

Pengaruh Variasi Waktu Pemeraman Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung dan Lanau yang Distabilisasi Menggunakan Semen pada Kondisi Tanpa Rendaman (*Unsoaked*)

Bravo Pandiangan¹⁾

Iswan²⁾

Muhammad Jafri³⁾

Abstract

Stabilization is to improve the physical and mechanical properties of the soil so that it meets certain technical requirements. One way is with a cement stabilization. In this study, the cement used is a cement-type portland cement. This study aimed to compare the value of CBR clay and silt before and after stabilized by the addition of cement.

Soil used is a type of clay taken from the village of Rawa Sragi, District Jabung, East Lampung district and silt types from Yosomulyo Village, East Metro District, Metro City. In the modified proctor compaction test results, the addition of cement on clay and silt proven to increase the value of the maximum volume weight (γ_d) continuously. While the value of the optimum water content (ω_{opt}) a decline that is not too significant on at every level of the cement. For a density value of clay and silt mixed cement has increased compared with the original soil density. In testing the CBR without soaking in a mixture of cement with modified proctor compaction CBR values obtained optimum cement content of 9% and ripening 28 days amounted to 107.6% in clay, silt soil while the CBR value without immersion saw the largest increase in cement content 9% and ripening 28 days 58%. The addition of portland cement is proven to increase the value of CBR significantly compared with the both real soil

Keywords: *Cement, Clay, Silt, CBR, Soil Bearing Capacity*

Abstrak

Stabilisasi adalah memperbaiki sifat fisik dan mekanik tanah sehingga memenuhi persyaratan teknis tertentu. Salah satu cara stabilisasi adalah dengan semen. Dalam penelitian ini, semen yang digunakan yaitu semen tipe *portland cement*. Penelitian ini bertujuan membandingkan nilai CBR tanah lempung dan lanau sebelum dan sesudah distabilisasi dengan penambahan semen. Tanah yang digunakan adalah jenis tanah lempung yang diambil dari Desa Rawa Sragi, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur dan jenis tanah lanau dari Desa Yosomulyo, Kecamatan Metro Timur, Kota Metro. Pada hasil pengujian pemadatan *modified proctor*, penambahan semen pada tanah lempung dan lanau terbukti meningkatkan nilai berat volume maksimum (γ_d) secara berlanjut. Sedangkan nilai kadar air optimum (ω_{opt}) terjadi penurunan yang tidak terlalu signifikan pada pada setiap kadar semennya. Untuk nilai berat jenis tanah lempung dan lanau yang dicampur semen mengalami kenaikan dibanding dengan berat jenis tanah aslinya. Pada pengujian CBR tanpa rendaman pada campuran semen dengan pemadatan *modified proctor* didapatkan nilai CBR optimum pada kadar semen 9% dan pemeraman 28 hari sebesar 107,6% pada tanah lempung, sedangkan pada tanah lanau nilai CBR tanpa rendaman terjadi peningkatan tertinggi pada kadar semen 9% dan pemeraman 28 hari yaitu sebesar 58%. Penambahan *portland cement* terbukti dapat meningkatkan nilai CBR secara signifikan dibandingkan dengan kedua tanah asli tersebut.

Kata kunci : Semen, Lempung, Lanau, CBR, Daya Dukung Tanah

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Soemantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung Surel: bravoopandiangan@yahoo.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Soemantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung

³⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Soemantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung

1. PENDAHULUAN

Tanah sangat penting peranannya dalam sebuah konstruksi, yaitu konstruksi bangunan, jalan, jembatan, bendungan dan konstruksi-konstruksi lainnya, sehingga diperlukan tanah dengan sifat-sifat teknis yang memadai. Stabilitas konstruksi perkerasan secara langsung akan dipengaruhi oleh kemampuan tanah dasar dalam menerima dan meneruskan beban yang bekerja. Namun, tidak semua lapisan tanah dasar mampu menahan beban di atasnya. Hanya tanah yang memiliki klasifikasi baik yang mampu berfungsi sebagai daya dukung. Oleh karena itu dibutuhkan stabilisasi tanah yang merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat-sifat fisis tanah.

Stabilisasi tanah dapat dilakukan secara mekanis dan kimia. Usaha untuk memperbaiki sifat-sifat tanah telah banyak dilakukan, antara lain dengan pemadatan atau mencampur bahan kimia yang dapat menambah kekuatan tanah. Para peneliti terdahulu menyatakan bahwa penambahan bahan kimia tertentu bukan saja dapat mengurangi sifat pengembangan dan sifat plastisitas, tetapi juga dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi besarnya penurunan pada tanah. Tanah lempung merupakan salah satu tanah yang mempunyai sifat yang kurang baik. Jenis tanah ini mempunyai daya dukung yang rendah, sifat kembang susut yang besar dan sifat yang sangat kohesif serta deformasi yang terjadi sangat besar. Tanah lanau mempunyai sifat yang kurang baik yaitu mempunyai kuat geser rendah setelah dikenai beban, kapilaritas tinggi, permeabilitas rendah dan kerapatan relatif rendah dan sulit dipadatkan.

Dengan adanya permasalahan tersebut maka alternatif usaha perbaikan yang dilakukan adalah stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan aditif yaitu semen (*Portland Cement*). Semen merupakan *stabilizing agents* yang baik sekali, karena kemampuannya mengeras dan mengikat butir-butir agregat sangat bermanfaat sebagai usaha untuk mendapatkan massa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi. Semen juga dapat membantu meningkatkan kekuatan tanah. Kekuatan tanah akan meningkat dengan bertambahnya waktu pemeraman (*curing*). Karena dengan diperam maka tanah akan bereaksi dengan semen sehingga pengikatan dan pengerasan yang dihasilkan akan lebih baik pada masa pemeraman. Menurut Mittchell dan Frietag (1959), tanah berbutir dan tanah lempung dengan plastisitas rendah lebih cepat distabilisasi dengan semen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan (Dokuchaev, 1870). Tanah membagi bahan-bahan yang menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori : tanah (*soil*) dan batuan (*rock*), sedangkan batuan merupakan agregat mineral yang satu sama lainnya diikat oleh gaya-gaya kohesif yang permanen dan kuat (Therzaghi, 1991). (Wesley, 1973) menekankan bahwa dari sudut pandang teknis, tanah-tanah itu dapat digolongkan kedalam macam pokok berikut ini :

1. Batu kerikil (*Gravel*)
2. Pasir (*Sand*)
3. Lanau (*Silt*)
4. Lempung Organik (*Clay*)

Tanah juga merupakan kumpulan-kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Sedangkan tanah dalam pandangan Teknik Sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2006).

2.1.2 Klasifikasi Tanah

Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989). Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah yaitu sistem klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi USCS.

2.1.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administraction Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M105).

2.2 Tanah Lempung

Tanah lempung dan mineral lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Selain itu, permeabilitas lempung sangat rendah (*Terzaghi and Peck, 1967*). Sifat khas yang dimiliki oleh tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Sedangkan untuk jenis tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya daya dukung yang rendah, kemampuan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai gaya geser yang kecil. Kondisi tanah seperti itu akan menimbulkan masalah jika dibangun konstruksi diatasnya.

2.3 Tanah Lanau

Tanah lanau biasanya terbentuk dari pecahnya kristal kuarsa berukuran pasir. Beberapa pustaka berbahasa indonesia menyebut objek ini sebagai debu. Lanau dapat membentuk

endapan yang mengapung di permukaan air maupun yang tenggelam. Pemecahan secara alami melibatkan pelapukan batuan dan regolit secara kimiawi maupun pelapukan secara fisik melalui embun beku (*frost*) haloclasty. Proses utama melibatkan abrasi, baik padat (oleh gleser), cair (pengendapan sungai), maupun oleh angin. Di wilayah-wilayah setengah kering produksi lanau biasanya cukup tinggi. Lanau yang terbentuk secara glasial (oleh gleser) dalam bahas inggris kadang-kadang disebut *rock flour* atau *stone dust*. Secara komposisi mineral, lanau tersusun dari kuarsa felspar. Sifat fisika tanah lanau umumnya terletak diantara sifat tanah lempung dan pasir.

2.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser (Hardiyatmo, 2002). Adapun tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada. Sifat-sifat tanah yang dapat diperbaiki dengan cara stabilisasi dapat meliputi : kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan. Menurut *Bowles* (1991) beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk.

Pada umumnya cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut (*Bowles*, 1991) :

1. Mekanis
2. Bahan Pencampur (*Additiver*)

2.5 Stabilisasi Tanah Menggunakan Semen

Stabilisasi tanah dengan semen adalah campuran tanah dengan semen dan air dengan komposisi tertentu sehingga tanah tersebut mempunyai sifat lebih baik dari tanah semula. Tujuan tata cara ini adalah untuk mendapatkan komposisi dan mutu stabilisasi tanah dengan semen sesuai dengan ketentuan yang berlaku serta mencegah kegagalan dalam pelaksanaan di lapangan dalam pekerjaan konstruksi.



Gambar 1. Semen Portland.

Penambahan semen terhadap tanah lanau dan lempung menyebabkan peningkatan tanah. Sifat bahan semen secara umum yang berbentuk butir halus ialah sangat kuat mengikat air karena kondisi mineralnya yang aktif. Sehingga menyebabkan proses pengerasan lebih cepat. Semen merupakan salah satu bahan stabilisasi yang mudah diperoleh dan efektif. Semen memiliki kemampuan mengeras dan mengikat partikel yang sangat bermanfaat untuk mendapatkan suatu masa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi.

2.6 Semen Portland (*Portland Cement*)

Semen Portland adalah bahan ikat hidrolis (menghisap atau membutuhkan air), yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan tambah. Unsur yang penting dan memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekuatan pasta semen adalah C2S dan C3S. Setelah tercampur dengan air senyawa tersebut akan mengalami oksidasi dan membentuk sebuah massa yang padat. Senyawa tersebut bereaksi secara eksotermik dan berpengaruh pada panas hidrasi tinggi. Jenis-jenis semen portland yang diproduksi oleh industri sebagai berikut :

1. Semen Portland Tipe I
2. Semen Portland Tipe II
3. Semen Portland Tipe III
4. Semen Portland Tipe IV
5. Semen Portland Tipe V
6. Super Masonry Cement
7. Oil Well Cement, Class G-HSR (*High Sulfate Resistance*)
8. *Portland Composite Cement* (PCC)
9. Super “*Portland Pozzolan Cement*” (PPC)

2.7 Batas-Batas *Atterberg*

Batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah dikenal pula sebagai batas-batas konsistensi atau batas-batas *Atterberg* (yang mana diambil dari nama peneliti pertamanya yaitu Atterberg pada tahun 1911). Pada kebanyakan tanah di alam, berada dalam kondisi plastis. Kadar air yang terkandung dalam tanah berbeda-beda pada setiap kondisi tersebut yang mana bergantung pada interaksi antara partikel mineral lempung. Bila kandungan air berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang pula yang mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antara partikel-partikel.

Sedangkan jika kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dibedakan ke dalam empat (4) keadaan dasar, yaitu : padat (*solid*), semi padat (*semi solid*), plastis (*plastic*), dan cair (*liquid*) Adapun yang termasuk ke dalam batas-batas *Atterberg* antara lain :

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)
2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)
3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)
4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

2.8 Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel (Bowles, 1991). Manfaat dari pemadatan tanah adalah memperbaiki beberapa sifat teknik tanah, antara lain :

1. Memperbaiki kuat geser tanah yaitu menaikkan nilai θ dan C ,
2. Mengurangi kompresibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban,
3. Mengurangi permeabilitas yaitu mengurangi nilai k ,
4. Mengurangi sifat kembang susut tanah (lempung).

Prosedur pengujian yang digunakan pada pengujian pemadatan di laboratorium disebut uji *proctor*. uji pemadatan *proctor* adalah metode laboratorium untuk menentukan kadar air optimal di mana jenis tanah yang di uji akan menjadi yang paling padat dan mencapai kepadatan kering maksimum. Adapun jenis pengujian pemadatan tersebut ialah :

1. Proctor Modifikasi

Percobaan dilakukan beberapa kali dengan kadar air yang berbeda-beda. Setelah dipadatkan benda uji ditimbang dan diukur kadar air dan berat volumenya. Hubungan grafis dari kadar air dan berat volumenya kemudian diplot untuk membentuk kurva pemadatan. Kepadatan kering maksimum akhirnya diperoleh dari titik puncak kurva pemadatan dengan kadar air yang sesuai atau dikenal juga sebagai kadar air yang optimal. Rincian mengenai persamaan ataupun perbedaan dari kedua *proctor* tersebut, diperlihatkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 1. Elemen-elemen uji pemadatan di laboratorium.

Proctor Modifikasi (ASTM D-1557)	
Berat palu	44,5 N (10 lb/4,5 kg)
Tinggi jatuh palu	457 mm (18 in)
Jumlah lapisan	5
Jumlah tumbukan/lapisan	25
Volume cetakan	1/30 ft ³
Tanah	saringan (-) No. 4
Energi pemadatan	2698 kJ/m ³

2.9 California Bearing Ratio (Uji CBR)

Metode perencanaan perkerasan jalan yang umum dipakai adalah cara-cara empiris dan yang biasa dikenal adalah cara CBR (*California Bearing Ratio*). Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). Istilah CBR menunjukkan suatu perbandingan (*ratio*) antara beban yang diperlukan untuk menekan piston logam (luas penampang 3 sqinch) ke dalam tanah untuk mencapai penurunan (penetrasi) tertentu dengan beban yang diperlukan pada penekanan piston terhadap material batu pecah di California pada penetrasi yang sama (Canonica, 1991). Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban. Sedangkan, nilai CBR yang didapat akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang mempunyai nilai CBR tertentu. Untuk menentukan tebal lapis perkerasan dari nilai CBR digunakan grafik-grafik yang dikembangkan untuk berbagai muatan roda kendaraan dengan intensitas lalu lintas. Pengujian CBR ada beberapa macam yaitu :

1. CBR Lapangan
2. CBR Lapangan Rendaman
3. CBR Laboratorium



Gambar 2. Uji CBR Laboratorium

2.9.1 Pengujian Kekuatan Dengan CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, *Proving Ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*). Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah pada penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” untuk pengujian laboratorium. Rumus perhitungan dalam penentuan nilai CBR adalah sebagai berikut :

$$\text{Nilai CBR pada penetsai 0,1”} = \frac{A}{3000} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Nilai CBR pada penetsai 0,2”} = \frac{B}{4500} \times 100 \quad (2)$$

Dimana

A = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1"

B = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2"

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR. Berikut ini adalah tabel beban yang digunakan untuk melakukan penetrasi bahan standar :

Tabel 2. Beban penetrasi bahan standar.

Penetrasi (inch)	Beban Standar (lbs)	Beban Standar (lbs/inch)
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	230
0,5	7800	60

2.10 Tinjauan Penelitian Terdahulu

2.10.1 Stabilisasi Tanah Dasar dengan Penambahan Semen dan Renolith

Penelitian yang dilakukan oleh (Basuki dkk, 2007) mengenai studi stabilisasi tanah dasar dengan semen dan renolith. Persentase semen yang digunakan adalah 3%, 5%, 7%, 9%, dan 11% terhadap berat kering tanah dan 5% renolith terhadap berat semen. Dari hasil pengujian yang didapat tanah ini merupakan lempung anorganik dengan plastisitas sedang sampai tinggi. Sifat-sifat fisik dan teknis tanah meningkat pada penambahan semen 9 % dan 11%.

2.10.2 Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah

Penelitian yang dilakukan oleh (Andriani, 2012). Penelitian ini untuk membandingkan nilai CBR tanah lempung sebelum dan setelah distabilisasi dengan penambahan *Portland Cement Type I*. Tanah yang akan distabilisasi adalah tanah lempung yang berasal dari daerah Lambung Bukik, Padang, dengan nilai CBR < 10%. Penelitian meliputi sifat fisik dan mekanik tanah yaitu parameter pemadatan dan uji CBR. Pengujian ini berpedoman pada ASTM untuk setiap pengujian. Variasi penambahan semen adalah 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat tanah kering. Pemeraman dilakukan sebelum dilakukan uji CBR, dengan waktu pemeraman selama 3 hari pada kondisi kadar air optimum.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Sampel Tanah

Sampel tanah yang akan diuji adalah jenis tanah lempung di daerah Rawa Sragi, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur dan jenis tanah lanau di daerah Desa Yosomulyo, Kecamatan Metro Timur, Kota Metro. Sampel tanah yang akan diambil adalah sampel tanah terganggu (*disturbed soil*), yaitu tanah yang telah terganggu oleh lingkungan luar. Sampel tanah yang diambil merupakan sampel tanah yang mewakili tanah di lokasi pengambilan sampel.

3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat untuk uji analisis saringan, uji berat jenis, uji kadar air, uji batas-batas *atterberg*, uji *proctor modified* dan *proctor standart*, uji CBR dan peralatan lainnya yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung yang telah sesuai dengan standarisasi *American Society for Testing Material (ASTM)*.

3.3 Benda Uji

ampel tanah yang di uji pada penelitian ini yaitu tanah dengan klasifikasi lempung yang berasal dari daerah Rawa Sragi, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur dan tanah lanau didaerah Desa Yosomulyo, Kecamatan Metro Timur, Kota Metro – Provinsi Lampung. Air, bisa menggunakan air dari Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung. *Stabilizing agent* yaitu *Portland Cement*, semen yang dipakai yaitu semen Batu Raja dalam kemasan 50 kg/sak.

3.4 Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung. Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian pengujian yaitu pengujian untuk tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan semen, adapun pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pengujian Sampel Tanah Asli :
 - a. Pengujian Analisis Saringan
 - b. Pengujian Berat Jenis
 - c. Pengujian Kadar Air
 - d. Pengujian Batas *Atterberg*
 - e. Pengujian Hidrometer
 - f. Pengujian Pemadatan Tanah (*modified proctor*)
 - g. Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*)
2. Pengujian pada tanah yang telah dicampur dengan Semen
 - a. Pengujian Pemadatan Tanah (*modified proctor*)
 - b. Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*)

Pada pengujian tanah campuran, setiap sampel tanah dibuat campuran dengan semen dengan kadar 3%, 6%, dan 9% dari berat sampel dan juga dilakukan pemeraman dengan variasi waktu pemeraman yaitu 7 hari, 14 hari dan 28 hari sebelum dilakukan pengujian CBR dan pengujian yang lainnya.

3.5 Data Hasil Penelitian

Hasil dari pengujian sampel tanah asli yang didapat, ditampilkan dalam bentuk tabel dan digolongkan berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO. Dari hasil pengujian sampel tanah asli, didapatkan data pengujian seperti : uji analisis saringan, uji berat jenis, uji kadar air, uji batas *atterberg*, uji pemadatan tanah (*modified proctor*), uji CBR serta kadar air optimum untuk selanjutnya dilakukan pencampuran. Dari hasil pemadatan *modified proctor* pada tanah yang dicampur dengan semen didapatkan hasil pengujian dalam

bentuk tabel dan grafik. Dari hasil pengujian parameter CBR tanpa rendaman, nilai kekuatan daya dukung tanah asli maupun tanah yang dicampur dengan semen akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara nilai peningkatan/penurunan nilai CBR tanpa rendaman dengan pemadatan *modified proctor*. Dari tabel dan grafik nilai CBR tersebut maka akan didapatkan penjelasan mengenai perbandingan kualitas daya dukung tanah yang terjadi.pada masing-masing penetrasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Tanah Asli

Pengujian tanah asli dilakukan untuk mendeskripsikan suatu jenis tanah. Pengujian tanah asli juga diperlukan sebagai pertimbangan untuk merencanakan suatu jenis pekerjaan konstruksi. Dari hasil pengujian sampel tanah asli di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Pengujian Sampel Tanah Lempung Asli.

NO.	PENGUJIAN	HASIL UJI	SATUAN
1	Kadar Air	53,58	%
2	Berat Jenis	2,64	
3	Analisis Saringan		
	a. Lolos Saringan no. 10	98,74	%
	b. Lolos Saringan no. 40	93,80	%
	c. Lolos Saringan no. 200	85,87	%
4	Batas-batasAtterberg		
	a. Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	74,08	%
	b. Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)	33,27	%
	c. Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i>)	40,81	%
5	Pemadatan Tanah :		
	a. Modified Proctor		
	Kadar Air Optimum	29,5	%
	Berat Volume Kering Maksimum	1,325	gr/cm ³
6	CBR Tanpa Rendaman (<i>Unsoaked</i>)		
	a. CBR Tanpa Rendaman (<i>Modified Proctor</i>)	7,8	%

Tabel 4. Hasil Pengujian Sampel Tanah Lanau Asli.

NO.	PENGUJIAN	HASIL UJI	SATUAN
1	Kadar Air	31,23	%
2	Berat Jenis	2,61	
3	Analisis Saringan		
	a. Lolos Saringan no. 10	84,91	%
	b. Lolos Saringan no. 40	77,2	%
	c. Lolos Saringan no. 200	69,82	%
4	Batas-batas Atterberg		
	a. Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	44,06	%
	b. Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)	34,96	%
	c. Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i>)	9,1	%
5	Pemadatan Tanah :		
	a. Modified Proctor		
	Kadar Air Optimum	27,5	%
	Berat Volume Kering Maksimum	1,37	gr/cm ³
6	CBR Tanpa Rendaman (<i>Unsoaked</i>)		
	a. CBR Tanpa Rendaman (<i>Modified Proctor</i>)	6,8	%

4.2 Pembahasan Klasifikasi Sampel Tanah AASHTO (*American Association Highway and Transportation Official*)

4.2.1 Tanah Lempung

Berdasarkan hasil pengujian sampel tanah asli sebagai berikut :

1. Batas Cair (LL) adalah 74,08% ($> 41\%$)
2. Batas Plastis (PL) adalah 33,27%
3. Indeks Plastisitas (PI) adalah 40,81% ($> 11\%$)
4. Butiran lolos saringan no. 200 adalah 85,87% ($\geq 36\%$)

Selanjutnya dengan menggunakan Tabel AASHTO, maka tanah ini digolongkan dalam klasifikasi A-7 pada sub kelompok tanah A-7-5 (tanah berlempung), karena $PI \leq LL-30$ ($40,81\% \leq 44,081\%$) dan $\geq 36\%$ butiran tanah lolos saringan no. 200. Berdasarkan tabel AASHTO pula maka dapat disimpulkan tanah ini memiliki plastisitas tinggi karena $PI > 11\%$. Pada umumnya tanah lempung jika digunakan sebagai tanah dasar atau *subgrade* memiliki penilaian yang jelek (Das, 1994).

4.2.2 Tanah Lanau

Adapun berdasarkan data yang diperoleh dari uji sifat fisik tanah lanau yang berupa :

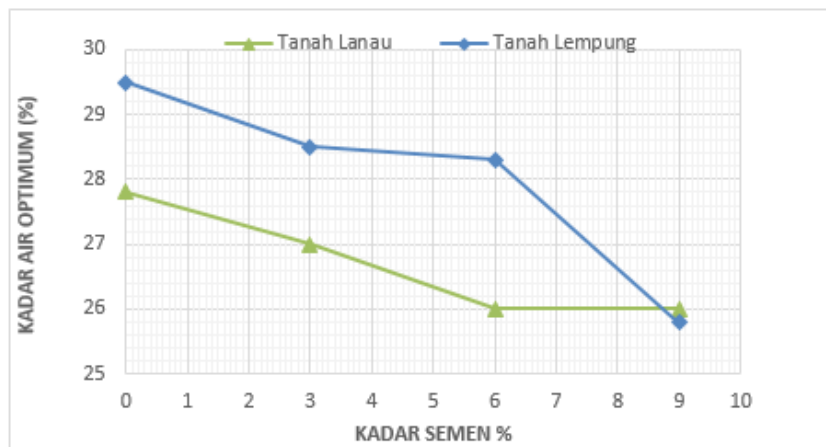
1. Batas Cair (LL) adalah 44,06% ($> 41\%$)
2. Batas Plastis (PL) adalah 34,96%
3. Indeks Plastisitas (PI) adalah 9,11% ($> 11\%$)
4. Butiran lolos saringan no. 200 adalah 69,82% ($\geq 36\%$)

Selanjutnya dengan menggunakan Tabel AASHTO, maka tanah ini digolongkan dalam klasifikasi A-5 (tanah berlanau), dan $\geq 36\%$ butiran tanah lolos saringan no. 200. Berdasarkan tabel AASHTO pula maka dapat disimpulkan tanah ini memiliki plastisitas rendah karena $PI \leq 10\%$. Pada umumnya tanah lanau jika digunakan sebagai tanah dasar atau *subgrade* memiliki penilaian yang jelek (Das, 1994).

4.3 Hasil Pengujian Sampel Tanah dengan Campuran Semen (*Portland Cement*)

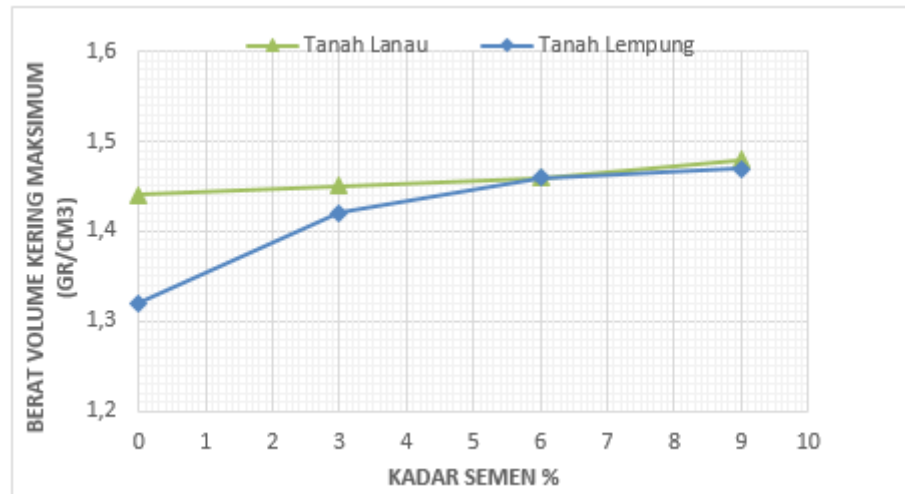
4.3.1 Pengujian Pemadatan Tanah Campuran Semen

Pengujian pemadatan tanah untuk sampel tanah campuran dilakukan dengan metode *modified proctor* serta dengan variasi kadar semen yang berbeda yaitu 3%, 6% dan 9%. Kemudian dilakukan pemeraman dengan durasi yang berbeda yaitu 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian pemadatan tanah adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Perbandingan Penurunan Kadar Air Optimum (ω_{opt}) Pada Masing-Masing Kadar Semen.

Dapat disimpulkan bahwa pengaruh penggunaan semen berpengaruh pada besaran nilai kadar air optimum (ω_{opt}), dan terhadap nilai berat volume kering maksimum (γ_d) pada tanah campuran semen seperti terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. Perbandingan Peningkatan Berat Volume Kering Maksimum (yd) Pada Masing-Masing Kadar Semen

Dapat dilihat pada kedua gambar perbandingan kadar air kedua tanah uji terjadi penurunan kadar air yang berbeda. Kemudian pada masing-masing campuran terlihat juga bahwa semakin bertambahnya kadar semen maka nilai berat volume kering maksimum (yd) tanah campuran semakin meningkat. Hal ini dikarenakan terjadinya proses flokulasi oleh semen sehingga terjadinya peningkatan jumlah partikel yang berdampak pada peningkatan berat volume tanah campuran.

4.3.2 Pengujian CBR Tanpa Rendaman (Unsoaked) Tanah Lempung Campuran Semen (*Portland Cement*)

Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) pada tanah campuran dilakukan dengan dua metode yaitu dengan menggunakan pemadatan *modified proctor*. Pengujian CBR dilakukan pada tanah campuran dengan kadar 3%, 6% dan 9%. Dari hasil pengujian CBR tanpa rendaman pada tanah campuran didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Pengujian CBR Tanpa Rendaman Tanah Lempung Campuran Semen.

Kadar Campuran Semen (%)	CBR Pemeraman		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
0	7,8	7,8	7,8
3	29,2	31,2	32,2
6	94,6	96,2	97,8
9	103,4	105,2	107,6

Dari tabel diatas terlihat bahwa nilai CBR tanpa rendaman mengalami kenaikan sesuai dengan peningkatan kadar semen yang digunakan. Hasil dari pengujian CBR tanah lempung dengan campuran *portland cement* dapat dilihat pada tabel 5. Sementara dapat dilihat bahwa seiring penambahan semen telah meningkatkan nilai daya dukung tanah

pada pemeraman 7 hari, 14 hari sampai 28 hari secara signifikan. Untuk semua nilai CBR di setiap kadarnya didapatkan nilai CBR tertinggi di pemeraman 28 hari. Nilai CBR yang didapat pada kadar semen 3%, 6% dan 9% berturut-turut yaitu 32,2%, 97,8% dan 107,6%.

4.3.3 Pengujian CBR Tanpa Rendaman (Unsoaked) Tanah Lanau Campuran Semen (Portland Cement)

Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) pada tanah lanau campuran dilakukan dengan menggunakan metode pemadatan *modified proctor*. Pengujian CBR dilakukan pada tanah campuran dengan kadar 3%, 6% dan 9%. Serta variasi pemeraman yaitu 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Dari hasil pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) pada tanah campuran didapat hasil sebagai berikut :

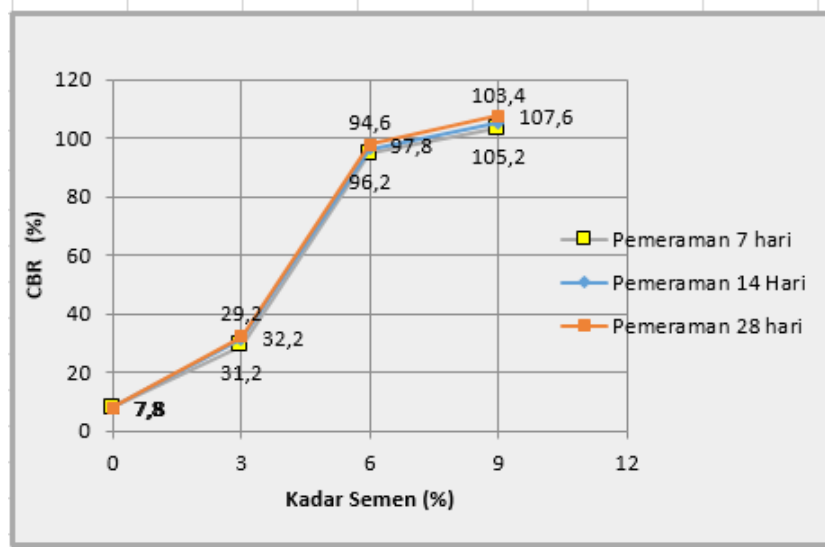
Tabel 6. Hasil Pengujian CBR Tanpa Rendaman Tanah Lempung Campuran Semen.

Kadar Campuran Semen (%)	CBR Pemeraman		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
0	6,8	6,8	6,8
3	26,8	30,2	43,4
6	28	36,6	49,4
9	29,2	39,4	58

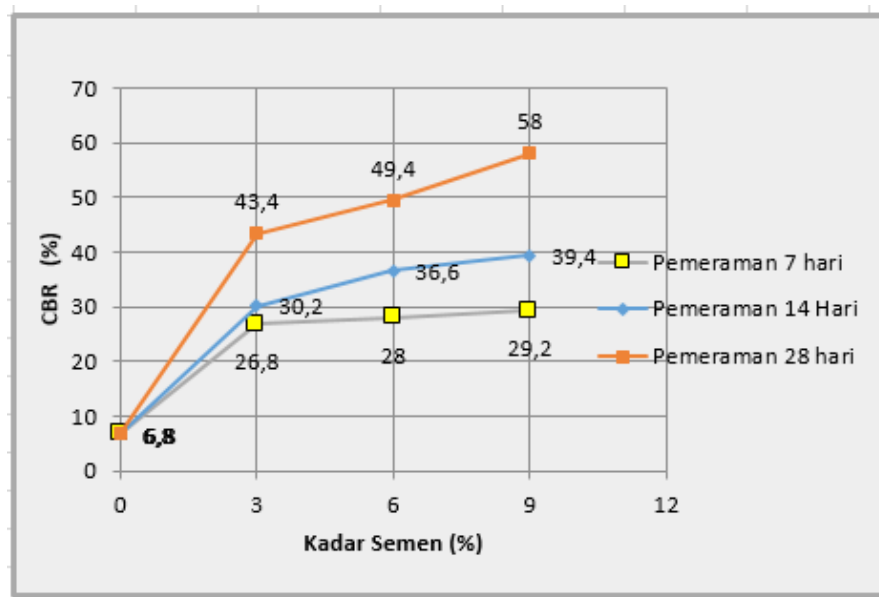
Dari hasil pengujian CBR tanpa rendaman dengan masing-masing jenis tanah kadar campuran semen serta variasi pemeraman menggunakan metode pemadatan *modified proctor* didapatkan peningkatan nilai CBR tanpa rendaman yang signifikan dibandingkan dengan tanah asli. Untuk tanah lanau peningkatan nilai CBR terbesar terjadi pada tanah lanau dengan pemeraman 28 hari pada pemadatan *modified proctor* dengan nilai CBR di setiap kadar 3%, 6% dan 9% berturut-turut yaitu 43,4%, 49,4% dan nilai CBR tertinggi pada pengujian tanah lanau dicampur semen sebesar 58%.

4.3.4 Persentase Perbandingan Peningkatan Nilai CBR Tanah Asli dan Tanah Lempung dan Tanah Lanau Campuran Semen Pada Masing-Masing Durasi Pemeraman

Dari hasil pengujian yang dilakukan maka hasil pengujian CBR tanpa rendaman dengan pemadatan *modified proctor* baik tanah lempung dan tanah lanau dapat kita bandingkan dalam bentuk tabel dan grafik. Perbandingan nilai CBR tanpa rendaman tanah lempung asli, tanah asli dan tanah campuran dengan metode pemadatan *modified proctor* dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6 dibawah ini :



Gambar 5. Persentase Perbandingan Peningkatan Nilai CBR Tanah Asli dan Tanah Lempung Campuran Semen Pada Masing-Masing Durasi Pemeraman.



Gambar 6. Persentase Perbandingan Peningkatan Nilai CBR Tanah Asli dan Tanah Lanau Campuran Semen Pada Masing-Masing Durasi Pemeraman.

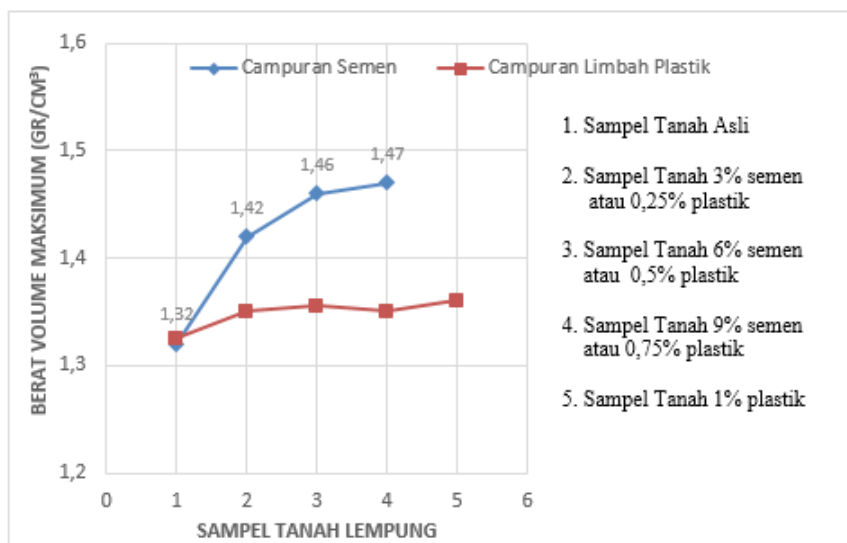
Dari Gambar 5 dan 6 dapat dilihat bahwa seiring penambahan semen dan proses pemeraman sampel tanah yang dicampur semen meningkatkan nilai daya dukung tanah secara signifikan. Naiknya nilai CBR pada tanah lempung dan tanah lanau yang dicampur

semen terjadi akibat proses sementasi yang terjadi pada campuran tanah dan lamanya proses pemeraman yang dilakukan, sehingga campuran tanah-semen membentuk butiran baru yang lebih kaku dan keras serta mampu menahan beban yang lebih keras dibandingkan tanah lempung dan tanah lanau asli. Proses sementasi dapat juga terjadi karena sifat semen bila bercampur dengan air yang sesuai akan menjadi pozzolan/sementasi. Kemudian peningkatan nilai CBR disebabkan akibat penambahan semen yang menguraikan lapisan air yang mengelilingi butiran tanah sehingga menyebabkan proses terjadinya *absorpsi* air dan pertukaran ion oleh semen menjadi lebih efektif dan cepat sehingga akan meningkatkan daya ikat antar butiran dan akhirnya akan meningkatkan kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar butiran tanah.

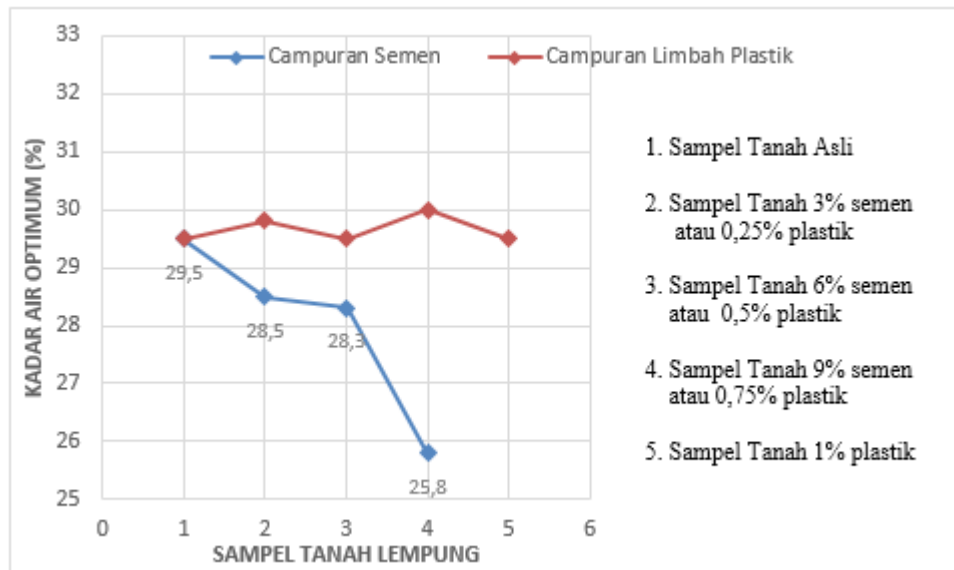
4.4. Perbandingan Nilai Berat Volume Maksimum, Kadar air Optimum dan CBR (*unsoaked*) Dengan Bahan Stabilisasi Yang Berbeda

4.4.1 Berat Volume Maksimum dan Kadar Air Optimum

Dalam pembahasan ini bertujuan untuk meninjau dari penelitian terdahulu yang menggunakan jenis tanah lempung yang sama dengan bahan stabilisasi yang berbeda yaitu penelitian Saputra (2015) mengenai pengaruh campuran limbah plastik dengan tanah lempung ditinjau terhadap nilai daya dukung tanah. Nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah lempung yang distabilisasi dengan limbah plastik dan menggunakan pemadatan *modified proctor* dapat dilihat pada Gambar dibawah ini,



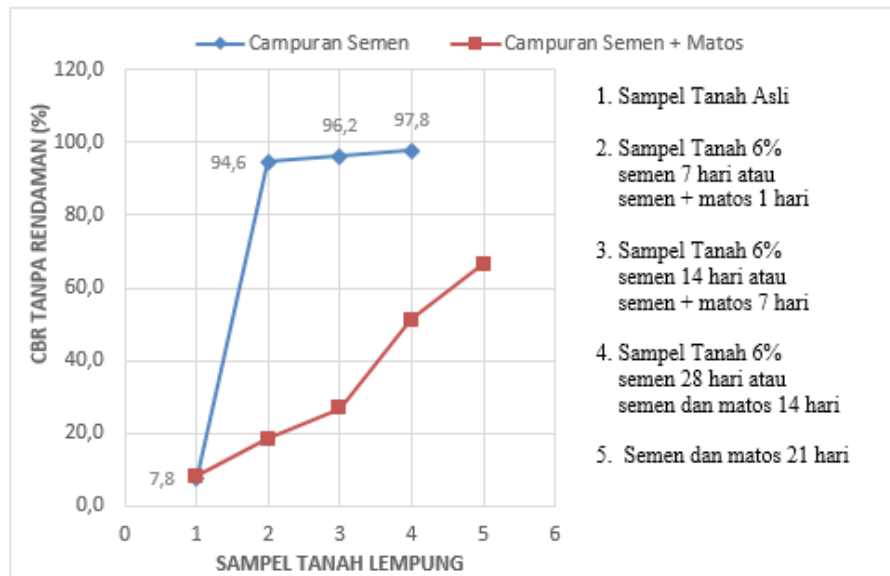
Gambar 7. Perbandingan Nilai Berat Volume Kering Maksimum Campuran Semen dan Campuran Limbah Plastik (Modified Proctor).



Gambar 8. Perbandingan Nilai Kadar Air Optimum Campuran Semen dan Campuran Limbah Plastik (Modified Proctor)

4.4.2 CBR Tanpa Rendaman (*Unsoaked*)

Nilai CBR tanpa rendaman untuk campuran semen akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Revando (2013) yang mengenai studi daya dukung tanah lempung lunak menggunakan campuran semen dan matos. Penelitian tersebut menitik beratkan nilai CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) tanah lempung yang distabilisasi dengan semen dan tambahan *aditive* matos, tanah lempung lunak juga diambil dari daerah yang berdekatan yaitu Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur – Provinsi Lampung. Pembuatan sampel dilakukan dengan cara mencampur tanah asli dengan 0.4 kg semen dan 3,472 gr matos, serta digunakan metode *modified proctor* dan variasi pemeraman 0, 1, 7, 14, dan 21 hari. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 9. Perbandingan Nilai CBR Campuran Semen dan Campuran Semen + Matos (*Modified Proctor*).

Dilihat dari gambar diatas maka dapat disimpulkan bahwa nilai CBR campuran semen dengan pemadatan *modified proctor* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan campuran semen dan matos yang menggunakan metode pemadatan yang sama. Nilai CBR tertinggi untuk campuran semen adalah 97,8% pada pemeraman 28 hari, sedangkan nilai tertinggi untuk tanah dengan campuran semen dan matos sebesar 66,54% pada durasi pemeraman selama 21 hari. Tanah dengan campuran semen dan campuran semen dan matos terbukti mampu meningkatkan nilai CBR tanpa rendaman lebih baik.

5. Kesimpulan

Setelah melalui beberapa tahap pengujian laboratorium dan analisa data maka dapat disimpulkan:

1. Jenis tanah yang digunakan sebagai sampel penelitian ini ada 2 jenis yaitu, tanah lempung yang berasal dari daerah Rawa Sragi, Desa Belimbing Sari Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur yang dikategorikan dalam tanah lempung lunak plastisitas tinggi dengan nilai *Plasticity Index* yang tinggi $\geq 11\%$. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut AASHTO tanah tersebut termasuk dalam kelompok A-7 sub kelompok A-7-5. Kemudian jenis tanah lanau yang berasal dari daerah Desa Yosomulyo Kecamatan Metro Timur, Kota Metro yang tergolong dalam tanah lanau plastisitas rendah dengan nilai *Plasticity Index* yang rendah $\leq 10\%$. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut AASHTO tanah ini masuk dalam kelompok A-5.
2. Dari hasil uji pemadatan *modified proctor*, penambahan campuran semen pada tanah lempung dan tanah lanau terbukti meningkatkan nilai berat volume

maksimum (γ_d) secara *continue* dari kadar semen 3%, 6% dan 9%. Untuk nilai kadar air optimum terjadi penurunan pada pada setiap kadar semennya, namun penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

3. Dari hasil pengujian CBR tanpa rendaman dengan pemadatan *modified proctor* didapatkan peningkatan nilai CBR pada tanah lempung dan tanah lanau campuran semen. Untuk tanah lempung peningkatan tertinggi didapat pada kadar semen 9%, durasi pemeraman 28 hari. Peningkatan sebesar 99,8% dari CBR tanah lempung asli. Pada tanah lanau peningkatan tertinggi juga pada kadar semen 9% dan durasi pemeraman 28 hari. Kenaikan sebesar 58% dari CBR tanah lanau asli.
4. Penggunaan campuran semen (*portland cement*) dapat meningkatkan nilai CBR tanpa rendaman pada tanah lempung dan tanah lanau. Peningkatan terjadi dikarenakan fungsi semen sebagai material pengikat pada tanah. Peningkatan nilai CBR juga terjadi seiring dengan penambahan kadar semen dan durasi pemeraman sampai 28 hari.
5. Penambahan semen (*portland cement*) terbukti mampu meningkatkan daya dukung tanah karena semakin besar nilai CBR tanah, semakin besar pula nilai daya dukung tanah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adha, Idharmahadi. 2011. Jurnal Rekayasa Vol. 15 No. 1 (Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen Pada Metoda Stabilisasi Tanah Semen). Lampung: Univertas Lampung, Jurnal Terpublikasi.
- Andriani., dkk. 2012. Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah, Jurnal Rekayasa Sipil, Padang.
- Basuki, Rachmad., dkk. 2007. Stabilisasi Tanah Dasar Dengan Penambahan Semen dan Renolith, Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi Sepuluh November
- Bowles, J.E. 1991. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Craig, R.F. 1991 . Mekanika Tanah, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M. 1994, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid II, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Dokuchaev, Vasily Vasilievich. 1867. *Soil Institute*, Moscow.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1992. Mekanika Tanah 1. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. Mekanika Tanah 2. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Kezdi, A., 1979. *Stabilization Earth Roads*, Elvesier Scientific Publishing Company, New York.
- Mittchell, J. K., Freitag, D. R. 1959. *A Review and Evaluation of Soil Cement Pavement*. American Society of Civil Engineers. United States of America.
- Nagle, Rajkumar., Jain, R., Shinghi, A.K. 2013, "Comparative Study Of CBR Of Soil Reinforced With Natural Plastic Material". *International Journal Of Engineering & Science Research*. 4(6), 304-308.

- Revando, M. Aditya. 2013, Studi Daya Dukung Tanah Lempung Lunak Menggunakan Matos. Skripsi Universitas Lampung. Lampung
- Saputra, A. Sofuan Dwi. 2015, Pengaruh Limbah Plastik dengan Tanah Lempung Ditinjau Terhadap Nilai Daya Dukung Tanah. Skripsi Universitas Lampung. Lampung
- Takaendengan., dkk. 2013. Pengaruh Stabilisasi Semen Terhadap Swelling Lempung Ekspansif. Jurnal Sipil Statik Vol. 1 No. 6
- Terzaghi, Karl., Ralph Brazelton Peck. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Penerbit Wiley.
- Wesley, L. D., 1977, Mekanika Tanah, Badan Penerbit Percetakan Umum, Jakarta.