

STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN BAHAN ADITIF *FLY ASH* SEBAGAI LAPISAN PONDASI DASAR JALAN (*SUBGRADE*)

Ibrahim

Staf Pengajar Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya,
Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang 30139
E-mail : ibrahim@polsri.ac.id

ABSTRACT

Some road construction in Indonesia built on expansive clay soil. Strong support is strongly influenced clay water content, in a dry state has a strong support and high in saturated state will have a strong low carrying capacity. Water content will affect the nature of the flower shrinkage and shear strength parameters of soil. Construction of roads built on clay soil often damaged, eg cracked or bumpy roads would be damaged so that road before reaching the age of the plan. To overcome the problems of the clay where the strong supporting affected by water content, one alternative be repaired by means of stabilization. This study analyzes the behavior of clay in the area of Tanjung Api Spinner - fire, get maximum soil density and optimum moisture content with the addition of fly ash (coal) 2.5%, 5%, 7.5%, 10% and 12.5%, then tested in the form of nature - the nature of the soil, the California Bearing Ratio (CBR) and unconfined compression (compressive streng this free). The results, according to the AASHTO classification including group A-7-6. The addition of fly ash will cause the properties of the soil liquid limit (LL) decreased with plastic limit (PL) decreased so that the plasticity index (PI) decreased, then the percentage of grains resulting in the fine fraction decreases with increasing clay gradation. The addition of fly ash will be working actively on the CBR test. It can be concluded that the fly ash work filling and covering the pores - pore soil thereby increasing soil kekedapan to the addition of water and increase soil strengthsaturationwithoutchangingthephysicalpropertiesofsoil.

Keywords: *fly ash, stabilization, clay*

PENDAHULUAN

Beberapa kontruksi jalan raya di Sumatera selatan dibangun di atas tanah lempung. Daya dukung tanah yang berkadar lempung tinggi sangat sensitif terhadap pengaruh air, dalam keadaan kering mempunyai daya dukung tinggi dan dalam keadaan jenuh akan mempunyai daya dukung yang rendah serta kuat geser tanah turun. Akibat perilaku tersebut, jalan yang dibangun di atas tanah lempung sering mengalami kerusakan, misalnya jalan retak dan bergelombang maupun penurunan badan jalan sebelum mencapai umur rencana.

Kekuatan tanah dasar memegang peranan penting dalam penentuan tebal perkerasan yang dibutuhkan pada perkerasan aspal (*flexible pavement*). Jika tanah dasar merupakan tanah yang berkadar lempung tinggi, sifat-sifat fisis dan teknis tanah tersebut harus diperbaiki, sebab tanah lempung mempunyai daya dukung rendah serta sangat sensitif terhadap pengaruh air. Melihat kondisi tanah lempung yang mempunyai

daya dukung rendah serta sangat sensitif terhadap pengaruh air.

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. Dengan tanda-tanda semacam itu dapat diasumsikan bahwa bahan jalan yang digunakan merupakan tanah yang tidak stabil atau tanah bermasalah.

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.

Salah satu bahan stabilisasi yang digunakan adalah dengan memanfaatkan limbah batu bara yaitu abu terbang (*fly ash*). *Fly ash* merupakan hasil dari tempat pembakaran batubara yang dibuang sebagai timbunan. *Fly ash* mengandung unsur kimia silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO). Senyawa kimia ini mempunyai sifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan (*strength*) apabila bereaksi dengan air).

Secara praktis stabilisasi tanah merupakan rekayasa perkuatan terhadap pondasi atau tanah dasar dengan atau bahan campuran, untuk menaikkan kemampuan menahan beban dan daya dukung terhadap tegangan fisik dan kimiawi akibat pengaruh cuaca atau lingkungan selama masa guna keteknikan suatu konstruksi jalan. Adapun cara yang paling sederhana yang dapat digunakan yaitu dengan cara pemadatan, namun dengan kondisi tanah dasar yang memiliki kestabilan dengan nilai CBR yang tinggi sebagaimana disyaratkan dalam suatu konstruksi jalan. Nilai CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban lalu lintas, tetapi apabila kita dihadapkan pada kondisi lapangan dengan kondisi tanah dasar yang bermasalah/kurang mendukung untuk suatu konstruksi jalan maka selain pemadatan diperlukan juga perlakuan khusus, diantaranya dengan menggunakan bahan tambahan *fly ash* untuk perbaikan tanah dasar tersebut.

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. *Fly ash* diperoleh dari PT. Bukit Asam, Tanjung Enim.

Dalam penelitian ini, semua pengujian dilaksanakan di Laboratorium Uji Tanah, Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya. Adapun peralatan yang digunakan adalah : Satu set saringan standar ASTM D421-58 dan hidrometer D422-63, alat ukur kadar air D 2216-80, satu set alat ukur gravitas khusus ASTM D8554-58, alat uji batas konsistensi ASTM D423-66, D424-59 dan D427-61, alat pemadat standar ASTM D698-

78, alat uji tekan bebas ASTM D2166-00, satu set alat uji CBR (*California Bearing Ratio*) ASTM D1883-94, oven, timbangan ($\pm 0,01\text{gr}$), termometer, gelas ukur, desikator dan piknometer.

Metode Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri atas 4 tahapan yaitu :

Tahap 1. 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.

Tahap 2. 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+*fly ash*) tidak dilakukan uji pemadatan.

Tahap 3. Pencampuran Fly Ash

Pencampuran tanah dengan bahan tambah *fly ash* dengan persentase bahan tambah sebesar 0%; 2.5 %; 5 %; 7,5%, 10 %. 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.

Tahap 4. 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 *fly ash*. 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 dengan suhu 110°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 cm³. 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 Gravitasi Khusus, ASTM D 854-91

Sebagian tanah sisa dari uji triaksial dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu 60°C – 80°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 gravitasi 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 ekstruder dan potong sebagian kecil dari benda uji untuk menentukan kadar airnya (ω) 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 \pm 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. Tambah 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 pengujian 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.

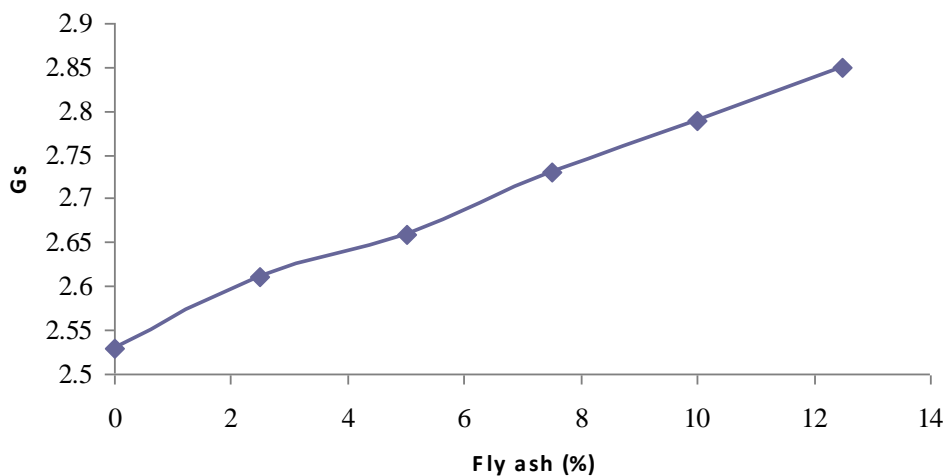
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Lempung dengan campuran fly ash

Campuran tanah dan fly ash mempunyai perilaku yang berbeda tergantung variasi campurannya. Untuk mengetahui pengaruh fly ash terhadap tanah lempung dilakukan pengujian Berat Jenis (*Specivic Gravity*), Batas Konsistensi, Gradasi Butiran, CBR (*Calibration Bearing Ratio*) dan Kuat Tekan Bebas.

Berat Jenis (*Specivic Gravity*)

Hasil uji (Gs) dengan variasi persentase campuran tanah dan fly ash, menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan nilai berat jenis seiring dengan persentase fly Ash. Nilai Gs seiring dengan persentase fly ash. Nilai Gs campuran tanah dan fly ash lebih tinggi dibandingkan dengan nilai Gs tanah asli yaitu 2,53 (Gambar 1) Hal ini disebabkan pada proses pencampuran fly ash yang mengandung ion – ion kalsium yang mereduksi muatan permukaan lempung dan fly ash bekerja sebagai bahan yang memberikan stabilisasi secara mekanikal dengan menggantikan sebagian volume dari partikel- partikel serta fly ash mengikat partikel secara bersama – sama.



Gambar 1. Hubungan % penambahan Fly Ash dengan nilai gravitasi khusus.

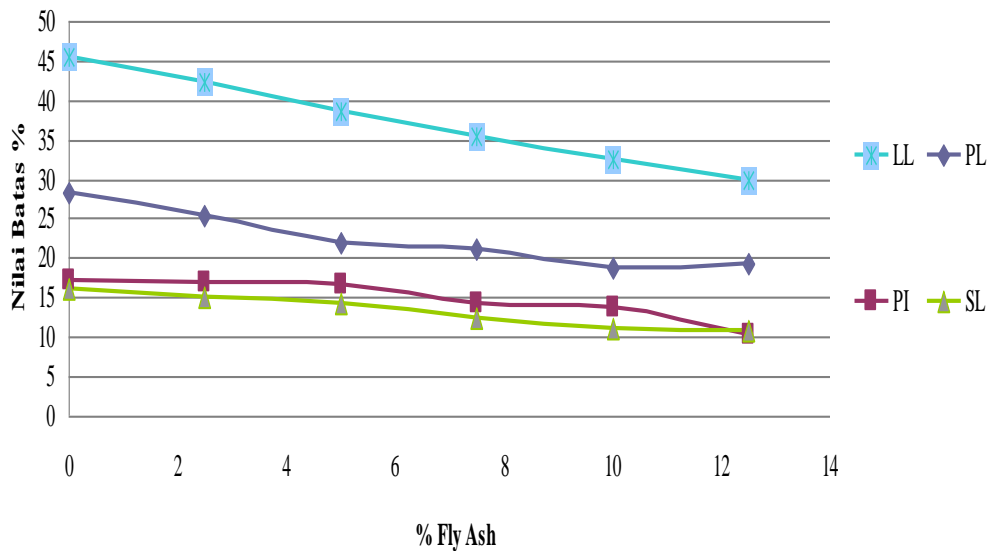
Batas- Batas Konsistensi

Uji batas-batas konsistensi berupa uji batas cair (LL), batas plastis (PL), dan batas susut (SL). Pengaruh penambahan persentase fly ash terhadap nilai batas konsistensi. Berdasarkan hasil uji batas cair (LL), penambahan fly ash menyebabkan penurunan nilai batas cair. Hal ini mengindikasikan telah terjadi penyelimutan antara fly ash dengan butiran tanah lempung, yang mengakibatkan butiran lempung sulit menggelincir saat uji batas cair, sehingga batas cairnya turun.

Berdasarkan uji batas plastis (PL), penambahan fly ash mempunyai kecenderungan turun, hal ini disebabkan sifat plastis dan susut tanah lempung dipengaruhi fly ash.

Indeks plastisitas (PI) adalah batas cair dikurangi batas plastis ($PI = LL - PL$). Hubungan tersebut memperlihatkan bahwa nilai PI sangat tergantung oleh nilai batas cair dan batas plastis. Karena

penambahan persentase fly ash menurunkan batas cair, sehingga menghasilkan indeks plastisitasnya menurun. Perilaku batas – batas konsistensi dengan penambahan fly ash digambarkan pada Gambar 2.

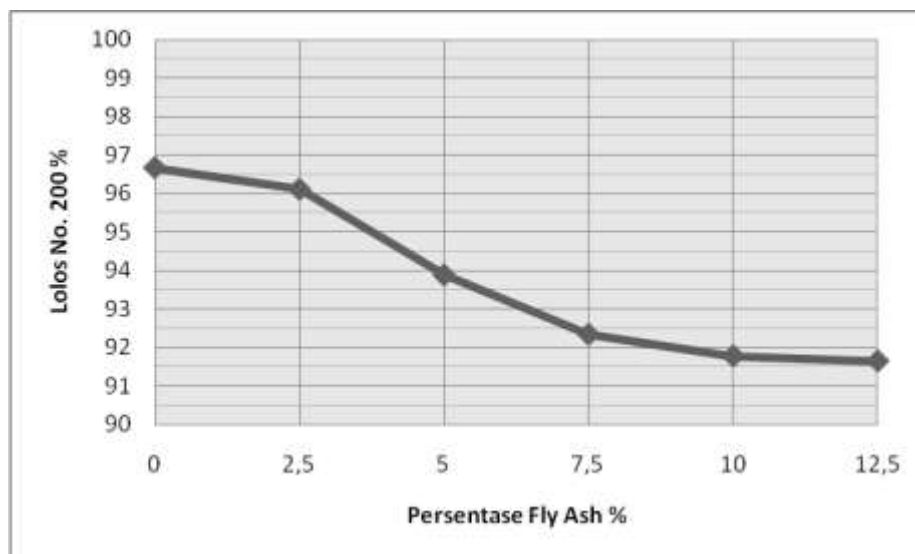


Gambar 2. Perilaku % fly ash terhadap batas konsistensi tanah.

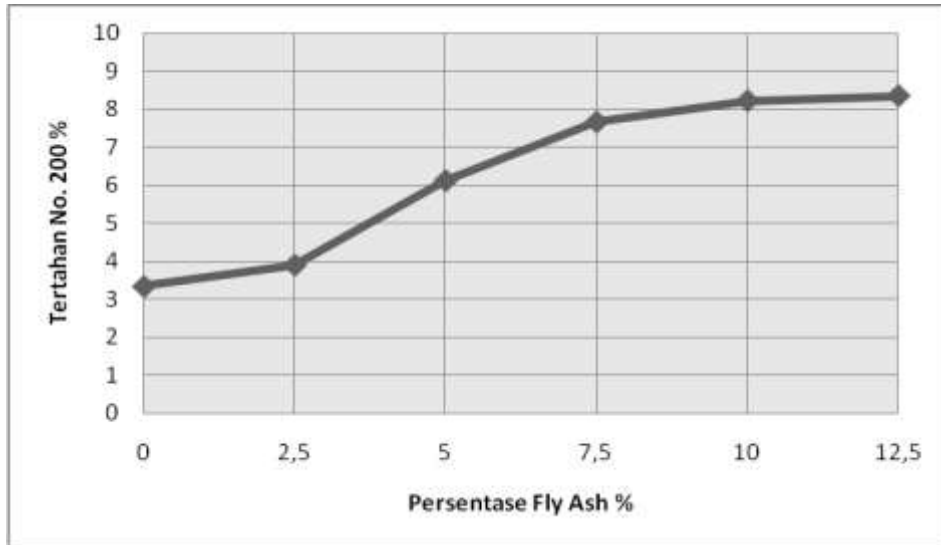
Gradasi Butiran

Perilaku hasil uji gradasi akibat pengaruh penambahan bahan *additive fly ash* ditampilkan pada gambar 3 dan 4. Hasil Pemadatan Standard dapat dilihat pada gambar 5. Perilaku gradasi

butiran untuk penambahan *additive fly ash* seperti pada gambar 5.6 terlihat bahwa penambahan *additive fly ash* dapat memberikan pengaruh cukup signifikan terhadap persentase gradasi pada lolos ayakan No.200.



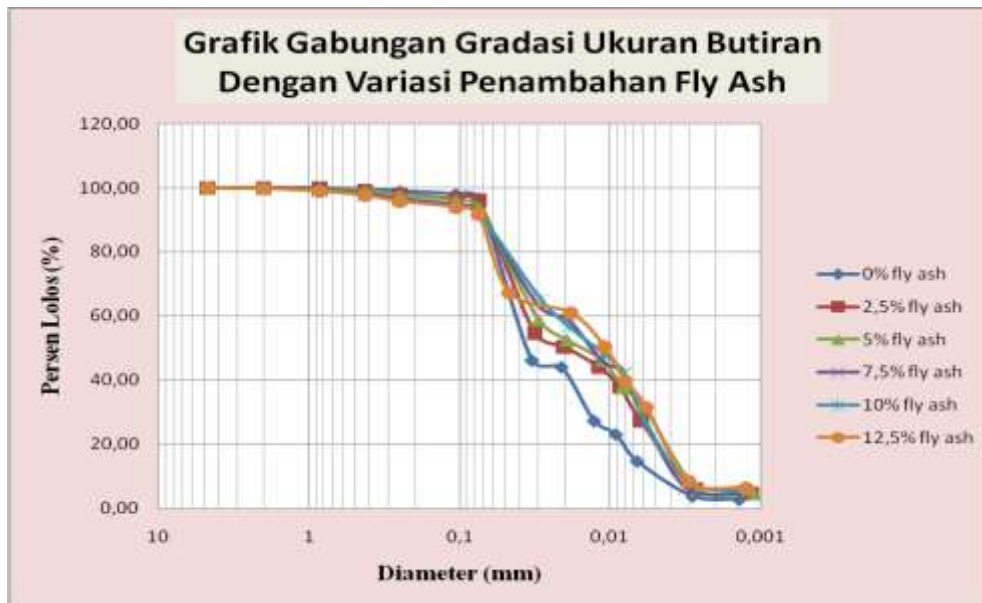
Gambar 3. Hubungan % Fly Ash dengan % lolos No. 200



Gambar 4 Hubungan % Fly Ash dengan % Tertinggal No. 200



Gambar 5. Hubungan kontrol kepadatan kering dengan kadar air



Gambar 6. Gradasi ukuran butir dengan variasi penambahan fly ash

California Bearing Ratio (CBR)

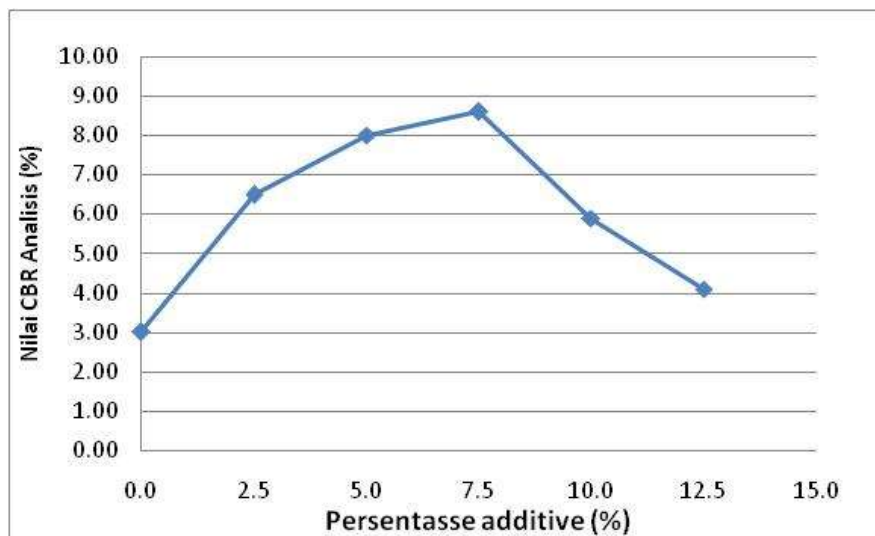
CBR adalah salah satu cara untuk mengetahui kuat dukung tanah. Besarnya nilai kuat dukung tanah akan dipengaruhi oleh kualitas bahan, lekatan antar butir dan kepadatannya. Kualitas bahan berhubungan erat dengan kekasaran dan kekuatan.

Ikatan antar butir merupakan kemampuan saling mengunci antar butir, dan adanya rekatan yang merekatkan permukaan butir 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 fly ash memberikan pengaruh terhadap nilai CBR.

Ada enam variasi campuran yang dilakukan yaitu 0, 2,5; 5; 7,5; 10 dan 12,5% pada uji CBR tanpa perendaman dan perendaman 4 hari (96 jam) dapat dilihat pada gambar 7 dan 8.



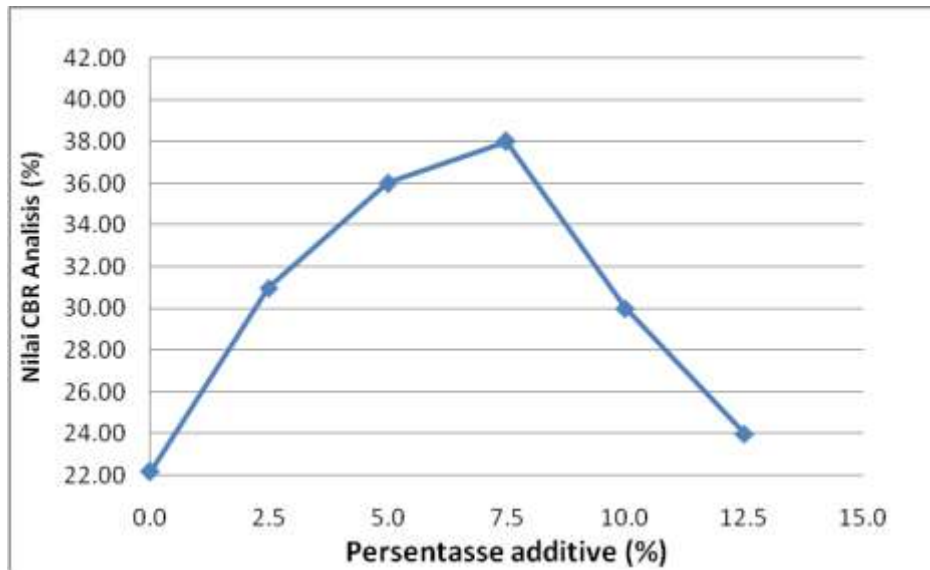
Gambar 7. Hubungan persentase additive dengan nilai CBR perendaman

Pada gambar 7 diatas dapat dilihat bahwa nilai CBR cenderung naik pada penambahan fly ash

2,5%, 5%, 7,5% dan mencapai titik puncak pada penambahan fly ash 10% akan tetapi pada

penambahan *fly ash* 12,5% nilai CBR mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pada penambahan 10% *fly ash* bekerja efektif

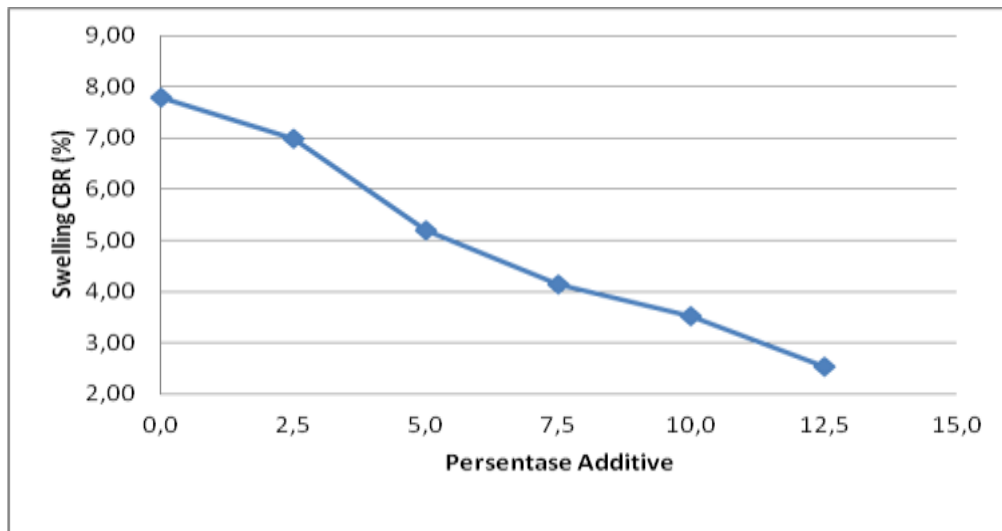
menyelimuti pori-pori tanah sehingga menambah kekuatan tanah tersebut.



Gambar 8. Hubungan persentase *additive* dengan nilai CBR tanpa perendaman

Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa nilai 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 9. Hubungan persentase *additive* dengan *swelling* uji CBR perendaman

Gambar 9 menunjukkan bahwa penambahan *additive* yang banyak mengakibatkan nilai pengembangan campuran tanah semakin

berkurang. Hal ini disebabkan karena *additive* 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 $\gamma_d = 1,771 \text{ gr/cm}^3$ 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 22,2% sedangkan persentase nilai CBR dengan perendaman yaitu 3,00%. Persentase nilai CBR tertinggi tanah lempung tercapai pada kondisi penambahan *additive* 7,5% dengan masing-masing nilai pada CBR perendaman 8,60% dan CBR tanpa perendaman yaitu 38,00%.

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 hasil uji tanah asli di dapat nilai berat isi kering maksimum (γ_d) = 1,49 gr/cm³, Kadar air optimum (Wopt) = 11,9 %, LL = 45,53% PL = 28,20%, SL = 16,25% dan PI = 17,32%, mengandung fraksi halus 96,66 %, dengan gravitas khusus (Gs) = 2,53. Menurut *American Association of state Highway and Transportation Officials* (AASHTO) tanah tersebut termasuk kelompok A-7-6 (Tanah Lempungan).

Hasil uji batas konsistensi (batas – batas *atterberg limits*) campuran tanah dengan penambahan persentase *fly ash* di bandingkan tanah asli menunjukkan batas cair (LL) mengalami penurunan dan batas plastis (PL) cenderung menurun, maka Indeks Plastisitasnya (IP) menurun. Penambahan *fly ash* pada tanah asli menyebabkan perubahan gradasi butiran yaitu persentase fraksi kasar akan bertambah.

Untuk CBR tanpa perendaman dengan *fly ash*, nilai CBR cenderung meningkat, dan mencapai titik puncak peningkatan pada penambahan *fly ash* sebesar 7,5%, tetapi pada penambahan 10% dan 12,5% mengalami penurunan. Tanah lempung *ekspansif* dapat dijadikan sebagai lapisan pondasi dasar (*subgrade*) jalan apabila terlebih dahulu distabilisasi dengan bahan *additive fly ash* 7,5% .

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2006, *Annual Book of ASTM Standards*, Volume 04.08, Philadelphia.
- Herni Khaerunisa, (2003-2007): “Toksisitas Abu Terbang dan Abu dasar Limbah PLTU Batubara yang berada di Sumatera dan Kalimantan secara Biologi”, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
- Hardiyatmo H.C, 2002, *Mekanika Tanah I*, Jilid 1, edisi 3, PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Ibrahim, A. Rifai, Suryo Hapsoro TU, 2010, The Effect of Latex Polymer Additive In Strenght of Clay Following One-Day Curing Time, *Jurnal Dinamika Teknik Sipil* No.1 Vol 10 page 41-48, Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS).
- Suryolelono K.B, 1999, Potensi Variasi Campuran Abu Sekam Padi (ASP) dan Kapur untuk Meningkatkan Karakteristik Tanah Lempung, *Forum Teknik Sipil*, No.VIII, Vol 1, 1-11, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Suyartono, (2004):” Hidup dengan Batubara (Dari Kebijakan hingga Pemanfaatan), No: 001/IX/2001, ISBN: 979-96649-0-X
- S.R.Lo and S.P.R.Wardani, 2002, Strength and Dilatancy of a Silt Stabilized by a Cement and Fly Ash Mixture, *Canadian Geotechnical Journal*. Volume 39, Number 1.
- Sri Prabandiyani Retno Wardani, 2008, Pemanfaatan Limbah Batubara (*Fly Ash*) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan, Pidato Pengukuhan Guru Besar, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.