

PENGARUH PROSES PEMBASAHAN DAN PENGERINGAN PADA TANAH EKSPANSIF YANG DISTABILISASI DENGAN KAPUR DAN ECO CURE²¹ (STUDI KASUS: JALAN BOJONEGORO–PADANGAN km 133 + 550)

Moch. Sholeh

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

email: moch.sholeh@poltek-malang.ac.id

Abstrak

Beberapa daerah di Indonesia, kondisi jalan masih berupa tanah asli yang didominasi oleh tanah lempung dengan plastisitas dan kembang-susut yang tinggi. Pada tanah tersebut, permukaan jalan sangat mudah berubah karena faktor air, sehingga di musim hujan banyak ruas-ruas jalan yang rusak berat dan tidak dapat dilewati kendaraan bermotor dan di musim kemarau banyak ruas-ruas jalan yang retak-retak sehingga sangat membahayakan bagi pengguna jalan. Alternatif pemecahannya adalah menstabilisasi badan jalan dengan bahan stabilisasi jalan (*road stabilizer*). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan mengetahui pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan pada tanah ekspansif yang distabilisasi oleh kapur dan Eco Cure²¹ melalui tahap penambahan dan pengurangan air sebanyak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Kekuatan tekan diuji dengan *unconfined compression test* dan daya dukung diuji dengan tes CBR laboratorium. Hasil pemakaian kapur 8% dan Eco Cure²¹ 1% menghasilkan perbaikan sifat-sifat fisik dan mekanik dari tanah asli antara lain : kapadatan kering (γ_d) dari 1,376 gr/cm³, menjadi 1,450 gr/cm³ atau naik sebesar 5,378%, Plasticity Index (PI) menurun dari 58,05 % menjadi 54,50% atau turun sebesar 6,12 %, kuat tekan bebas (q_u) dari 2,497 kg/cm² menjadi 5,611 kg/cm² atau naik sebesar 124,710%, nilai CBR laboratorium dari 1,21% menjadi 12,33% atau naik sebesar 919 % dan kuat geser (c_u) meningkat dari 1,249 kg/cm² menjadi 2,806 kg/cm² atau naik sebesar 58,66% serta prosentase *swelling* sebesar 4,84%. Dari hasil tersebut diperlukan variasi penambahan kapur dengan prosentase yang berbeda atau perlu dipertimbangkan juga pemakaian campuran semen-kapur atau semen saja guna mendapatkan daya dukung tanah dan prosentase *swelling* yang lebih baik apabila ditambah dengan Eco Cure²¹.

Kata-kata kunci : pembasahan, pengeringan, (*wetting-drying*), *road stabilizer*, Eco Cure²¹, kapur, *soil-cement*.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan sebagai bagian sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan dan dikembangkan agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah, membentuk dan memperkuat kesatuan nasional untuk memantapkan pertahanan dan keamanan nasional serta membentuk struktur ruang dalam rangka mewujudkan sasaran pembangunan nasional.

Beberapa daerah di Indonesia, kondisi jalan masih berupa tanah asli yang didominasi oleh tanah lempung atau lanau dengan plastisitas dan kembang-susut yang tinggi. Pada tanah tersebut, permukaan badan jalan sangat mudah berubah karena air, sehingga di musim hujan banyak ruas-ruas jalan tersebut yang rusak berat dan tidak dapat dilewati kendaraan bermotor, akibatnya daerah-daerah tersebut terisolir dan di musim kemarau banyak ruas-ruas jalan tersebut yang retak-retak sehingga sangat membahayakan bagi pengguna jalan.

Alternatif pemecahan masalah di atas adalah diupayakan dengan menstabilisasi badan jalan dengan bahan stabilisasi jalan (*road stabilizer*). Pemberian bahan *road stabilizer* dimaksudkan untuk membentuk badan jalan yang lebih tahan terhadap cuaca dan tetap kuat memikul beban roda kendaraan selama musim penghujan tanpa mengalami kerusakan yang berarti dan mencegah keretakan jalan selama musim kemarau. Jadi biaya pemeliharaan jalan tanah yang distabilisasi tersebut dapat ditekan serendah mungkin, selama kurun waktu tersebut sehingga lalu lintas di daerah tersebut dapat tetap berfungsi dengan baik.

Salah satu *road stabilizer* yang sudah pernah dilakukan yaitu tanah distabilisasi dengan semen (PC) atau kapur (*lime*) dan di beberapa daerah di Indonesia sudah dilakukan stabilisasi dengan bahan tersebut.

Tanah yang sudah gembur dicampur dengan semen atau kapur, kemudian tanah diaduk dengan *rotavator* sedemikian rupa hingga benar-benar bercampur dengan semen atau kapur, lalu tanah yang sudah bercampur dengan semen atau kapur disiram dengan air hingga tanah mencapai kadar air optimum, lapisan yang terjadi disebut sebagai lapisan *soil-cement* atau *soil-lime*.

Namun stabilisasi dengan semen ini masih ada kelemahannya. Setelah dilakukan evaluasi uji coba di lapangan ternyata stabilisasi pada jalan *soil-cement*, walaupun kekuatannya pada awalnya sangat tinggi, namun apabila terkena beban roda yang sangat berat lapisan *soil-cement* ini dapat retak dan bahannya mudah tergerus oleh roda kendaraan berat. Bila terjadi retak maka retak tersebut bisa menjadi permanen dan tidak dapat normal kembali. Sehingga lama kelamaan akan timbul banyak keretakan pada permukaan jalan yang memungkinkan air hujan dapat masuk dengan mudah membasahi tanah di bawahnya mengakibatkan kerusakan pada lapisan tanah asli di bawahnya.

Untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada bahan *road stabilizer* di atas, maka digunakan alternatif lain yaitu bahan kimia sebagai bahan stabilisasi tanah yang berupa bahan *additive* dengan nama *Eco Cure*²¹. *Eco Cure*²¹ merupakan produk dari Nippon Eco-Technology Co., Ltd. Jepang.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana perubahan nilai CBR dan kuat tekan pada contoh tanah asli dan contoh tanah yang distabilisasi dengan kapur dan *Eco Cure*²¹
2. Bagaimana pengaruh proses pembasahan dan pengerigan terhadap kuat tekan, kuat geser dan perubahan volume contoh tanah asli dan contoh tanah yang distabilisasi dengan kapur dan *Eco Cure*²¹

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan pada tanah asli lempung jalan Bojonegoro – Padangan km 133 + 550 (tanah lempung ekspansif tinggi) yang distabilisasi dengan kapur 8 % dan *Eco Cure*²¹ 1%
2. Pengujian kuat tekan menggunakan *Unconfined Compression Test* dan nilai CBR diperoleh dari pengujian CBR laboratorium.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perubahan nilai CBR, dan kuat tekan pada contoh tanah asli dan contoh tanah yang distabilisasi dengan kapur dan *Eco Cure*²¹
2. Mempelajari perilaku pengaruh proses pembasahan dan pengerigan terhadap kuat tekan, kuat geser, dan perubahan volume contoh tanah asli dan contoh tanah yang distabilisasi dengan kapur dan *Eco Cure*²¹

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Penanggulangan Tanah Ekspansif

Untuk tanah ekspansif, Mochtar (1994) mengusulkan beberapa pendekatan spesifik untuk mengatasi sifat kembang-susut yang besar, yaitu:

- a. Mencegah terjadinya perubahan kadar air pada tanah.
- b. Memberikan beban yang cukup besar diatas permukaan tanah untuk melawan tekanan pengembangan dari tanah.
- c. Memperbaiki sifat yang rusak dari tanah dasar dengan cara stabilisasi.

Pada dasarnya stabilisasi dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

- a. Stabilisasi mekanik
- b. Stabilisasi kimia
- c. Stabilisasi termal

Pada stabilisasi mekanik, tanah yang akan distabilisasi dicampur dengan material lain yang lebih baik (misalnya pasir) dan atau dipadatkan untuk mengurangi rongga pori sehingga akan menaikkan berat isi tanah tersebut.

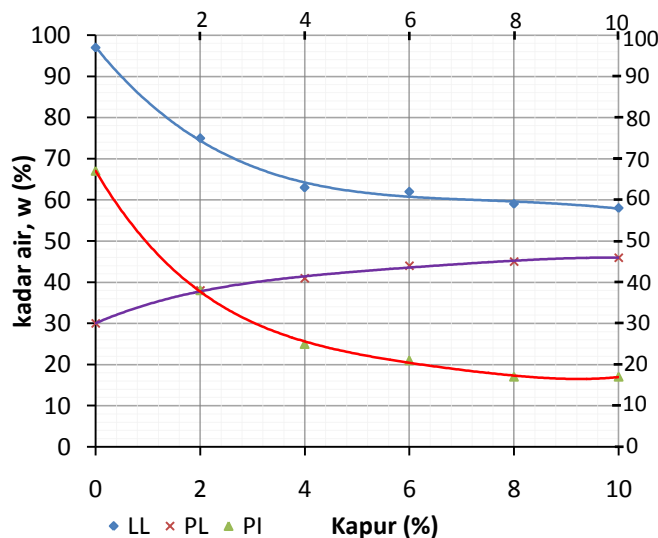
Pada stabilisasi kimia, tanah ekspansif dicampur dengan bahan tertentu yang mengandung unsur-unsur kimia yang dapat memperbaiki sifat tanah ekspansif.

Sedangkan pada stabilisasi thermal, tanah yang akan diperbaiki dipanaskan sampai suhu tertentu sehingga akan terbentuk struktur kristal dan tidak ada unsur-unsur dalam kelompok OH (hidroksida)

2.2 Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi

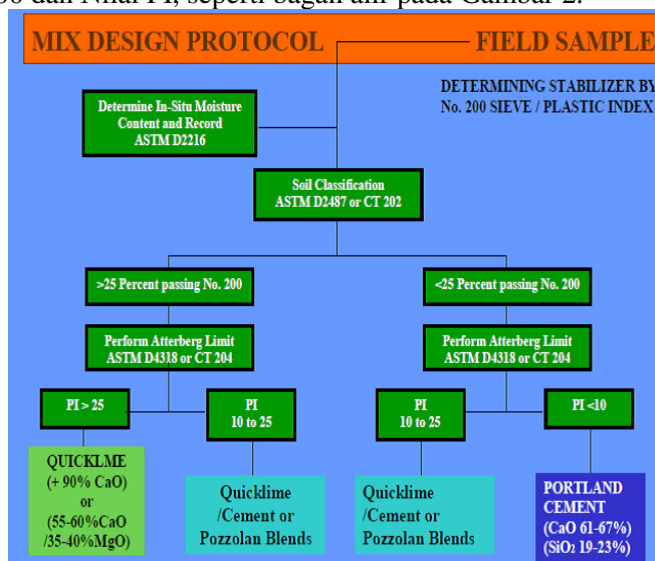
Kapur adalah salah satu bahan yang dipakai untuk stabilisasi tanah. Bahan ini mudah didapat karena banyak dipasaran dan diproduksi secara besar-besaran. Kapur mengandung kation-kation Ca^{++} dan Mg^{++} yang mampu menetralsir sifat kembang susut tanah lempung/lanau yang besar. Selain itu kapur juga berfungsi untuk me-rangsang terjadinya proses sementasi antara butiran tanah sehingga membentuk gumpal-an partikel yang lebih besar sehingga plastisitas tanah akan berkurang, yang pada akhirnya juga berpengaruh terhadap penambahan kekuatan tanah.

Dalam penelitian yang lain (Sudirham,1988) dikatakan bahwa dengan pemakaian kapur baik bentuk powder mampu menurunkan harga *Plasticity Index* hingga 64%. Hal ini diperkuat dengan adanya penelitian di daerah Cepu oleh Sudjanarko Sudirham dan Ria Asih Aryani Soemitro (1986). Dikatakan pula penambahan kapur dengan kadar 10% akan mampu mengurangi harga *swelling* yang relatif besar, seperti pada Gambar 1. Penelitian Roosatrijo (1997) juga didapatkan bahwa kapur mampu mengurangi terjadinya *swelling* pada tanah lempung atau lanau hingga 7%.



Gambar 1. Perubahan harga atterberg limits akibat kenaikan % kapur (Sudirham dan Soemitro,1986)

Sementara dalam hal *mix design*, perusahaan Haro Streeter Inc. membedakan penggunaan kapur dan semen sebagai bahan stabilisasi tanah dengan 2 (dua) kriteria, yaitu tanah berdasarkan lolos saringan No. 200 dan Nilai PI, seperti bagan alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penentuan Kapur atau Semen sebagai Bahan Stabilisasi Tanah (Haro Streeter, 2008)

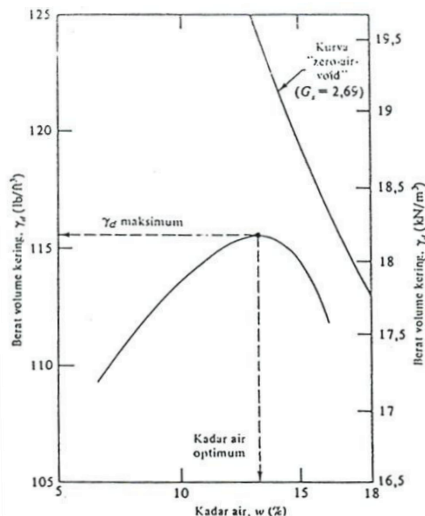
2.3 Prinsip Dasar Pemadatan

Pemadatan adalah suatu proses densifikasi dimana partikel-partikel tanah diusahakan untuk lebih rapat dengan cara mengurangi pori-pori udara yang terdapat di dalam suatu masa tanah. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menerapkan sejumlah energi pada tanah yang akan dipadatkan.

Tujuan utama dari pemadatan adalah untuk menghasilkan tanah yang memenuhi karakteristik teknik yang diinginkan yaitu : meningkatkan kekuatan, mengurangi kompresibilitas dan memperkecil permeabilitas.

Suatu kurva hubungan antara kepadatan kering dengan kadar air untuk tanah dengan energi pemadatan tertentu diperlihatkan dalam Gambar 3.

Ada dua metode pengujian pemadatan di laboratorium yaitu *Standard Proctor Test* (ASTM Designation D 698 dan AASHTO Designation T-99) dengan energi pemadatan sebesar 12.375 ft.lb/ft³ (593 kJ/m³) dan *Modified Proctor Test* (ASTM Designation D 1577 dan AASHTO Designation T-180) dengan energi pemadatan sebesar 56.250 ft. lb/ft³ (2694 kJ/m³).



Gambar 3. Kurva Tipikal Hubungan Kepadatan Kering (γ_d) – Kadar Air (w) (Das, B.M, 1995)

2.4 Stabilitas Tanah Lempung yg Dipadatkan

Berbagai mode telah dikembangkan untuk menentukan stabilitas relatif pada tanah lempung yang dipadatkan untuk tanah dasar (*subgrade*) jalan. Sebagian besar dari metode ini adalah dengan mengambil contoh tanah di lapangan dan mengujinya dilaboratorium dengan menstimulasi menurut kondisi lapangan. Pengujian dilakukan terhadap deformasi atau kekuatan tekan dari contoh dan kemudian hasil pengujian tersebut diinterpretasi dan dikorelasikan untuk penggunaannya sebagai tanah pendukung lapisan perkerasan. Dari berbagai pengujian stabilitas tersebut yang paling banyak digunakan bagi para perencana untuk menunjukkan indeks stabilitas adalah pengujian *California Bearing Ratio* atau CBR.

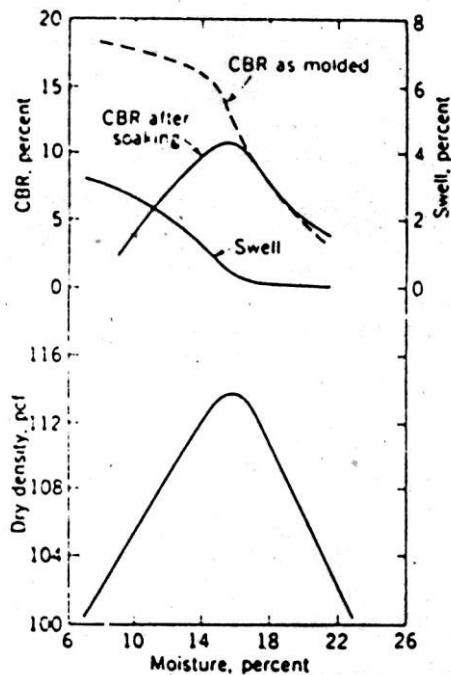
Pengujian CBR digunakan untuk menunjukkan stabilitas relatif dari tanah yang telah disiapkan dengan kepadatan dan kadar air tertentu, yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan di bawah lapisan perkerasan. Pengujian ini dilakukan untuk tanah yang dipadatkan pada cetakan (*mold*) silinder dan telah direndam selama 4 hari dengan beban tambahan yang setara dengan lapisan perkerasan. Besarnya perubahan volume dicatat selama masa rendaman dan tanah dengan harga swell melampaui 3 (tiga) % dinilai tidak bisa digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*).

Pengujian kekuatan merupakan pengujian penetrasi, dimana sebuah batang (*piston*) silinder ditekan pada tanah yang telah direndam dengan kecepatan pembebanan yang tetap. Sebuah kurva beban terhadap penetrasi dapat dibuat dan kurva ini dibandingkan terhadap kurva standard yang diperoleh untuk batu pecah. Untuk kebanyakan kasus, nilai CBR ditentukan sebagai perbandingan beban pada penetrasi 0,1 inchi (2,5 mm) dari tanah terhadap batu pecah dan dinyatakan dalam prosentase.

Suatu contoh tanah lempung kelanauan yang dipadatkan dengan energi kompaksi yang konstan memberikan kurva seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

Dari Gambar ini terlihat, jika stabilitas yang dinyatakan dari nilai CBR dan persentase mengembang (*swell*) ditentukan untuk contoh-contoh yang dibuat pada berbagai titik sepanjang kurva, diperoleh nilai CBR as molded yang berkurang seiring dengan naiknya kadar air kompaksi. Namun bila

CBR diperoleh dari contoh-contoh yang sama setelah direndam selama 4 hari, maka nilai puncaknya akan terdapat pada harga kadar air optimum.



Gambar 4. Density dan CBR untuk lempung kelanauan (CL) tipikal. (Yoder, 1975)

Contoh tanah yang dipadatkan pada kadar air yang rendah memperlihatkan harga pengembangan (*swell*) yang besar selama periode rendaman. Persentase *swell* berkurang dengan bertambahnya kadar air pemadatan, hingga relatif konstan pada kadar air yang lebih besar dari kadar air optimum.

Data menunjukkan bahwa tanah lempung yang dipadatkan pada sisi kering (*dry side*) dari kadar air optimum seakan-akan memberikan suatu struktur yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi, namun struktur ini akan mengembang dengan masuknya air. *Swell* akan merubah atau memisahkan partikel-partikel tanah sehingga sebagian besar kekuatannya akan hilang.

Tanah lempung yang dipadatkan pada sisi basah (*wet side*) dari kadar air optimum akan mempunyai struktur yang lebih stabil dengan adanya air, tetapi tidak stabil akibat beban. Jadi pemadatan yang dilakukan dengan kadar air yang mendekati kadar air optimum akan menghasilkan bentuk struktur menengah yang memberikan fenomena yang baik dari kedua kondisi yaitu kekuatan dan kekakuan serta ketahanan terhadap hilangnya stabilitas dan *swell* bila direndam.

2.5 Perubahan Kuat Tekan Akibat Siklus Pengeringan dan Pembasahan

Tahap pengeringan adalah tahap dimana kondisi kadar air dalam pori-pori tanah mengalami penurunan dan sebaliknya tahap pembasahan adalah tahap dimana terjadi peningkatan kadar air pada pori-pori tanah. Hubungan antara besarnya tekanan air pori negatif dan kadar air membentuk suatu pola tertentu dan merupakan bentuk khas kurva pengeringan-pembasahan suatu tanah. Pada tahap pengeringan, kadar air tanah mengalami penurunan sehingga tekanan air pori negatif menjadi besar, sebaliknya pada tahap pembasahan kadar air tanah mengalami peningkatan sehingga tekanan air pori negatif mengecil.

2.6 Bahan Stabilisasi Eco Cure²¹

Diambil dari buku manual Eco Cure²¹ (2008), bahwa bahan stabilisasi Eco Cure²¹ adalah bahan stabilisasi dan pemadatan (*solidifikasi*) tanah yang berupa material serbuk halus terdiri dari komposisi logam garam organik (natrium klorida, kalium klorida, magnesium klorida, kalsium fosfat, natrium sulfat, kalsium klorida dan lain-lain) yang bersumber dari air laut, aman untuk makhluk hidup dan ramah lingkungan.

Apabila partikel tanah dilihat secara mikro, maka pada permukaan tanah tersebut menempel lapisan air yang tipis, kira-kira ketebalannya 0,5 μm . Lapisan ini memiliki kekuatan yang luar biasa, kira-kira 2.000 kg tiap 1 cm^2 . Untuk memindahkan lapisan air ini membutuhkan energi yang besar. Sifat air yang melekat ini agak berbeda dengan air biasa yang diketahui, 1 cc = 1,0 gram pada suhu 4° C untuk air

normal, tetapi air khusus ini adalah 1 cc = 1,4 gram. Air ini dapat bergerak dengan arah horisontal tetapi tidak dapat bergerak secara vertikal. Air ini yang menghambat semen menjadi keras.

Adapun komposisi-komposisi penyusun Eco Cure²¹ adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi bahan kimia Eco Cure²¹

No	Bahan Kimia	Komposisi Berat (%)
1.	Natrium Chloride (NaCl)	15 ~ 25
2.	Potassium Chloride (KCl)	20 ~ 35
3.	Magnesium Chloride (MgCl ₂)	15 ~ 25
4.	Calcium Chloride (CaCl ₂)	5 ~ 15
5.	Sodium Sulfate (Na ₂ SO ₄)	1 ~ 10
6.	Ammonium Chloride (NH ₄ Cl)	5 ~ 15
7.	Citrid Acid (C ₄ H ₈ O ₇ , H ₂ O)	1 ~ 5
8.	Lain – lain	1 ~ 5

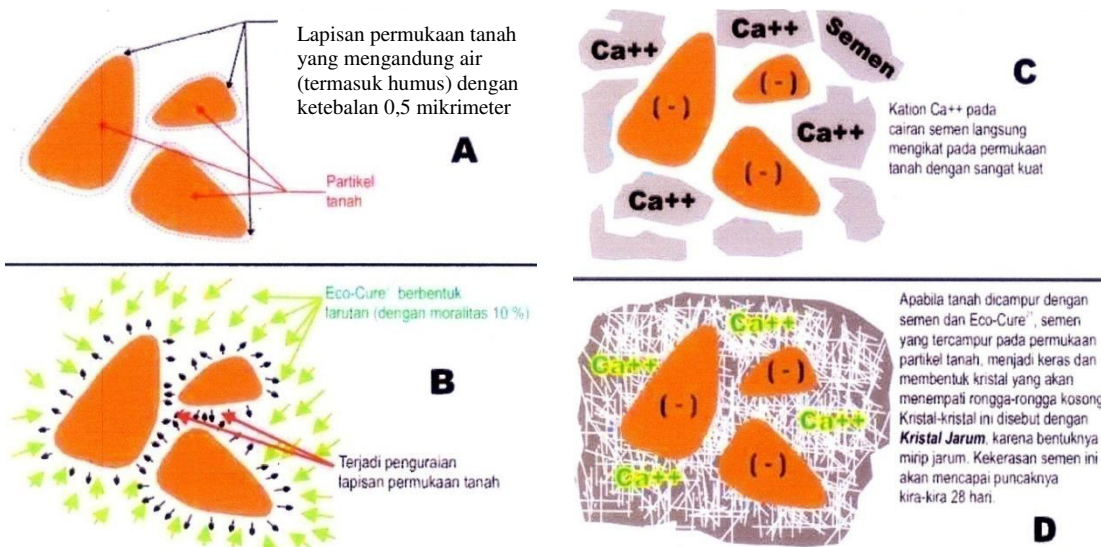
Sumber : Nippon Eco-Technology, Inc., 2008

Terbentuknya humus adalah melarutnya tanaman- tanaman yang sudah mati ke dalam air yang menempel pada permukaan tanah dan humus (humic acid, R-COOH) ini menghambat terjadinya kontak antara kation kalsium (Ca⁺⁺) pada semen dan anion (-) dari partikel-partikel tanah.

Pada saat penggunaan Eco Cure²¹ harus dengan melarutkannya ke dalam air pada tingkat kelarutan (molaritas) 10%. Beberapa komponen Eco Cure²¹ memperlemah fungsi negatif dari humus dan akan menurunkan kadar humus itu sendiri. Kemudian kation kalsium (Ca⁺⁺) pada semen atau kapur dapat menempel langsung diper-mukaan tanah.

Eco Cure²¹ membusukkan humus yang terdapat di dalam lapisan air pada per-mukaan tanah, sehingga partikel tanah menjadi bermuatan ion negatif (anion) mengakibatkan kation kalsium (Ca⁺⁺) mengikat langsung pada partikel tanah.

Bila pencampuran semen atau kapur yang mengandung sulfur (SO₃) dengan tanah tidak melibatkan Eco Cure²¹ maka ketika bercampur dengan air tanah atau terkena air hujan akan mnghasilkan sulfuric acid yang menyebabkan keretakan dengan reaksi kimia sebagai berikut : SO₃ + H₂O = H₂SO₄.



Gambar 5. Ilustrasi cara kerja Eco Cure²¹ dalam campuran tanah dan semen(Nippon Eco-Technology, Inc., 2008)

Hal ini akan berbeda bila menggunakan Eco Cure²¹, dimana pada saat terjadi pengikatan semen atau kapur pada partikel tanah dan mengering karena reaksi dehidrasi akan terbentuk kristal-kristal yang muncul diantara campuran semen atau kapur yang mengikat partikel tanah. Kristal-kristal tersebut menyerupai jarum-jarum, secara intensif akan bertambah banyak dan membesar yang nantinya membentuk rongga-rongga mikro yang bisa menyerap air (porositas) sehingga tidak terjadi keretakan, seperti ilustrasi Gambar 5.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Identifikasi Contoh Tanah

- a. Analisa Butiran (Analisa Saringan)
Contoh tanah lempung dari daerah Bojonegoro–Padangan km 133 + 550 diangin-anginkan antara 2 – 7 hari, kemudian diambil sebagian dengan berat tertentu untuk dilakukan pengujian analisa butiran (Analisa Saringan). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui prosentase fraksi gradasi dari masing-masing jenis tanah tersebut.
- b. Pengujian Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg's Limit*)
Pada pengujian ini contoh tanah dilakukan tahapan pengujian, yaitu:
 1. Contoh tanah asli didapatkan nilai **LL**, **PL** dan **IP**
 2. Contoh tanah asli + kapur didapatkan nilai **LL**, **PL** dan **IP**.
 3. Contoh tanah asli + kapur + *Eco Cure*²¹ didapatkan nilai **LL**, **PL** dan **IP**
 Selain juga diuji nilai volumetri dan gravimetrinya

3.2 Pengujian Kepadatan (*Standart Proctor*)

Pada pengujian ini contoh tanah di-lakukan tahapan pengujian kepadatan, yaitu :

1. Contoh tanah asli
Pada pengujian ini semua jenis tanah dilakukan pengujian kepadatan *Standart Proctor* untuk menentukan nilai dari berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) dan kadar air optimum ($w_{opt} = w_i$)
2. Contoh tanah + kapur
Contoh tanah dengan penambahan air dari hasil perhitungan berat air pada kadar air optimum dikurangi dengan kadar air awal tanah lalu dicampur dengan kapur 8 % dari berat kering, sehingga di dapat (γ_{dmaks}) dan ($w_{opt} = w_i$)
3. Contoh tanah + kapur + *Eco Cure*²¹
Contoh tanah + kapur 8 % ditambah *Eco Cure*²¹ dengan variasi kadar *Ecomix* 1% dari berat kering tanah. Penambahan ini dengan mempertimbangkan homogenitas campuran tanah + kapur, diambil dalam rentang waktu sebelum homogenitas, sewaktu homogenitas dan sesudah waktu homogenitas campuran tanah + kapur terjadi, sehingga di dapat (γ_{dmaks}) dan ($w_{opt} = w_i$).
Setelah didapatkan nilai γ_{dmaks} dan $w_{opt} = w_i$ dilakukan penyeimbangan kadar air semua benda uji selama kurang lebih 2 hari.

3.3 Pengujian Pembasahan dan Pengeringan

- a. Tahap pembasahan– pengeringan.
Pada tahap pembasahan– pengeringan (*wetting–drying*) semua benda uji dalam cetakan PVC, mula-mula dibasahi secara bertahap dengan air sampai tercapai kondisi tergenang (*inundation*) dan diukur kadar airnya (w_f). Nilai w_f ini digunakan untuk menentukan selisih kadar air antara kondisi awal (w_{opt}) dengan kondisi inundasi, yaitu $w = w_f - w_{opt}$. Berdasarkan selisih kadar air ini ditentukan penambahan air sebesar 25 % w, 50 % w, 75 % w, dan 100% w. Kemudian dari kondisi inundasi benda uji dikeringkan secara bertahap 25 % w, 50 % w, 75 % w, dan 100 % w, sehingga benda uji kembali kepada kadar air semula yaitu w_{opt}
- b. Tahap pengeringan – pembasahan.
Pada tahap pengeringan– pembasahan (*drying–wetting*), benda uji dalam cetakan pipa PVC dalam kondisi awal dengan kadar air w_{opt} , dikeringkan secara bertahap 25% w_{opt} , 50% w_{opt} , 75% w_{opt} hingga 100% w_{opt} (mendekati kering sempurna). Selanjutnya dilaksanakan proses pembasahan dengan menambah air dari benda uji yang mendekati kering sempurna secara bertahap yaitu sebesar 25% w_{opt} , 50% w_{opt} , 75% w_{opt} dan 100% w_{opt} (mendekati kondisi awal)

3.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan untuk masing-masing benda uji dilakukan dengan alat *Unconfined Compression Test* setelah benda uji mengalami pengujian pembasahan–pengeringan.

3.5 Pengujian CBR (California Bearing Ratio)

Pengujian CBR dilakukan terhadap benda uji dalam mold CBR, baik yang direndam maupun benda uji yang tidak direndam. Benda uji dalam mold CBR yang akan diukur nilai *soaked* CBRnya sebelum dilakukan pengujian tekan, direndam dalam air dengan masa perendaman selama sebelum kondisi jenuh (1 hari), pada kondisi jenuh (4 hari) dan sesudah kondisi jenuh (7 hari dan 14 hari). Pengujian *unsoaked* CBR dilakukan terhadap benda uji dalam mold CBR yang tidak direndam.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung Campuran

Hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah lempung (A), tanah lempung yang dicampur dengan kapur 8 % (B) dan tanah lempung yang dicampur dengan kapur 8 % dan Eco Cure²¹ 1% (C) disajikan dalam Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Hasil Uji Sifat Fisik Tanah

Jenis Pengujian	Jenis Tanah			Satuan
	A	B	C	
a. Analisa Pembagian butir				
- Fraksi kerikil (<i>gravel</i>)	0	0	0	%
- Fraksi pasir (<i>sand</i>)	8,26	28,59	28,59	%
- Fraksi Lanau-Lempung (<i>silt-clay</i>)	91,74	71,41	71,41	%
b. Volumetri dan Gravimetri				
- Spesifik Gravity, G _s	2,66	2,71	2,71	
- Berat Volume Tanah, γ_t	1,57	1,62	1,88	gr/cm ³
- Berat Volume Kering, γ_d	1,358	1,368	1,45	gr/cm ³
- Angka Pori, e	1,26	0,98	0,87	-
- Derajat Kejenuhan, S _r	39,42	52,18	92,82	%
c. Konsistensi				
- <i>Liquid Limit</i> (LL)	95,61	49,54	65,60	%
- <i>Plastic Limit</i> (PL)	37,56	39,69	36,86	%
- <i>Plasticity Index</i> (PI)	58,05	9,85	28,50	%
- Activity (A)	0,63	0,14	0,40	
d. Klasifikasi tanah				
- USCS (<i>Unified Soil Classification System</i>)	CH	CL	CL	
- AASHTO (<i>American Association of State Highway and Transportation Officials Classification</i>)	A-7-5	A-5	A-5	
e. Daya dukung				
- Kuat Tekan (<i>Unconfined Compression Test</i>)	2,497	3,680	5,611	kg/cm ²
- CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)	1,21	11,07	12,33	%

Catatan: A = Tanah lempung
 B = Tanah lempung + kapur 8 %
 C = Tanah lempung + kapur 8 % + Eco Cure²¹ 1 %

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa tanah lempung yang bersifat ekspansif setelah distabilisasi dengan kapur 8% dan penambahan Eco Cure²¹ 1% mengalami perubahan klasifikasi dan perubahan susunan butiran serta daya dukung tanah yang semakin meningkat dari 1,21 % ke 11,07 % dan 12,33 % pada penambahan kapur 8% dan Eco Cure²¹ 1%.

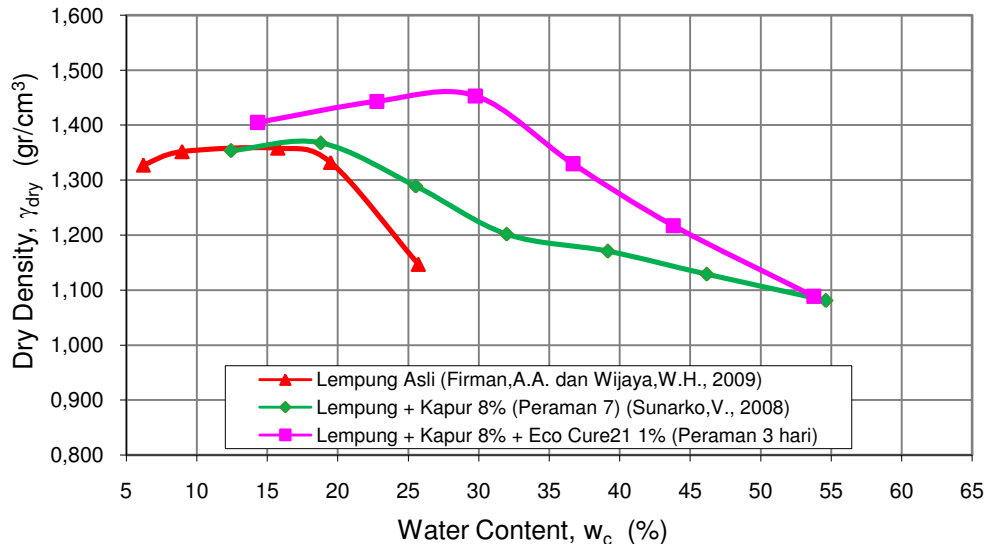
4.2 Hasil Pengujian Pemadatan Standar Terhadap Tanah Lempung Campuran

Hasil pengujian pemadatan terhadap tanah lempung yang dicampur dengan kapur 8% dan Eco Cure²¹ 1% yang dipadatkan dengan pemadatan standar, disajikan dalam bentuk kurva (*Compaction Curve*) seperti pada Gambar 6. Gambar ini menunjukkan hubungan antara kadar air (w_c) dengan kepadatan kering (γ_{dry}) pada proses pemadatan standart proctor. Proses pemadatan tersebut diperlukan untuk mendapatkan tingkat pemadatan kering maksimum (γ_{dry}) dengan kadar air optimum (w_{opt}).

Sebagai dasar dalam perencanaan bahan stabilisasi tanah diambil dari kepadatan maksimum (γ_{dry}) yang terbesar, yaitu : 1,45 kg/m³ dengan kadar air optimum (w_{opt}) : 29,76% pada tanah lempung dengan

campuran kapur 8% dan Eco Cure²¹ 1 % dalam masa pemeraman campuran kapur 3 hari kemudian baru ditambahkan Eco Cure²¹ dan dilakukan pemadatan standar setelah selang antara waktu 2-3 jam.

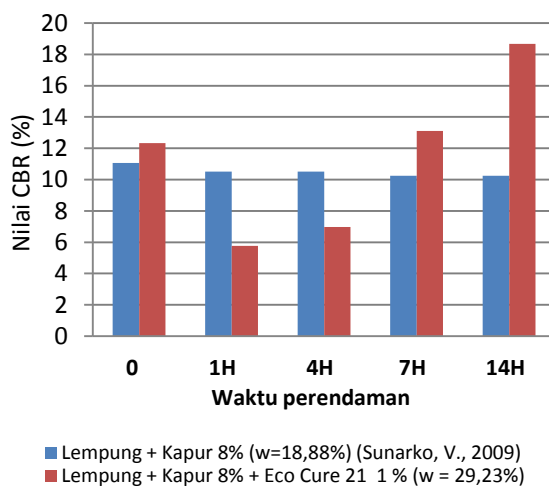
Hasil pengujian standart proctor pada tanah lempung yang bersifat ekspansif se-belum dan sesudah penambahan kapur dan Eco Cure²¹ dapat dilihat pada Gambar 6. Pada Gambar 6 terlihat adanya peningkatan nilai kepadatan kering maksimum (γ_{dry}) dari 1,358 kg/m³ ke 1,368 kg/m³ dan ke 1,450 kg/m³ pada kadar air optimum (w_{opt}) 15,745 % ke 18,786 % dan ke 29,760 %.



Gambar 6. Grafik perbandingan *standard proctor* tanah lempung, lempung + kapur 8%, lempung + kapur 8% + Eco Cure²¹ 1%

4.3 Perubahan Nilai CBR Akibat Penambahan Kapur dan Eco Cure²¹

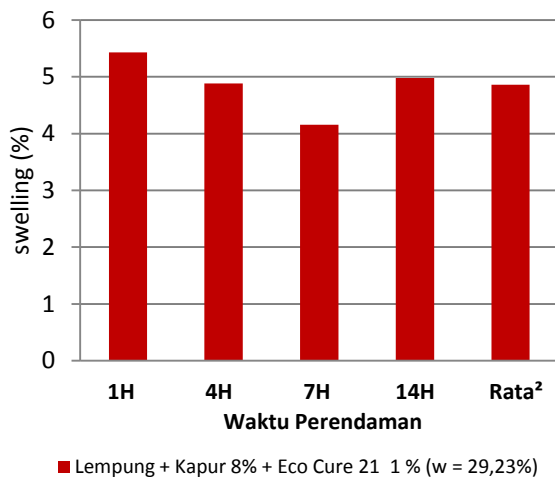
Gambar 7 memperlihatkan kurva hubungan antara nilai CBR dengan adanya perubahan masa perendaman benda uji selama 0 (*unsoaked*), 1, 4, 7 dan 14 hari. Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa dengan pemberian Eco Cure²¹ 1% mengakibatkan nilai CBR semakin meningkat pada kadar air ($w = 29,23\%$) dan nilai CBR semakin menurun dengan hanya pemberian kapur 8% saja pada kadar air ($w = 18,88\%$) tanpa adanya penambahan Eco Cure²¹.



Gambar 7. Kurva perubahan nilai CBR terhadap perubahan perendaman

4.4 Perubahan Nilai Swelling Akibat Penambahan Kapur dan Eco Cure²¹

Gambar 8 memperlihatkan kurva hubungan antara nilai *swelling* dengan adanya perubahan masa perendaman benda uji selama 0 (*unsoaked*), 1,4,7 dan 14 hari. Pemberian kapur 8% ditambah pemberian Eco Cure²¹ 1% mengakibatkan nilai *swelling* memberikan hasil rata-rata 4,86 % (masih belum memenuhi persyaratan yang maksimal 3%).



Gambar 8. Kurva perubahan nilai swelling terhadap perubahan perendaman

4.5 Hasil Pengujian Benda Uji Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan

Pengujian pada tanah lempung ekspansif yang dicampur dengan kapur 8 % dan Eco Cure²¹ 1% yang diperam selama 3 hari. Campuran tersebut dimasukkan kedalam tabung PVC dengan diameter tabung 3,65 cm dan tinggi 8 cm. Tanah tersebut dipadatkan dengan mesin *versa tester* ($w_{initial} = w_{opt}$). Benda uji mengalami pembasahan dan pengeringan dengan jumlah siklus 1x, 2x, 4x dan 6x, dimana proses pembasahan dilakukan dengan variasi kadar air pembasahan hingga benda uji mendekati kondisi jenuh sempurna (S_r mendekati 100%) setelah itu dilakukan proses pengeringan dengan variasi waktu pengeringan hingga benda uji mendekati kondisi semula ($w_{initial}$).

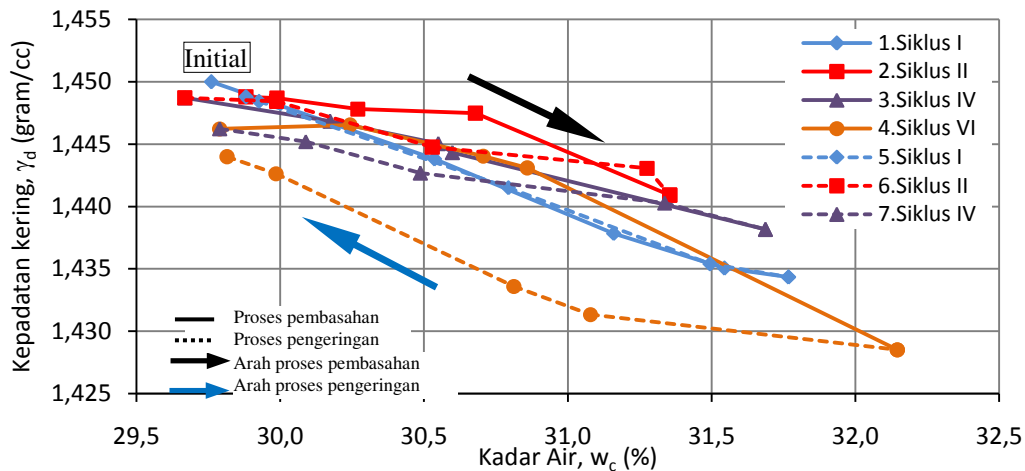
4.5.1 Kondisi awal dan Akhir benda uji

Kondisi awal (*initial*) dari seluruh benda uji yang dipadatkan dengan *versa tester* adalah pada kondisi initial optimum (w_{opt}) dari hasil kurva pemadatan tanah lempung + kapur 8% + Eco Cure²¹ pada pe-meraman 3 hari. Hasil uji volumetri-gravi-metri terhadap benda uji didapat kepadatan kering (γ_{dry}) : 1,450 kg/m³ dan kadar air initial (w_{opt}): 26,291 % (disain $w = 29,76$ %), *Specific Gravity* (G_s) : 2,71, angka pori (e) : 0,869 dan derajat kejenuhan (S_r) : 81,992 %.

4.5.2 Perubahan Kadar Air (w_c) Akibat Siklus Pembasahan–Pengeringan

a. Kepadatan Kering (γ_d)

Gambar 9 memperlihatkan hubungan antara perubahan kepadatan kering (γ_d) terhadap kadar air (w_c), hasil proses pembasahan–pengeringan, kepadatan kering (γ_d) akan mengalami penurunan selama proses pembasahan seiring peningkatan kadar air (w_c) dan kepadatan kering (γ_d) mengalami peningkatan selama proses pengeringan seiring penurunan kadar airnya (w_c). Diakhir proses pembasahan–pengeringan (sampai siklus 6) adanya penurunan kepadatan (γ_d) dari kondisi initial = 1,450 gram/cc menjadi 1,444 gram/cc.

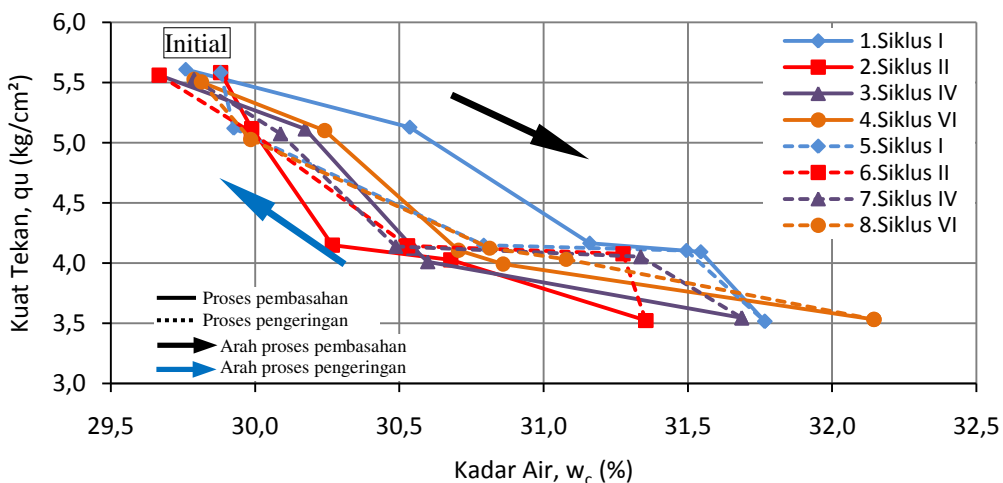


Gambar 9. Kurva perubahan kepadatan kering (γ_d) disebabkan adanya perubahan kadar air (w_c) pada Lempung + Kapur 8% + Eco Cure²¹ 1%

b. Kuat Tekan (q_u)

Pada Gambar 10 menunjukkan pada proses pembasahan, kuat tekan (q_u) akan menurun seiring dengan kenaikan kadar air (w_c) dan sebaliknya pada proses pengering-an, kuat tekan (q_u) akan naik seiring dengan penurunan nilai kadar airnya (w_c).

Terlihat juga bahwa semakin banyak jumlah pengulangan siklus yang diterapkan maka kuat tekan (q_u) akan mengalami penurunan. Pada kondisi awal proses (*initial*) pembasahan–pengeringan nilai kuat tekan (q_u) : 5,611 kg/cm² dan di akhir siklus pembasahan–pengeringan (siklus ke-6) nilai kuat tekan (q_u) menjadi 5,506 kg/cm².



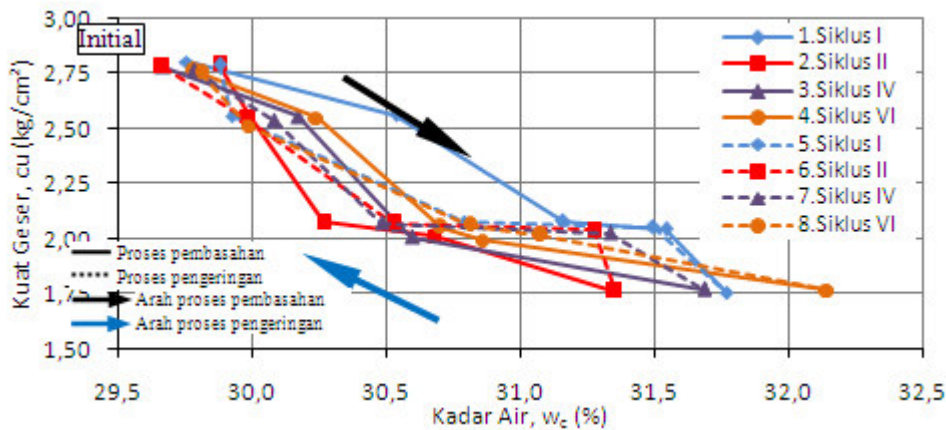
Gambar 10. Kurva perubahan nilai kuat tekan (q_u) disebabkan adanya perubahan kadar air (w_c) pada Lempung + Kapur 8% + Eco Cure²¹ 1%

c. Kuat Geser (c_u)

Pada Gambar 11 menunjukkan pada proses pembasahan, kuat geser (c_u) akan menurun seiring dengan kenaikan kadar air (w_c) dan sebaliknya pada proses pengeringan, kuat geser (c_u) akan naik seiring dengan penurunan nilai kadar airnya (w_c).

Terlihat juga bahwa semakin banyak jumlah pengulangan siklus yang diterapkan maka kuat geser (c_u) akan mengalami penurunan. Pada kondisi awal proses (*initial*) pembasahan–pengeringan nilai kuat geser (c_u) : 2,806 kg/cm² dan diakhir siklus pembasahan–pengeringan (siklus ke-6) nilai kuat geser (c_u)

menjadi 2,753 kg/cm², karena nilai kuat geser (cu) pada uji kuat tekan bebas (*unconfined test*) sebanding dengan 1/2 (setengah) dari nilai kuat tekan (qu) benda uji.



Gambar 11. Kurva perubahan nilai kuat geser (cu) disebabkan adanya perubahan kadar air (wc) pada Lempung + Kapur 8% + Eco Cure²¹ 1%

5. KESIMPULAN

Kesimpulan bahwa pengaruh penambahan kapur 8 % dan Eco Cure²¹ 1 % pada tanah lempung dari ruas jalan Padangan-Bojonegoro km 133 + 550 sebagai berikut:

- a. Perubahan fisik tanah :
 Penambahan kapur 8% + Eco Cure²¹ 1 % menyebabkan perubahan kepadatan tanah akibat pemakaian berat volume kering (γ_d) yang meningkat dari 1,358 gr/cm³ menjadi 1,450gr/cm³ sehingga nilai kepadatan tanah juga meningkat menjadi lebih baik.
- b. Daya dukung tanah :
 Adanya peningkatan kepadatan tanah akibat penambahan kapur 8% + Eco Cure²¹ 1% maka daya dukung terdapat peningkatan, antara lain :
 - Kuat tekan bebas (qu) meningkat dari 2,497 kg/cm² 5,611 kg/cm²
 - Kuat geser (cu) meningkat dari 1,249 kg/cm² menjadi 2,806 kg/cm².
 - Nilai CBR meningkat dari 1,21 % menjadi 12,33 %.
 Nilai tersebut masih jauh dari penelitian produsen pembuat Eco Cure²¹ apabila perbandingan 1 m³ tanah ÷ 100 kg semen ÷ 1 kg Eco Cure²¹ + 10 liter air dapat menghasilkan kekuatan menahan beban sebesar 24 kg/cm².
- c. Rata-rata prosentase *swelling* pada pengaruh penambahan kapur 8% + Eco Cure²¹ 1% sebesar 4,86%. Nilai cukup besar karena biasanya untuk perencanaan prosentase *swelling* maksimum 3%.

Sedangkan akibat proses pembasahan-pengeringan (6 siklus) dari tanah lempung asli dan tanah lempung + kapur 8% + Eco Cure²¹ 1% menyebabkan perubahan fisik tanah dan mekanik, seperti hal berikut ini :

- a. Perubahan fisik tanah :
 Perubahan kepadatan tanah akibat pemakaian berat volume kering (γ_d) yang meningkat dari meningkat dari 1,376 gr/cm³ di awal siklus menjadi menjadi 1,444 gr/cm³ di akhir siklus sehingga nilai kepadatan tanah juga meningkat menjadi lebih baik.
- b. Daya dukung tanah :
 Adanya peningkatan kepadatan tanah akibat penambahan kapur 8% + Eco Cure²¹ 1 % maka daya dukung terdapat peningkatan, antara lain :
 - Kuat tekan bebas (qu) meningkat dari 2,497 kg/cm² di awal siklus 5,611 kg/cm² dan menjadi 5,506 kg/cm² di akhir siklus
 - Kuat geser (cu) meningkat dari 1,249 kg/cm² di awal siklus menjadi menjadi 2,753 kg/cm² di akhir siklus.

6. SARAN

- a. Untuk menghindari pengurangan kadar air (w_c) selama proses pembuatan benda uji terutama adanya penambahan kapur dan Eco Cure²¹ sebaiknya tidak terlalu lama berhubungan dengan udara luar
- b. Adanya pembungkus dari kaca (bukan plastis) untuk menyimpan atau sewaktu memeram benda uji yang sudah dicampur kapur dan Eco Cure²¹ guna menghindari reaksi kimia antara hasil campuran dengan bahan pembungkusnya

7. DAFTAR PUSTAKA

- Das, B.M., 1995. *Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, Alih bahasa oleh Mochtar, I.B., dan Endah, Noor.
- Mochtar, I.B., Prof. Ir. MSc, Ph.D, 2000. *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*, Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nippon Eco-Technology, Co. Ltd, 2008. *The Improved*, www.nippon-eco.net
- Sunarko, V. ST,MT, 2008. *Pengaruh Pembasahan dan Pengeringan Pada Tanah Dasar Jalan Ekspansif yang Distabilisasi Terhadap Daya Dukung dan Kuat Tekan*, Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Yoder, E. J., dan M.W. Witzak 1975, *Principles of Pavement Design*, second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York