelompok – kelompok pertikel kristalnya berukuran koloid ($< 0,002$ mm) dan hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron.

2.4 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah bertujuan untuk mengelompokkan beberapa jenis tanah yang berbeda sehingga dapat diketahui sifat-sifat dari tanah tersebut. Sistem

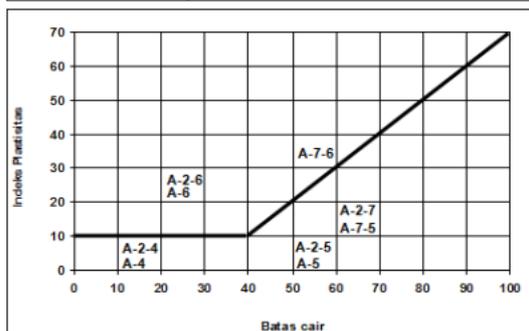
klasifikasi yang sering digunakan adalah *Unified Soil Classification (USCS)* dan *American Association of State Highway and Transportation Official Classification (AASHTO)*.



Gambar 1. Klasifikasi tanah USCS
Sumber : ASTM, Cassagrande

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos)							
No. 10	Maks 50	Maks 50	Min 51	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
No. 40	Maks 30	Maks 30	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No. 40	Maks 6		NP	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Batas cair (LL)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Indeks plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Klasifikasi umum	Tanah lanau - lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6*
Analisa ayakan (% lolos)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40				
Batas cair (LL)	Min 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			



*Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

^Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Gambar 2. Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Sumber : Das (1993)

2.5 Uji Laboratorium

a. Pemadatan

Pemadatan merupakan proses menaikkan berat satuan tanah dengan cara memaksa butiran-butiran tanah menjadi lebih rapat sehingga mengurangi pori-pori udara. Hal ini dilakukan dengan menggunakan beban statis atau dinamis pada tanah. Pengujian pemadatan standar telah dikembangkan di tahun 1933 oleh Ralph R. Proctor yang bertujuan untuk mendapatkan *Optimal Moisture Content (OMC)* dari kepadatan suatu tanah yang mencapai *dry density* (berat jenis) maksimum.

b. California Bearing Ratio

Uji CBR sering digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tanah dasar pada pembuatan perkerasan jalan raya yang kemudian nilai CBR tersebut akan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan jalan. Secara teoritis CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan tegangan yang terjadi pada suatu material dengan tegangan standar dari batu *boulder* yang dilakukan di California dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

c. Triaxial

Uji Triaxial merupakan metode untuk mencari kuat geser tanah. Percobaan Triaxial dilakukan dengan cara benda uji berbentuk tabung dimasukkan ke dalam selubung tipis dan diletakkan di dalam tabung baja, kemudian ring di dalam tabung diisi penuh dengan air. Kuat geser tanah

tersebut adalah sudut geser (ϕ) dan kohesi (c).

d. Unconfined Compression Strength

Untuk penelitian tanah, kuat geser tak terdrainase (S_u) diperlukan untuk menentukan daya dukung tanah tersebut. Kuat geser tak terdrainase (S_u) tanah lempung biasanya ditentukan dengan uji tekan tak terkekang. Nilai S_u dari tanah yang kohesif sama dengan setengah dari kuat tekan tak terkekang (q_u) ketika tanah dibawah kondisi $\phi = 0$ ($\phi =$ sudut geser dalam).

e. Konsolidasi

Konsolidasi merupakan suatu proses keluarnya air dari pori tanah akibat pemampatan tanah serta menyebabkan berkurangnya volume pori dalam tanah. Pada umumnya konsolidasi terjadi dalam satu arah saja atau disebut juga *one dimensional consolidation*. Pergerakan arah horizontal dapat diabaikan, karena tertahan oleh lapisan tanah yang berada di sekelilingnya. Parameter – parameter konsolidasi suatu tanah adalah indeks kompresi (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v).

2.6 Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Hardiyatmo (2017) menyatakan bahwa stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Stabilisasi tanah menggunakan kapur lebih cocok dilakukan terhadap tanah berbutir halus dibandingkan dengan tanah berbutir kasar. Kapur mengakibatkan penurunan indeks plastisitas tanah. Menurut Rollings dan Rollings (1996), mekanisme reaksi tanah-kapur adalah sebagai berikut :

Penambahan kapur ke dalam tanah, memberikan ion-ion kalsium yang berlimpah (ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}). Ion-ion Ca ini cenderung menggantikan kation-kation pada umumnya, seperti sodium (Na^+) atau potassium (K^+) yang berada pada partikel lempung. Proses ini disebut sebagai pertukaran kation. Tujuan utama penggunaan kapur untuk stabilisasi tanah, yaitu untuk memodifikasi sifat-sifat tanah, yaitu untuk mengurangi plastisitas, menambah mudah dikerjakan, menambah diameter butiran dan lain-lain.

2.7 Waktu Perawatan

Nilai CBR akan naik secara signifikan pada campuran tanah dengan kadar kapur 3-5%. Bila campuran tanah-kapur diperam (didiamkan beberapa hari), nilai CBR dapat naik hingga beberapa kali lipat dari nilai CBR tanah aslinya. (Hardiyatmo, 2017). Perawatan berguna untuk meyakinkan campuran tanah-kapur akan mencapai sifat-sifat akhir seperti yang diinginkan. . Metode yang dilakukan pada prinsipnya seluruh tanah yang telah dipadatkan harus dilindungi untuk menghindari ketidakreaktifan kapur.

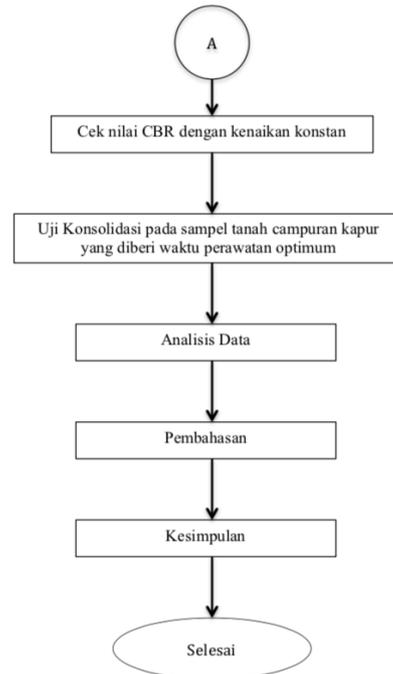
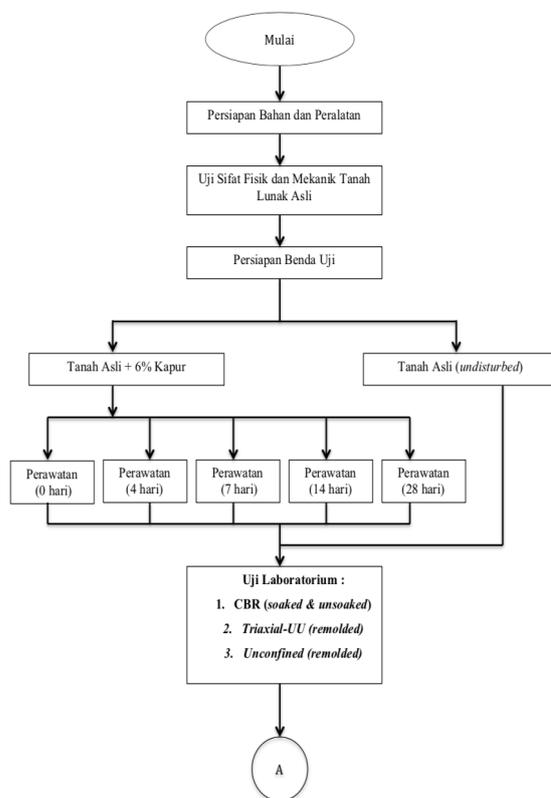
3. METODE PENELITIAN

Tanah yang digunakan berasal dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur dalam keadaan terganggu (*disturbed*). Sebelumnya telah dilakukan uji sifat fisik dan mekanik tanah asli oleh Putri A.R.D dan Zaika (2018) serta didapatkan kadar optimum kapur yaitu 6% dari penelitian Firdaus R.N dan Zaika (2018).

Dilakukan pengujian-pengujian berupa uji CBR terendam dan tidak terendam, uji triaksial, uji kuat tekan bebas, dan uji konsolidasi terhadap

benda uji tanah asli yang telah dicampur dengan 6% kapur. Untuk masing-masing benda uji diberi perlakuan waktu perawatan untuk menjaga kelembaban benda uji. Variasi waktu perawatan yang diberikan yaitu 0 hari, 4 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Untuk uji CBR dilakukan dengan cara tidak terendam (*unsoaked*) dan terendam (*soaked*) dengan lama perendaman yaitu 4 hari.

Berikut adalah bagan alir penelitian yang disajikan dalam gambar 3 :



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan telah dilakukan oleh Putri A.R.D dan Zaika (2018) untuk mengetahui sifat fisik tanah asli yang akan digunakan pada penelitian ini. Adapun salah satu pengujian pendahuluan tersebut adalah uji klasifikasi tanah yang menyatakan bahwa merupakan tanah berbutir halus lolos saringan no.200 sebanyak 92,15% yang didominasi oleh tanah lanau. Dari pengujian batas-batas Atterberg dari tanah asli didapat nilai $LL = 56,12\%$, $PL = 43,36\%$, $SL = 11,863\%$, dan $PI = 12,76\%$. Sedangkan pengujian pendahuluan lainnya terhadap campuran tanah lunak dengan kapur yang dilakukan oleh Firdaus R.N dan Zaika (2018) bertujuan untuk mendapatkan kadar kapur optimum serta kadar air optimum dari 5 (lima) variasi kadar kapur yaitu 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Dari hasil uji pemadatan serta uji CBR

unsoaked kelima kadar tersebut didapat kadar optimum kapur 6% dari berat tanah dengan kadar air sejumlah 938,7408 ml atau 28,10%. Dilakukan uji batas konsistensi terhadap tanah lunak campuran kapur 6% di dapat nilai LL = 56,602%, PL = 45,034%, PI = 11,568%, dan SL = 41,184%.

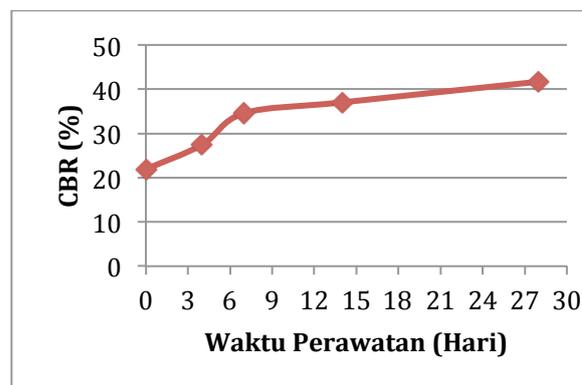
4.2 Pengujian Lanjutan

a. CBR (*California Bearing Ratio*)

Pada uji CBR dibedakan menjadi 2 yaitu CBR tidak terendam dan CBR terendam. Masing-masing benda uji yang telah dipadatkan diberi variasi waktu perawatan terlebih dahulu selama 0 hari, 4 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil percobaan yang didapat sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil pengujian CBR tanpa rendaman

Jenis Sampel	CBR (%)
	<i>Unsoaked</i>
Tanah asli	11,60
Tanah + 6% kapur (0 hari)	21,941
Tanah + 6% kapur (4 hari)	27,341
Tanah + 6% kapur (7 hari)	34,549
Tanah + 6% kapur (14 hari)	37,138
Tanah + 6% kapur (28 hari)	41,823



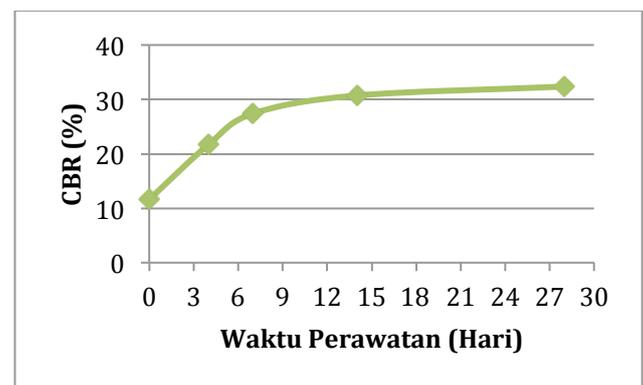
Gambar 4. Hubungan nilai CBR tanpa rendaman dengan waktu perawatan

Dari **tabel 1** didapat nilai CBR tanpa rendaman yang semakin meningkat seiring bertambahnya waktu

perawatan (*curing*). Kenaikan nilai CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) paling signifikan terjadi pada hari ke-7 yaitu mengalami kenaikan nilai sebesar 7,208% dari nilai CBR 4 hari.

Tabel 2. Hasil pengujian CBR dengan rendaman

Jenis Sampel	CBR (%)
	<i>Unsoaked</i>
Tanah asli	5,243
Tanah + 6% kapur (0 hari)	11,650
Tanah + 6% kapur (4 hari)	21,812
Tanah + 6% kapur (7 hari)	27,422
Tanah + 6% kapur (14 hari)	30,814
Tanah + 6% kapur (28 hari)	32,318



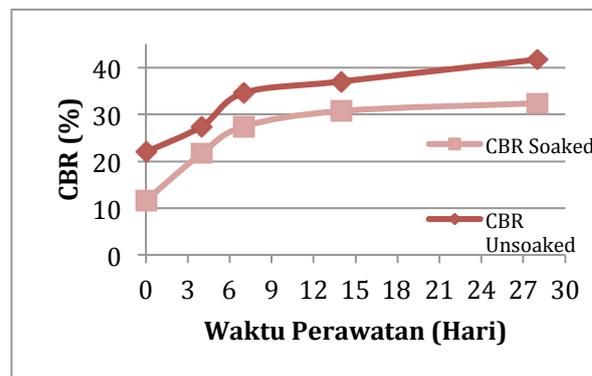
Gambar 5. Hubungan nilai CBR rendaman dengan waktu perawatan

CBR dengan rendaman (*soaked*) mengalami kenaikan nilai paling signifikan terjadi pada hari ke-4 yaitu dengan selisih sebesar 10,162% dari nilai CBR dengan waktu perawatan 0 hari.

Dapat dilihat pada **gambar 4** dan **gambar 5**, kenaikan nilai CBR, baik tidak terendam ataupun terendam, secara tidak signifikan sudah mulai terjadi pada hari ke-7 yang di mana kenaikan berikutnya semakin konstan. Dari pengujian CBR terendam ataupun tidak terendam dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu perawatan, maka

nilai CBR tanpa rendaman maupun dengan rendaman akan semakin bertambah. Dengan adanya waktu perawatan maka sifat kapur yang mengikat butiran tanah juga akan semakin kuat.

Menurut Hardiyatmo (2017) kapur yang dicampur dengan tanah asli mengakibatkan terjadinya proses pertukaran kation alkali (Na^+ dan K^+) dari tanah asli dengan kation dari kapur sehingga terjadi proses flokulasi, yaitu pembesaran ukuran butiran tanah. Pada proses stabilisasi tanah dengan kapur juga terjadi peristiwa pozzolan dan peristiwa hidrasi. Reaksi sementasi antara zat aditif dengan tanah asli membentuk butiran baru yang lebih keras sehingga menjadi lebih kuat dalam menahan beban, dan apabila campuran zat aditif dengan tanah diberi waktu perawatan (*curing*) maka proses sementasi menjadi semakin sempurna sehingga dapat memperkuat tanah asli yang terlihat pada peningkatan nilai CBR.

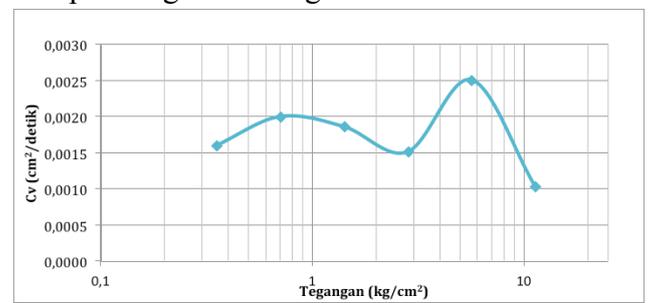


Gambar 6. Perbandingan CBR soaked dan unsoaked

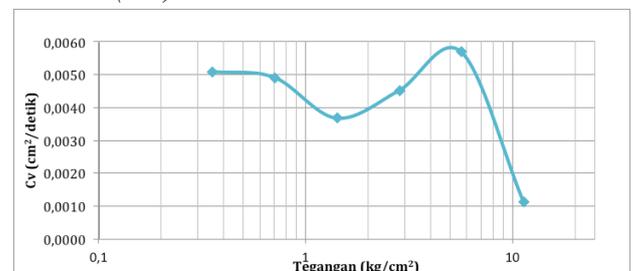
Pada gambar 6. terlihat bahwa nilai CBR terendam (*soaked*) selalu lebih kecil daripada nilai CBR tidak terendam (*unsoaked*). Hal tersebut terjadi akibat adanya air yang masuk kedalam pori tanah sehingga menyebabkan tanah menjadi semakin lunak pada permukaan.

b. Konsolidasi

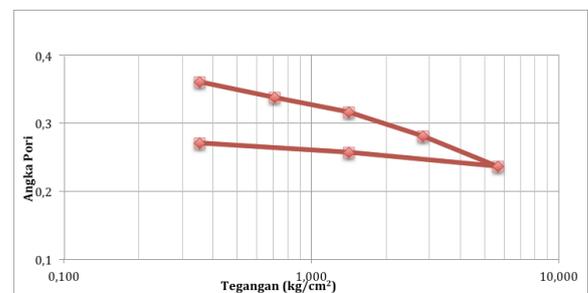
Setelah didapatkan waktu perawatan optimum maka benda uji konsolidasi diberi waktu perawatan terlebih dahulu selama 7 hari. Uji konsolidasi bertujuan untuk menentukan penurunan suatu jenis tanah karena proses keluarnya air dari pori tanah yang diakibatkan oleh adanya tekanan vertikal yang bekerja. Selain itu, uji konsolidasi bertujuan untuk mengetahui parameter konsolidasi tanah yakni Indeks Kompresi (C_c) dan Koefisien Konsolidasi (C_v). Dari hasil penelitian, didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 7. Hubungan antara tegangan dan C_v (t_{50})



Gambar 8. Hubungan antara tegangan dan C_v (t_{90})



Gambar 9. Hubungan antara tegangan dan angka pori

Dari perhitungan didapatkan nilai C_c rata – rata sebesar 0,0945. Jadi, konsolidasi dari tanah lunak dengan penambahan kapur 6% yang diberi waktu perawatan 7 hari menghasilkan penurunan sebesar 0,413 m dalam waktu tempuh 14,47 tahun. Apabila dibandingkan dengan konsolidasi tanah asli (*undisturbed*) yang telah dilakukan oleh Putri A.R.D dan Zaika (2018) didapat penurunan akibat konsolidasi sebesar 2,65 m dengan waktu tempuh selama 25,7 tahun. Penurunan yang terjadi pada tanah lunak dengan penambahan kapur 6% yang diberi perawatan 7 hari menjadi berkurang sebesar 541,65% dibandingkan dengan tanah asli. Waktu tempuh konsolidasi tersebut menjadi lebih singkat 77,61% dari waktu tempuh konsolidasi untuk tanah asli. Perbaikan tanah menggunakan kapur yang diberi waktu perawatan (*curing*) dapat mengurangi penurunan menjadi lebih kecil serta mempersingkat waktu konsolidasi tersebut.

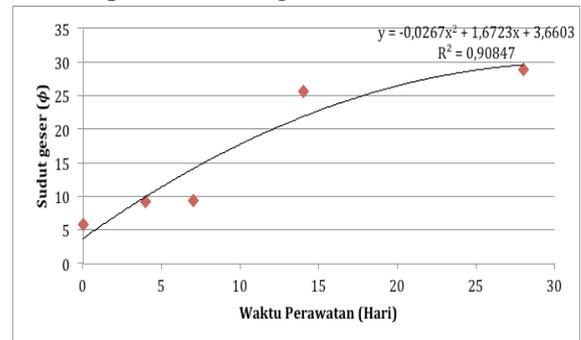
c. Triaksial

Pengujian Triaksial - UU dilakukan untuk mengetahui nilai sudut geser dan kohesi yang dipengaruhi oleh waktu perawatan (*curing*). Benda uji berbentuk silinder yang sudah tercampur dengan kadar kapur 6% dibuat secara *remolded* dan dijaga kondisinya di dalam desikator sesuai dengan variasi waktu perawatan yang sudah ditentukan.

Tabel 3. Hasil dari Triaxial Compression Test-UU

Jenis Sampel	ϕ (°)	C (kg/cm ²)
Tanah Asli (<i>Undisturbed</i>)	1,2197	0,189
Tanah + 6% Kapur (0 hari)	5,832	1,40
Tanah + 6% Kapur (4 hari)	9,194	1,39
Tanah + 6% Kapur (7 hari)	9,456	1,352
Tanah + 6% Kapur (14 hari)	25,645	0,859
Tanah + 6% Kapur (28 hari)	28,894	0,724

Dari **tabel 3.** dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya waktu perawatan (*curing*) menyebabkan nilai sudut geser semakin meningkat pula. Peningkatan sudut geser (ϕ) paling signifikan terjadi pada hari ke-14 dengan nilai 25,645° serta nilai ϕ yang paling besar terjadi pada hari ke-28 yakni 28,894°. Berikut grafik pengaruh lama waktu perawatan terhadap nilai sudut geser.

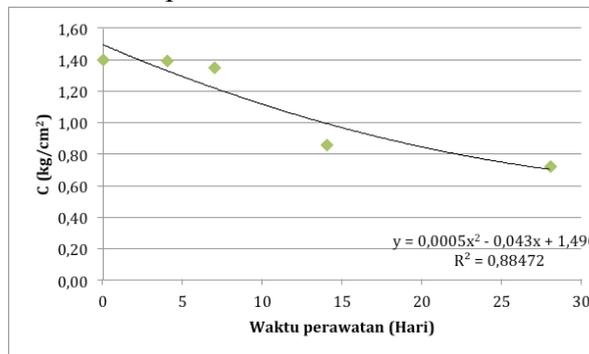


Gambar 10. Pengaruh lama waktu perawatan terhadap nilai sudut geser

Akibat butiran tanah semakin besar menyebabkan bidang kontak antar butiran bertambah, sudut geser yang terjadi semakin besar yang berarti nilai koefisien gesek juga meningkat.

Berbeda dengan sudut geser, nilai kohesi (c) tanah terus mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya

waktu perawatan. Nilai kohesi terendah terjadi pada hari ke 28 yaitu sebesar $0,724 \text{ kg/cm}^2$ dan penurunan paling signifikan terjadi di hari ke-14 yakni bernilai $0,859 \text{ kg/cm}^2$. Berikut grafik hubungan antara nilai kohesi dengan lama waktu perawatan.



Gambar 11. Pengaruh lama waktu perawatan terhadap nilai kohesi (c).

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel yang sejenis dan dipengaruhi oleh kerapatan serta jarak antarpartikel di dalam tanah. Seiring bertambahnya waktu perawatan, zat aditif kapur mengikat butiran tanah tanpa menimbulkan bertambahnya kerapatan antar molekul tanah sehingga ikatan yang terbentuk dari gradasi butirannya menjadi tidak seimbang. Seperti yang telah didapat dari pengujian *atterberg limit* tanah dengan campuran kapur 6% memberikan nilai Indeks Plastisitas yang lebih kecil daripada tanah asli, sehingga apabila diplotkan pada **gambar 2** jenis tanah berubah mendekati kelompok A-5 dimana berupa tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir tanah.

d. Unconfined Compression Strength

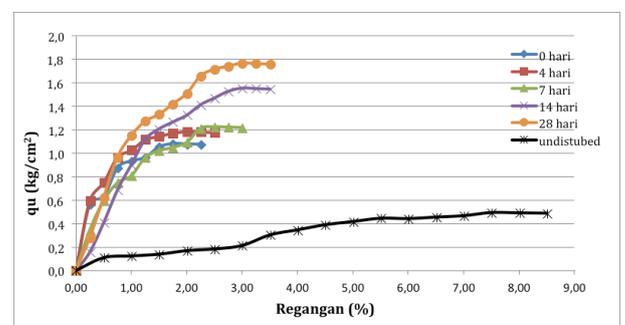
Kuat tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan

aksial mencapai 15%. Uji tersebut menghasilkan grafik hubungan antara tegangan aksial tekan dengan regangan.

Benda uji yang digunakan pada pengujian kuat tekan bebas merupakan tanah lunak dengan campuran kapur 6% yang dibentuk secara *remolded* dan telah diberi perlakuan 5 (lima) waktu perawatan (*curing*) sebelumnya yaitu 0 hari, 4 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Tabel 4. Perbandingan nilai C_u dan q_u

No.	Curing Time (hari)	Tegangan Maksimum (kg/cm^2)	C_u (kg/cm^2)
1	Tanah asli (<i>undisturbed</i>)	0,494	0,247
2	0	1,080	0,540
3	4	1,185	0,593
4	7	1,225	0,613
5	14	1,554	0,777
6	28	1,767	0,884



Gambar 12. Perbandingan tegangan-regangan tanah lunak campuran kapur 6% dengan variasi waktu perawatan.

Hasil pengujian kuat tekan bebas dari **gambar 12** menunjukkan bahwa nilai tegangan saat runtuh dari tanah lunak campuran kapur 6% berbanding lurus dengan waktu perawatan (*curing*). Semakin lama waktu perawatan yang diberi maka tanah tersebut semakin memiliki tegangan saat runtuh (q_u) yang lebih besar.

Gambar 12 memperlihatkan waktu perawatan 28 hari memberikan hasil tegangan maksimum yang terbesar dibandingkan dengan waktu perawatan yang lain yaitu dengan nilai 1,767 kg/cm² dan apabila dibandingkan dengan waktu 0 hari yang memiliki tegangan maksimum sebesar 1,080 kg/cm² maka waktu perawatan 28 hari dapat meningkatkan tegangan maksimum sebesar 63,61%.

Dengan diberikannya waktu perawatan (*curing*) terhadap benda uji campuran kapur menyebabkan proses hidrasi berlangsung semakin sempurna sehingga zat aditif kapur semakin dapat mengikat kuat butiran-butiran tanah, yang kemudian menyebabkan kenaikan tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji seiring dengan bertambahnya waktu perawatan.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Tanah lunak dari Kecamatan Grati, Pasuruan yang tercampur dengan zat *additive* kapur (*lime*) dan telah diberi perlakuan waktu perawatan (*curing*) 0 hari mengalami kenaikan nilai CBR *soaked* sebesar 6,407% dan CBR *unsoaked* sebesar 10,341% apabila dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli. Waktu perawatan 7 hari memberi kenaikan nilai CBR *soaked* sebesar 15,772% dan CBR *unsoaked* sebesar 12,608% dari waktu perawatan 0 hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai CBR *soaked* dan *unsoaked* akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu perawatan (*curing*).
2. Seiring bertambahnya waktu perawatan (*curing*) menyebabkan peningkatan pada nilai sudut geser

(ϕ), namun berbanding terbalik dengan nilai kohesi (c) yang terus mengalami penurunan. Kenaikan nilai ϕ dengan waktu perawatan 7 hari sebesar 62,14% dari waktu perawatan 0 hari dan juga dengan perbandingan waktu yang sama, penurunan nilai c terjadi sebesar 3,55%. Begitu juga pemberian waktu perawatan 7 hari menyebabkan nilai q_u dan nilai C_u semakin meningkat. Kenaikan nilai q_u sebesar 13,43% dari waktu perawatan 0 hari serta kenaikan nilai C_u sebesar 13,52% dari waktu perawatan 0 hari.

3. Nilai CBR *soaked* dan *unsoaked* mulai mengalami kenaikan konstan atau secara tidak signifikan pada hari ke-7.
4. Besar nilai penurunan konsolidasi untuk benda uji yang telah diberikan waktu perawatan 7 hari yaitu sebesar 0,413 m dengan waktu tempuh 14,47 tahun. Apabila dibandingkan konsolidasi tanah asli (*undisturbed*), maka dapat mengurangi penurunan sebesar 541,65% serta mempersingkat waktu penurunan hingga 77,61%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan adanya penambahan variasi waktu perawatan yang lebih lama.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan benda uji dari jenis tanah yang berbeda dari tanah lunak serta bahan *additive* yang berbeda.
3. Perlu adanya peralatan praktikum yang lebih memadai, agar hasil penelitian lebih baik dan akurat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1992. **Analisa dan Desain Pondasi Jilid I (Edisi Keempat)**. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1993. **Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)**. Jakarta: Erlangga.
- Craig, RF. 1991. **Mekanika Tanah Edisi Keempat**. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. **Mekanika Tanah (Prinsip - prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I**. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. **Mekanika Tanah (Prinsip - prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2**. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1999. **Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement**, CRC Press, Sacramento, California.
- Firdaus, R. dan Zaika, Y. 2018. **Pengaruh Penambahan Kadar Kapur terhadap Daya Dukung Tanah Lunak di Kecamatan Grati Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur**. Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. **Mekanika Tanah I**. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2017. **Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan**. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Indrawahyuni, Herlien. 2008. **Mekanika Tanah I**. Malang : Bargie Media.
- Munawir, As'ad. 2014. **Buku Ajar Perbaikan Tanah**. Hand Out: Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Putri, A. dan Zaika, Y. 2018. **Pengaruh Kadar Air terhadap Daya Dukung pada Tanah Lunak di Jalan Tol Gempol-Pasuruan**. Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB. Malang: Universitas Brawijaya.
- Terzaghi, Karl. 1987. **Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid I**. Jakarta : Erlangga.
- Wesley. 1997. **Mekanika Tanah**. Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.