STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH SAWIT TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO

Ibrahim

ABSTRACT

Soil material that is very influential in the construction work, as an area of land will not have the same properties with other regions. Most areas in Indonesia, especially the city of Palembang on soft ground. Two main problems in soft soil is a huge drop and land carrying capacity is small. Strong bearing clays is strongly influenced by the water content, which when dry soil conditions have a strong high capacity and soil saturation conditions will have a lower carrying capacity. Large volume changes which can harm the soil so that the buildings need serious treatment. One soil improvement efforts is by using the additive stabilization of solid waste palm kernel. In this study the soil to be stabilized is clay derived from the Tanjung Api-Api, with the addition of the percentage of additive variation of solid waste palm kernel at 2.5%, 5%, 7.5%, 10% and 12.5% . The testing performed is testing soil physical properties (water content, grain grading, soil density, hydrometer analysis and Atterberg limits), and testing of mechanical properties of soil ie CBR (California Bearing Ratio). Percentage obtained in the research process LL value (65.19%) PL (34.90%) and IP (30.29%) while the percentage of the value of the fine fraction sieving size <0.075 mm (93.685%), and the size of the coarse fraction .0.075 mm (1.53%). Results of each percentage value according to the classification system USCS (Unified soil classification system) is included in the clay soil classification group OH ie organic clay with high plasticity to moderate. The addition of the additive causes soil properties LL (liquid limit) PL (plastic limit) increases so that IP (plasticity index) increases. The addition of the additive will affect the percentage of the value of the soaked and unsoaked CBR test. CBR value increased 7.5% and the percentage decrease in the percentage of 10% and 12.5%.

Keywords: clay, CBR, additive, stabilization

PENDAHULUAN

Dalam membangun suatu jalan, tanah dasar merupakan bagian yang sangat penting karena tanah dasar akan mendukung beban lalulintas atau beban konstruksi diatasnya. Jika tanah dasar yang ada berupa tanah lempung yangg mempunyai daya dukung rendah, maka konstruksi yang ada sering mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh kondisi tanah. Salah satu penyebabnya yaitu kembang susut yang tinggi dan kurang baiknya kemampuan daya dukung tanah tersebut.

Penyelesaian yang dilakukan selama ini adalah perbaikan pada lapis atas jalan, namun tidak menyelesaikan masalah yang terjadi karena ketidakstabilan jalan tersebut diperkirakan bukan terjadi pada struktur atas jalan tetapi pada tanah dasarnya.

Perbaikan pada tanah dasar *(subgrade)* yang lunak akibat perubahan kadar air umumnya dengan memodifikasi atau melakukan penanganan khusus untuk menghasilkan tanah dasar tersebut menjadi lebih baik bagi suatu konstruksi jalan serta material yang memenuhi standar perencanaan jalan. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah sehingga mempunyai daya dukung yang baik dan berkemampuan mempertahankan perubahan volumenya yaitu dengan cara stabilisasi.

Secara praktis stabilisasi tanah merupakan rekayasa perkuatan terhadap pondasi tanah dasar dengan menggunakan bahan campuran *(additive).* Hal tersebut diharapkan dapat menaikkan kemampuan menahan beban dan daya dukung terhadap tegangan fisik dan kimiawi akibat pengaruh cuaca atau lingkungan selama masa guna suatu kontruksi jalan. Sifat-sifat tanah dasar misalnya, kekakuan kekuatan, potensi mengembang, daya tembus air dan perubahan volume. Dengan sifat tersebut, maka diperlukan variasi perlakuan perbaikan tanah yang berbeda pula.

Cara yang paling sederhana yang dapat digunakan yaitu dengan cara pemadatan, namun dengan kondisi tanah dasar yang memiliki kestabilan CBR *(California Bearing Ratio)* yang tinggi sebagaimana disyaratkan dalam suatu kontruksi jalan. Namun, apabila kita dihadapkan pada kondisi lapangan dengan kondisi tanah dasar yang bermasalah atau kurang mendukung untuk kontruksi jalan tersebut, maka selain pemadatan juga diperlukan suatu perlakuan khusus yaitu dengan memberikan bahan tambah *(additive)* untuk memperbaiki tanah dasar tersebut.

Salah satu bahan stabilisasi yang digunakan yaitu

menggunakan limbah padat inti kelapa sawit. Limbah padat inti kelapa sawit yang digunakan yaitu berupa bungkil kelapa sawit. Bungkil kelapa sawit ini merupakan salah satu hasil sampingan dari pengolahan inti sawit dengan kadar 45-46% dari inti sawit. Bungkil inti kelapa sawit memiliki kandungan air kurang dari 10%. Bungkil ini dapat diperoleh dari proses kimia atau secara mekanik.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu dengan pengambilan sampel tanah untuk pengujian diambil dari Desa Gasing, Tanjung Api-Api, Palembang. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0.5 – 1 m dari permukaan tanah. Limbah Sawit yang didapatkan dari Tanjung Api-Api KM.10 dari PT.Berkat Sawit Sejati (BSS).

Adapun peralatan yang digunakan adalah Satu set saringan standar ASTM D421-58 dan hidrometer D422-63, kadar air D 2216-80, gravitas khusus ASTM D8554-58, Alat uji batas *konsistensi* ASTM D423-66, D424-59 dan D427-61, pemadat standar ASTM D698-78, Satu set alat uji CBR (*California Bearing Ratio*) ASTM D1883-94.

Uji Sifat Fisis Tanah

Uji sifat fisis tanah dilakukan terhadap tanah lempung, meliputi : uji kadar air ASTM D 2216-80, gravitas khusus ASTM D 854-91, distribusi ukuran butiran tanah ASTM D 4318-84 dan batas konsistensi/atterberg ASTM D 4318-78.

Uji Pemadatan

Uji pemadatan *standard* ASTM D698-78 dilakukan pada tanah asli guna mendapatkan grafik hubungan berat kering dan kadar air, sedangkan pada tanah campuran (tanah+asam fosfat) tidak dilakukan uji pemadatan.

Pencampuran Limbah Inti Sawit

Pencampuran tanah dengan bahan tambah limbah inti sawit dengan persentase bahan tambah sebesar 0%; 2.5 %; 5 %; 7,5% ,0 % dan 12,5%. Pada tanah yang sudah dicampur dengan bahan tambah ini dilakukan uji sifat fisis yang meliputi: uji kadar air, gravitas khusus ASTM D8554-58, analisis diameter ukuran butiran ASTM D421-58 dan D422-63, dan batas konsistensi ASTM D423-66, D424-59 dan D427-61, kemudian dibandingkan dengan hasil pada tanah asli.

Uji CBR (California Bearing Ratio)

Selanjutnya dilakukan pengujian CBR ASTM D1883-94 untuk tanah asli dan tanah dengan bahan tambah. Uji pada tanah asli ini, digunakan sebagai pembanding pada hasil uji selanjutnya yang menggunakan variasi asam fosfat. Untuk uji CBR selain dirawat satu hari, dilakukan perendaman empat hari. Analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Excel 2007.

Prosedur Analisis

Pengujian Kadar Air, ASTM D 2216-80

Timbang berat cawan yang akan digunakan, catat nomor dan beratnya. Letakkan contoh tanah yang akan diuji lalu ditimbang. Keringkan dalam oven dngan suhu 110^{o}C dalam keadaan terbuka (tanpa tutup cawan) selama 12-16 jam atau sampai berat contoh tanah konstan. Cawan dan contoh tanah kering ditimbang.

Distribusi Ukuran Butiran Tanah, ASTM D 4318-84

Tanah kering oven sebanyak kira 60 gram ditambah *reagent* (sodium silikat) direndam selama 24 jam, kemudian diaduk kurang lebih 15 menit. Setelah itu *suspensi* dimasukkan ke dalam gelas silinder pengendapan dan ditambahkan air sehingga volumenya mencapai 1000 cm^{3}. Selain *suspensi*, disediakan pula gelas silinder yang diisi dengan air distilata ditambah *reagent*. Setelah pembacaan hidrometer selesai tanah dicuci dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam selanjutnya butir-butir tanah disaring dengan menggunakan 1 set saringan. Saringan diguncang dengan mesin pengguncang selama 15 menit. Timbang berat tanah yang tertahan pada masing-masing saringan.

Uji Batas Konsistensi, ASTM D 4318-78

Benda uji yang digunakan untuk uji batas *konsistensi* merupakan sebagian tanah sisa dari uji triaksial, kemudian dijemur sampai tanah mencapai kering udara. Tanah tersebut ditumbuk dan disaring dengan saringan No. 40. Selanjutnya dilakukan uji batas cair (ASTM D423-66), batas plastis (ASTM D424-59), batas susut (ASTM D427-61).

Uji Gravitas Khusus, ASTM D 854-91

Sebagian tanah sisa dari uji triaksial dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu 60^{o}C – 80^{o}C, setelah itu dimasukkan ke dalam desikator. Tanah yang sudah dingin dari desikator, dimasukkan ke dalam piknometer seberat kira-kira 15 gram dan dilakukan uji gravitas khusus mengacu pada ASTM D854-91.

Pengujian Pemadatan, ASTM D698-78

Contoh tanah dan bahan campurannya harus lolos ayakan no 4,75 mm (no 4). Jumlah contoh tanah yang lolos saringan no 4 sebanyak 2,5 kg.Benda Uji dicampur dengan air yang ditentukan perbandingannya dan diaduk sampai rata. Timbang cetakan dengan keping alasnya hingga ketelitian 1 gr (w1). Cetakan, alas dan leher disatukan dan ditempatkan pada landasan yang kokoh. Ambil benda uji lalu dipadatkan dalam cetakan.

Pada tiap-tiap lapisan tanah dilakukan 25x pukulan dengan pemukul standar. Tanah dipadatkan dalam 3 lapisan dengan perbedaan tebal masing-masing tidak lebih dari 0,5 cm. Lepaskan leher sambungan dan potong kelebihan tanah dari bagian leher dengan straight edge agar kelebihan tanah betul-betul rata dengan permukaan cetakan. Timbang cetakan beserta keping alas yang berisi benda uji dengan ketelitian 5 gr (w2). Keluarkan benda uji dengan menggunakan extruder dan potong sebagian kecil dari benda uji untuk menentukan kadar airnya (ώ) nya. Selanjutnya dari uji ini dibuat kurva hubungan antara kadar air dan berat unit kering, untuk mendapatkan kadar air optimum.

Pengujian CBR, ASTM D1883-87

Pada pengujian CBR ini merupakan pengujian CBR Rendaman dan tanpa rendaman (unsoaked). Sebelum melakukan pengujian ini, terlebih dahulu dilakukan persiapan benda uji. Pada penelitian ini benda uji dipersiapkan menurut cara pemeriksaan pemadatan standard.

Siapkan contoh tanah kira-kira seberat 5 kg dan bahan campuran yang masing-masing lolos saringan No 4. Untuk persentase campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%. Campur bahan tersebut dengan air sampai dengan kadar air optimum yang berasal dari pengujian pemadatan, agar air benar-benar merata maka tanah diperam selama ± 1 malam. Pasang cetakan pada keping atas dan leher cetakan lalu kuatkan dengan mengeratkan batunya. Padatkan bahan tersebut dalam cetakan sesuai dengan pemeriksaan pemadatan standard.

Buka leher sambungan dan ratakan dengan alat perata. Tambal lubang-lubang yang terjadi pada permukaan karena lepasnya butir-butir kasar dengan bahan yang lebih halus. Untuk benda uji tanpa perendaman, benda uji tersebut dapat langsung dilakukan pegujian CBR, agar data-data benda uji tidak tertukar satu dengan yang lain maka dilakukan penomoran. Sedangkan langkah kerja pada pengujian CBR antara lain :

Letakkan keping pemberat di atas permukaan benda uji seberat minimal 4,5 kg atau sesuai dengan bahan perkerasan. Atur torak penetrasi pada permukaan benda uji sehingga arloji pembebanan menunjukkan beban permulaan sebesar 4,5 kg. Pembebanan permulaan ini dengan permukaan benda uji. Kemudian arloji penunjuk beban dan arloji pengukur penetrasi di nolkan. Berikan pembebanan dengan teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati kecepatan 1,25 mm (0,05") : 0,17 mm (0,075") : 2,5 mm (0,1") : 3,75 mm 0,15") : 5 mm (0,2") : 7,5 mm (0,3") :10 mm (0,4") : 12,5 mm (0,5"). Catat beban maksimum dan penetrasinya bila pembebanan maksimum terjadi sebelum penetrasi 12,50 mm. Keluarkan benda uji dari cetakan dan tentukan kadar air dari lapisan atas benda uji setebal 25,4 mm. Pengambilan benda uji untuk kadar air dapat diambil dari seluruh kedalaman bila diperlukan kadar air rata-rata. Benda uji untuk pemeriksaan kadar air sekurang-kurangnya 100 gr untuk tanah berbutir halus atau sekurang-kurangnya 500 gr untuk tanah berbutir kasar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian *Indeks Properties* Tanah

Hasil pengujian *indeks properties* tanah yang dilakukan, dapat dilihat pada tabel 1.

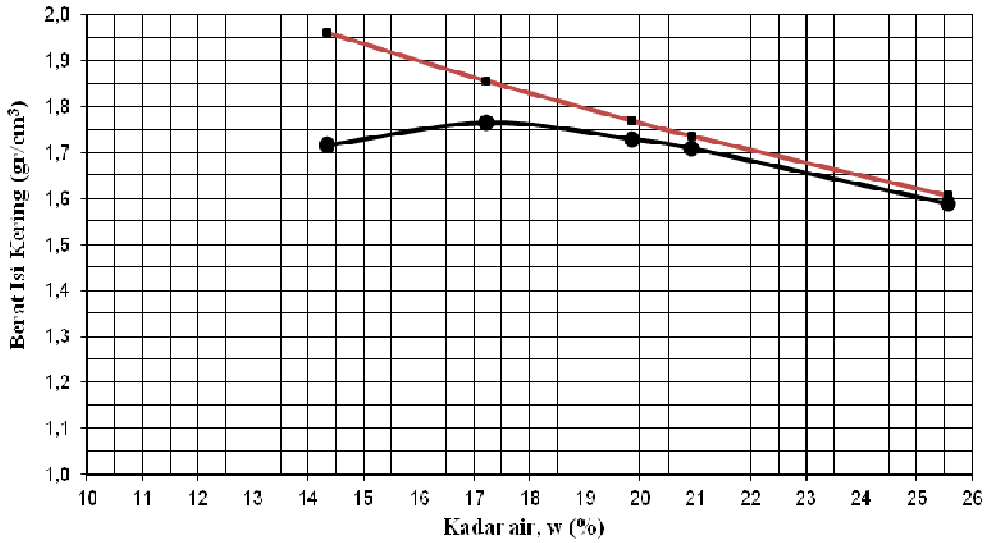
Tabel 1 Hasil uji sifat fisis tanah

Parameter	Nilai
Kadar Air Tanah (w), %	9,94
Batas cair (LL), %	71,55
Batas Plastis (PL), %	42,03
Indeks Plastis (IP), %	29,52
Specific Gravity (GS)	2,655
Butiran lolos saringan No.200	93,68
a. Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	OH
b. Pasir (%)	-
c. Kerikil (%)	-

Hasil pengujian pemadatan dapat dilihat pada gambar 1. Dari hasil pemadatan yang dilakukan didapat nilai γ_d maks yaitu 1.771 gr/cm^3 dengan kadar air optimum (Woptimum) = 17,00%. Kadar air dari hasil pemadatan tersebut akan digunakan sebagai perhitungan untuk pembuatan benda uji CBR.

1. Klasifikasi Tanah Asli

Lempung merupakan salah satu jenis tanah yang sangat dipengaruhi oleh kadar air dan mempunyai sifat cukup kompleks. Kadar air mempengaruhi sifat kembang susut dan kohesinya.Sifat ini sering menimbulkan kerusakan pada bangunan seperti terangkatnya pondasi, retaknya dinding, bergelombang maupun penurunan badan jalan dan sebagainya,.Tanah dengan kondisi seperti ini mempunyai kekuatan rendah, oleh karena itu perlu adanya perbaikan terhadap tanah tersebut.Perbaikan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu mencampur tanah dengan bahan tambahan yaitu limbah inti sawit.



Gambar 1. Pemadatan Tanah Asli

Gambar 2. terlihat bahwa persentase butiran tanah yang lolos saringan No.200 sebesar 93,68% dan dihubungkan dengan nilai batas cair 71,55% dan indeks plastisitas yang ada sebesar 29,52% maka menurut *Unifed Soil Classification System* (USCS) tanah tersebut termasuk dalam kelompok OH yaitu Lempung organic dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi.

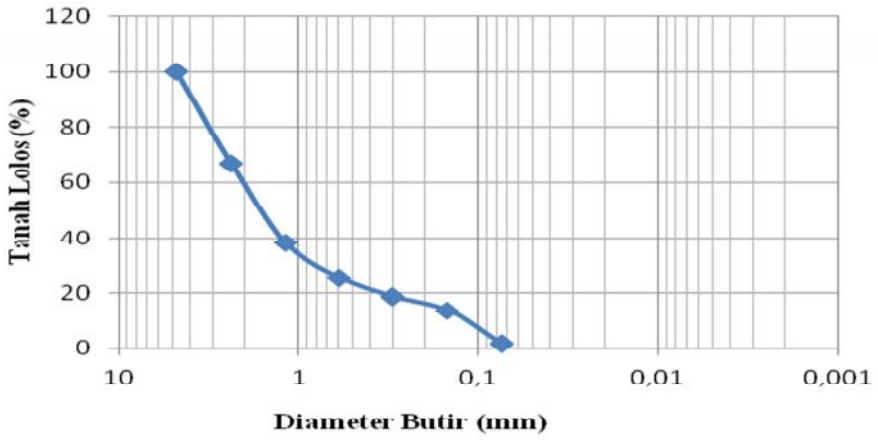
Menurut *American Association of State Highway an Transportation Officials* (AASHTO) tanah tersebut termasuk dalam kelompok A-7-5, merupakan tanah berlempung yang tidak baik apabila digunakan sebagai dasar pondasi jalan raya.

2. Karakteristik tanah lempung dengan campuran *Adiitive*

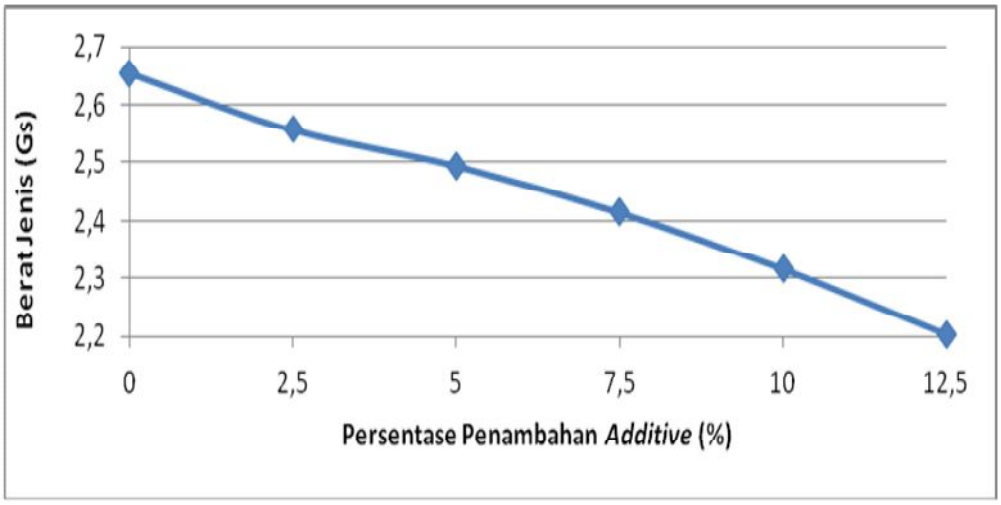
Campuran tanah dan *additive* mempunyai perilaku yang berbeda tergantung variasi campurannya. Pengujian yang dilakukan terhadap campuran tanah dan *additive* terdiri dari uji berat jenis, batas konsistensi, gradasi butiran, pemadatan, dan CBR perendaman dan tanpa perendaman.

Berat Jenis

Hasil dari pengujian berat jenis dengan variasi persentase campuran tanah dan *additive* sebagaimana tercantum pada tabel 1 menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan nilai berat jenis seiring dengan persentase *additive*.Nilai berat jenis campuran tanah dan *additive* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai berat jenis tanah asli yaitu 2,611%. Hal ini disebabkan pada proses pencampuran *additive* bersifat mengikat tanah lempung yang akan menambah berat butiran, maka nilai berat jenis akan meningkat, Gambar 3.



Gambar 2. Analisa Saringan Tanah Asli



Gambar 3. Hubungan penambahan limbah inti sawit dengan nilai berat jenis

Batas-batas Konsistensi

Uji batas konsistensi berupa uji batas cair (LL), batas plastis (PL) dan batas susut (SL). Pengaruh penambahan persentase *additive* terhadap nilai batas konsistensi yang ditunjukkan pada tabel 1. Beradasarkan hasil uji batas cair (LL), penambahan *additive* menyebabkan penurunaan nilai batas cair. Hal ini mengindikasikan telah terjadi pengikatan antara *additive* dengan butiran tanah lempung mengikat saat uji batas cair, sehingga batas cairnya menurun.

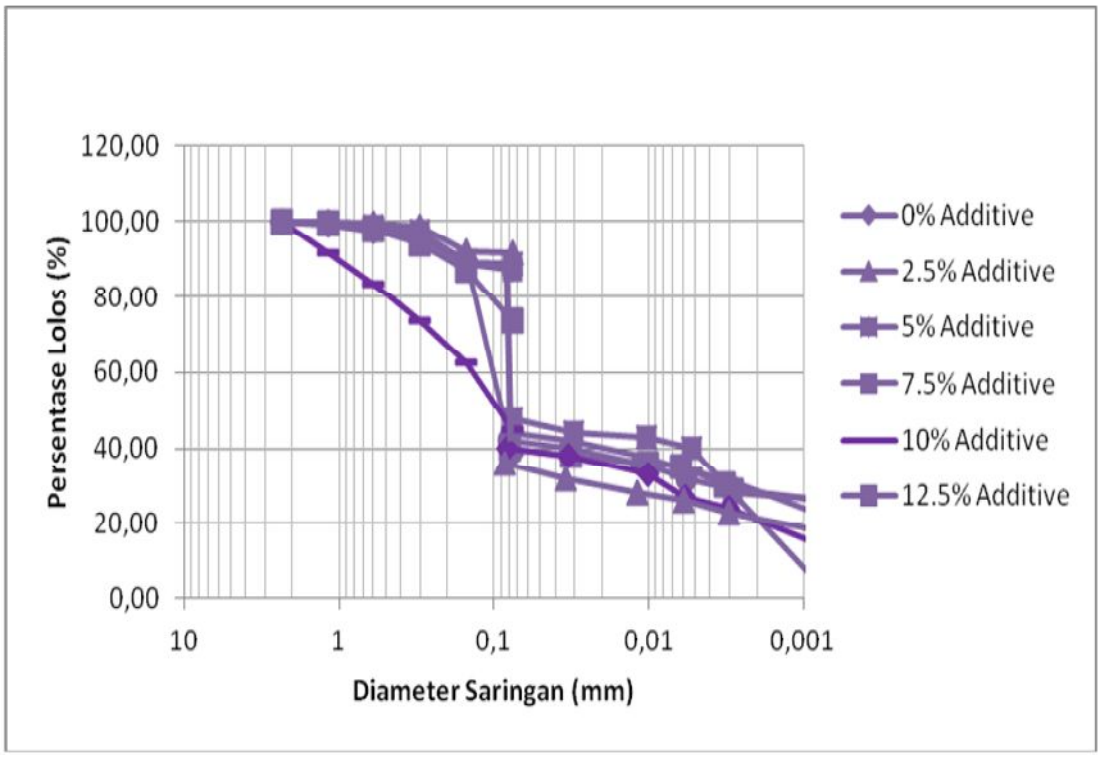
Berdasarkan uji batas plastis (PL), penambahan *additive* mempunyai

kecenderungan turun, hal ini dikarenakan sifat plastis dan susut tanah lempung dipengaruhi penambahan limbah inti sawit.

Indeks plastisitas (IP) adalah nilai batas cair dikurangi nilai batas plastis (IP=LL-PL). Hubungan tersebut memperlihatkan bahwa nilai IP sangat tergantung pada nilai batas cair dan batas plastis. Karena penambahan *additive* dapat menurunkan batas cair, sehingga menghasilkan indeks plastisitas yang menurun.

Gradasi Butiran

Hasil uji gradasi butiran akibat penambahan bahan *additive* menunjukkan bahwa terjadi perubahan komposisi tanah, yaitu berkurangnya lolos saringan pada fraksi halus dan meningkatnya fraksi kasar dapat dilihat pada gambar 4.



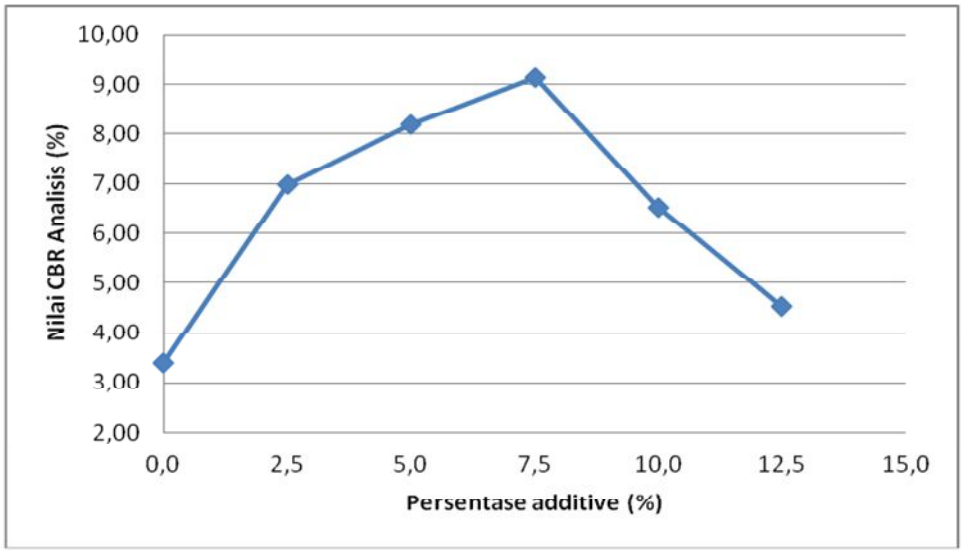
Gambar 4. Analisa Saringan dengan variasi penambahan *additive*

Perilaku gradasi butiran untuk penambahan additive seperti gambar 4 terlihat bahwa penambahan additive dapat memberikan pengaruh cukup signifikan terhadap persentase gradasi yang lolos saringan ayakan no.200.

Nilai *California Bearing Ratio (CBR)*

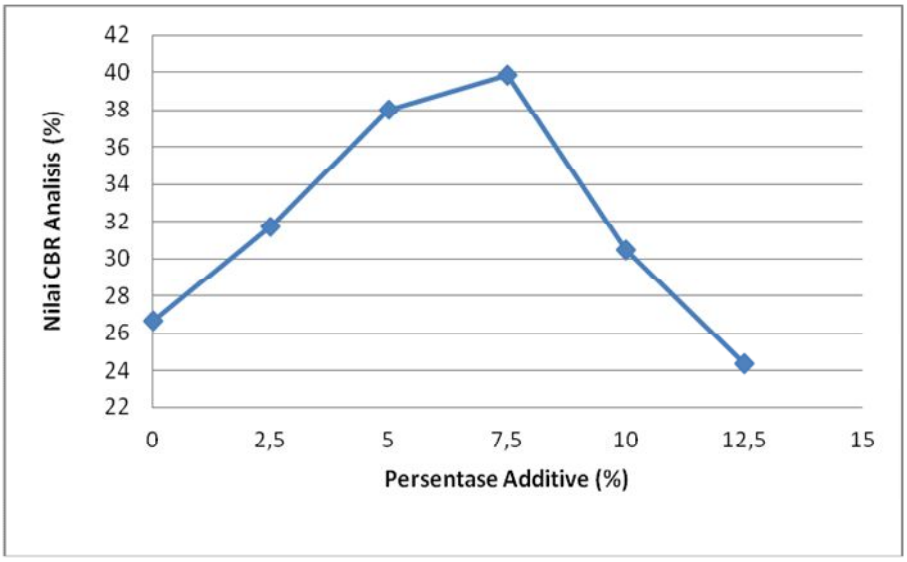
Besarnya nilai CBR adalah salah satu cara untuk mengetahui kuat dukung tanah. Besarnya nilai kuat dukung tanah akan dipengaruhi oleh kualitas bahan, lekatan antar butir dan kepadatannya. Ikatan antar butir merupakan kemampuan saling mengunci antar butiran, dan adanya rekatan yang merekatkan permukaan butirann tersebut. Semakin kuat ikatan antar butir akan menghasilkan nilai CBR semakin tinggi dan begitu pula sebaliknya. Uji CBR yang dilakukan pada penelitian ini dimaksudkan untuk melihat apakah penambahan persentase *additive* akan memberikan pengaruh terhadap nilai CBR.

Ada 6 variasi campuran yang dilakukan pada uji CBR yaitu : normal (0%), 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%. Grafik uji CBR tanpa perendaman *(unsoaked)* dan perendaman *(soaked)* 4 hari (96 jam) dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hubungan persentase *additive* dengan nilai CBR perendaman

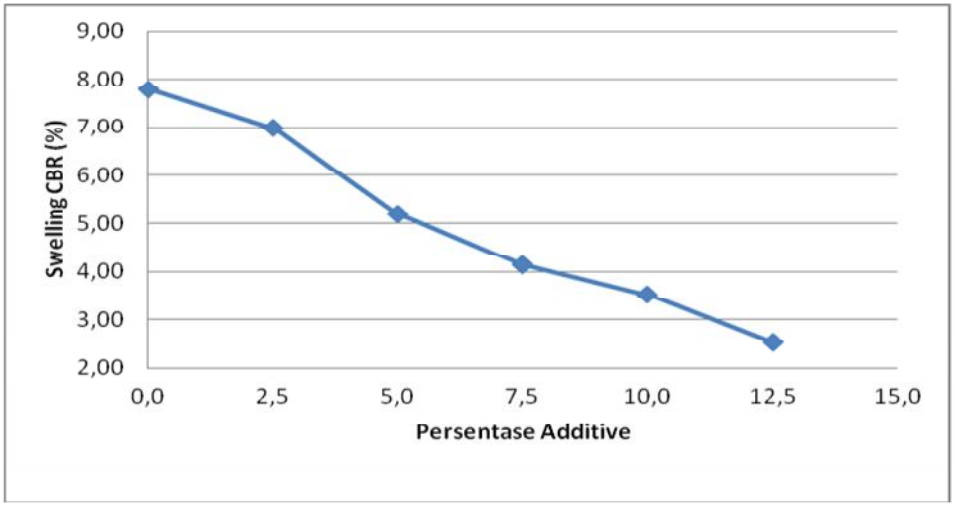
Gambar 5 menunjukkan bahwa peningkatan nilai CBR perendaman terjadi pada persentase 7,5% dan mengalami penurunan pada persentase 10% dan 12,5%. Pencampuran *additive* ini menyebabkan penggumpalan tanah sehingga meningkatkan daya ikat antar butiran. Dengan meningkatkan daya ikat antar butiran, maka kemampuan kuat dukung tanah meningkat.



Gambar 6. Hubungan persentase *additive* dengan nilai CBR tanpa perendaman

Gambar 6 menunjukkan bahwa niilai CBR tertinggi tercapai pada penambahan additive 7.5%, akan tetapi pada penambahan *additive* 10% dan 12.5% nilai CBR cenderung mengalami penurunan, hal ini dikarenakan berat

volume tanah berkurang karena pori-pori tanah terisi oleh *additive* dan menyebabkan hasil penetrasi pada pengujian CBR menurun.



Gambar 7. Hubungan persentase *additive* dengan *swelling* uji CBR perendaman

Gambar 7 menunjukkan bahwa penambahan *additive* yang banyak mengakibatkan nilai pengembangan campuran tanah semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena *additve* bersifat mengikat/menyelimuti pori-pori pada butiran, sehingga proses masuknya air pada tanah terhambat dan *swelling* CBR perendaman 4 hari (96 jam) menurun.

Secara keseluruhan, berdasarkan analisis seperti yang dijelaskan sebelumnya tentang penambahan *additive* pada tanah dengan kondisi $\gamma d = 1{,}771 gr/cm^3$ dengan kadar air optimum (W.optimum) = 17% memberikan hasil bahwa optimum penambahan additive sebesar 7,5%.

Tanah lempung asli dari lapangan memiliki nilai CBR yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan tanah yang telah distabilisasi. Pada CBR tanpa perendaman persentase nilai tanah asli yaitu 26,66% sedangkan persentase nilai CBR dengan perendaman yaitu 3,39%. Persentase nilai CBR teertinggi tanah lempung tercapai pada kondisi penambahan additive 7,5% dengan masing-masing nilai pada CBR perendaman 9,14% dan CBR tanpa perendaman yaitu 39,84%.

Dengan meningkatnya nilai CBR maka berpengaruh pada pengujian sifat-sifat fisis tanah asli yaitu semakin banyak penambahan additive maka berat jenis tanah mengalami penurunan sedangkan batas cair (LL) dan batas plastis (PL) mengalami peningkatan dan indeks plastisitas tanah mengalami peningkatan. Sedangkan untuk gradasi butiran persentase bahan *additive* meningkat maka nilai persentase tanah yang lolos menurun serta nilai persentase tanah yang tertahan meningkat.

KESIMPULAN

Dari pengujian tanah asli didapat nilai berat isi kering maksimum (γ d) =1,777 gr/cm^3 dengan kadar air optimum (Wopt) = 17%; LL = 71,55% ; PL = 42,03% ; IP = 29,52%, mengandung fraksi halus 93,68%, dengan Specific Gravity = 2,655. Menurut Unified *Soil Classification System (USCS*) tanah tersebut termasuk dalam kelompok OH.

Tanah lempung asli dari lapangan memiliki nilai CBR yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan tanah yang telah distabilisasi. Pada CBR tanpa perendaman persentase nilai tanah asli yaitu 26,66% sedangkan persentase nilai CBR dengan perendaman yaitu 3,39%. Persentase nilai CBR teertinggi tanah lempung tercapai pada kondisi penambahan additive 7,5% dengan masing-masing nilai pada CBR perendaman

9,14% dan CBR tanpa perendaman yaitu 39,84%.

Dengan meningkatnya nilai CBR maka berpengaruh pada pengujian sifat-sifat fisis tanah asli yaitu semakin banyak penambahan additive maka berat jenis tanah mengalami penurunan sedangkan batas cair (LL) dan batas plastis (PL) mengalami peningkatan dan indeks plastisitas tanah mengalami peningkatan. Sedangkan untuk gradasi butiran persentase bahan *additive* meningkat maka nilai persentase tanah yang lolos menurun serta nilai persentase tanah yang tertahan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM. 2006. *Annual Book of ASTM Standards.* Volume 04.08. Philadelphia.

Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I & Mekanika Tanah II*, Jilid 1, edisi 3, PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta, hal : 78-92.

Ibrahim, Ahmad Rifa'i, Suryo Hapsoro Tri Utomo. 2010. The Effect of Latex Polymer Additive in Srength of Clay Fllowing One-Day Curing Time. Jurnal Dinamika X(1): 41-48. Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadyah Surakarta (UMS).

Siregar, C. A. 2003. Pengaruh Campuran Polimer Silikon pada Stabilisasi Tanah Ekspansif Cikampek Purwakarta terhadap Nilai Pengembangan Bebas (*Free Swell*), Jurnal ITENAS VII(3): 1-12, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik ITENAS, Bandung.

Suryolelono,K.B. 1999. Potensi Variasi Campuran Abu Sekam Padi (ASP) dan Kapur untuk Meningkatkan Karasteristik Tanah Lempung. Forum Teknik Sipil, VIII(1): 1-11. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.