

PENINGKATAN SIFAT MEKANIS TANAH LEMPUNG MENGUNAKAN *BOTTOM ASH* DAN SEMEN

Ilham Nurhasbi¹, Yusuf Amran², Chica Oktavia³

Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro^{1,2,3}

Jl. KH. Dewantara No. 116 Iringmulyo Kota Metro

E-Mail : ilhamgebas120@gmail.com¹, yusufamran307@gmail.com²,
chicaoktavia04@gmail.com³,

ABSTRAK

Tanah lempung merupakan suatu jenis tanah kohesif yang memiliki daya dukung rendah apabila dijadikan untuk tanah dasar (*subgrade*) dalam pembangunan konstruksi. Tanah tersebut kurang sesuai atau tidak dapat digunakan sebagai bahan konstruksi, karena dari Kementerian Bina Marga tahun 2018 telah memberi batasan nilai kekuatan CBR untuk tanah dasar (*subgrade*) minimal 6%. Tanah di 38B Desa Banjarejo Kecamatan Batang hari, Kabupaten Lampung Timur perlu dilakukan analisis lebih lanjut karena terindikasi sebagai tanah lempung. Dari pengujian di laboratorium Fakultas Teknik Sipil, Universitas muhammadiyah metro, didapatkan nilai CBR tanah asli hanya sebesar 2,00%. Nilai tersebut sangat rendah bila digunakan sebagai Timbunan ataupun sebagai tanah dasar dalam sebuah konstruksi. Selanjutnya sampel tanah asli ditambahkan campuran *bottom ash* dan semen dengan kadar yang dicoba-coba (*triall and error*). Dari percobaan tersebut didapat penambahan campuran sebanyak 0%, 2,5%, 5%, dan 8% dari berat tanah asli. Penambahan terbaik yang dapat meningkatkan nilai CBR tanah asli ada pada komposisi 8% *bottom ash* dan semen dengan nilai CBR 6,17% dan 6,67%. Nilai CBR tersebut telah memenuhi persyaratan minimum CBR 6% yang dikeluarkan Bina Marga 2018 (Revisi 2).

Kata Kunci : Tanah Lempung, *Bottom Ash*, Semen, CBR

PENDAHULUAN

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terse mentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel- partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1994). Tanah berfungsi juga sebagai penahan beban akibat konstruksi di atas tanah dan seluruh beban lainnya yang kemudian dapat meneruskannya ke dalam tanah sampai ke lapisan atau kedalaman tertentu. Sehingga kuat atau tidaknya bangunan juga dipengaruhi oleh kondisi tanah yang ada.

Salah satu kekuatan dari suatu konstruksi perkerasan ditentukan oleh kualitas tanah dasar yang dipergunakan. Tanah dasar (*subgrade*) merupakan permukaan tanah asli atau tanah galian atau tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Kualitas tanah asli sebagai permukaan dasar (*subgrade*) sangat menentukan kekuatan jalan, jika tanah dasar mempunyai daya dukung rendah maka jalan akan cepat mengalami kerusakan. Perubahan tanah dasar dapat diakibatkan oleh kekuatan atau daya dukung yang rendah, pengembangan, penyusutan serta konsolidasi tanah dibawah tanah dasar. Faktor-faktor tersebut akan tergantung dari jenis tanah,

berat isi kering dan kadar air tanah. Salah satu jenis tanah yang kurang baik bagi perkerasan jalan adalah tanah lempung.

Alternatif perbaikan yang akan digunakan untuk mengatasi permasalahan diatas yaitu dengan meningkatkan nilai CBR tanah asli menggunakan bahan tambah (additive) abu ampas tebu dan semen. Abu ampas tebu mengandung garam-garam anorganik dan kaya akan silica (SiO_2) yang sangat potensial digunakan dalam bidang geoteknik terutama dalam perbaikan tanah. Adapun bahan kimia lainnya yang dijadikan sebagai bahan additive untuk melakukan stabilisasi tanah adalah Semen. Semen mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat fragmen-fragmen menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat.

Tanah dasar yang digunakan untuk penelitian ini diambil di ruas jalan Metro Gotong Royong Desa Terbanggi Subing, Kecamatan Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah karena terindikasi tanah lempung. Maka diperlukan penambahan material untuk membuat daya dukung tanah menjadi semakin tinggi. Struktur jalan pada daerah ini mengalami kerusakan berat seperti berlubang dan bergelombang. Salah satu fenomena yang melatar belakangi dilakukannya analisis ini, dikarenakan jalan tersebut merupakan jalan kabupaten yang dilalui kendaraan baik pribadi maupun kendaraan berat dengan tonase 2 ton sampai 8 ton.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Tanah (soil) merupakan lapisan tipis kulit bumi yang terbentuk dari proses pelapukan batuan induk yang terjadi didekat permukaan bumi sehingga membentuk tanah. Dalam pengertian teknik, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat/butiran mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang

mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel padat tersebut. Tanah mempunyai ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda-beda antara tanah di suatu tempat dengan tempat yang lain.

Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem atau cara pengelompokan tanah berdasarkan sifat dan ciri tanah yang sama atau hampir sama, kemudian diberi nama agar mudah dikenal, diingat, dan dibedakan dengan tanah-tanah lainnya. 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. Klasifikasi bermaksud membagi tanah menjadi beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang serupa diberi simbol nama yang sama.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (Unified Soil Classification System) dan AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

Tanah Lempung

Tanah lempung terdiri dari berbagai golongan tekstur yang agak susah dicirikan secara umum. Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak di antara sifat tanah pasir dan liat. Tanah lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm. Namun demikian, dibeberapa kasus, partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung. 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, kemampatan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai gaya geser yang kecil.

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Adapun tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga sifat teknis tanah menjadi lebih baik. 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 :

- a. Meningkatkan kerapatan tanah.
- b. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
- c. Menambah bahan yang menyebabkan perubahan kimiawi dan fisis tanah.
- d. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
- e. Mengganti tanah yang buruk.

Tipe-Tipe Stabilisasi

Pada umumnya tipe atau cara yang digunakan untuk stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi tiga yaitu :

a. Stabilisasi Alam

Stabilisasi alami merupakan jenis stabilisasi yang terjadi karena proses alam sehingga tidak membutuhkan perlakuan khusus dalam memperbaiki sifat mekanis tanah. Contoh tanah memadat akibat berat sendiri, resapan air hujan, penyusutan air akibat penguapan, akar tanaman dan lain- lain.

b. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis atau mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah yang bergradasi berbeda secara proporsional yang diikuti dengan proses pemadatan, untuk mendapatkan kepadatan maksimum. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk ditempat dan menggantinya dengan material granular dari tempat lain. Menurut Lambe (1962) stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat- sifat tanah :

- 1) Penyusunan kembali partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu dan pemadatan.
- 2) Penambahan atau penyingkiran partikel tanah. Contohnya lempung berpasir dicampur dengan kerikil untuk memenuhi daya dukung di jalan tertentu.

c. Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi dengan bahan tambah atau dapat disebut juga stabilisasi kimiawi yaitu stabilisasi menggunakan bahan kimia untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia, dan menghasilkan senyawa baru yang bersifat stabil. Bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Metode ini dapat menggunakan larutan kimia/bubuk kimia, yang dicampurkan dengan tanah yang akan diperbaiki, dengan beberapa metode pencampuran yang disesuaikan dengan kondisi bahan pencampur maupun kondisi tanahnya. Contoh : Kapur, semen portland, abu terbang (fly ash) aspal dan lain-lain.

Bottom ash

Bottom ash dan Fly ash (FABA) merupakan limbah hasil sisa pembakaran

batu bara dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). FABA Yang di hasilkanakan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik yang harus di penuhi. Komposisi FABA umum berupa silika, alumina, oksida besi dan senyawa oksida lainnya. Abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara berpotensi secara ekonomis karena mengandung beberapa unsur berharga antara lain Ge, Ga, Unsur tanah Jarang (REY), Nb, zr, V, Re, Au, Ag, dan logam. Secara fisik, FABA berbentuk seperti debu halus yang mirip dengan abu dari gunung vulkanik (Berapi). Perbedaanya terletak pada tingkat kehalusan, tekstur FABA Lebih halus jika di dibandingkan dengan abu vulkanik.

Semen

Semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non- hidrolis. Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen portland, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air. Sifat pengikatan semen ditentukan oleh susunan kimia yang dikandungnya. Adapun bahan utama yang dikandung semen adalah kapur (CaO), silikat (SiO₂), alumunia (Al₂O₃), ferro oksida (Fe₂O₃), magnesit (MgO), serta oksida lainnya.

Pengaruh bottom ash Kekuatan Tanah

Bottom Ash adalah abu yang diperoleh dari hasil proses pembakaran batu bara. Dari proses pembakaran ini menghasilkan kandungan Bottom ash memiliki sifat pozolanik yang dapat digunakan sebagai pengikat jika bereaksi dengan air sehingga tepat digunakan sebagai bahan stabilisasi. Selain itu penggunaan bottom ash ini juga

dapat mengurangi limbah industri yang masih kurang pemanfaatannya, sehingga diharapkan dapat menjadi alternatif dalam peningkatan daya dukung tanah. Penambahan bottom ash terhadap nilai CBR pada stabilisasi tanah mempunyai kecenderungan semakin meningkat.

Pengaruh Semen Terhadap Kekuatan Tanah

Konsentrasi semen dalam campuran sangat mempengaruhi kekuatan campuran. Kekuatan campuran soil cement dapat diketahui dengan melakukan tes CBR (California Bearing Ratio). Pengaruh konsentrasi semen terhadap kekuatan yaitu semakin besar jumlah kadar semen dalam campuran maka semakin tinggi pula nilai kekuatannya, dan hal tersebut dipengaruhi juga oleh tanah yang digunakan (Nuraini, 2002). Terbentuknya kimia dalam campuran tanah semen dinilai dapat memberikan efek pengerasan pada tanah yang distabilisasi.

Parameter Sifat Mekanis Tanah

Adapun parameter tanah didapatkan dari hasil pengujian laboratorium maupun dari hasil interpolasi data-data tanah yang sudah ada. Hasil dari parameter inilah yang menjadi masukan untuk pengukuran dan analisa selanjutnya, meliputi :

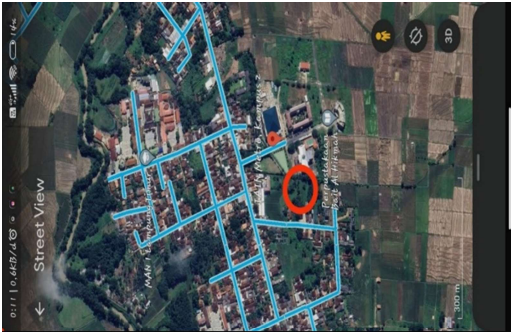
- a. Kuat Geser Tanah
- b. Cohesi Tanah (c)
- c. Sudut Geser Dalam Tanah
- d. Kuat Tekan Bebas
- e. Batas-Batas Attererg Tanah
- f. Pemadatan Tanah
- g. CBR Tanah

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Sampel tanah diambil dari lokasi yang berada di 38B Banjarejo, kecamatan Batang hari, Kabupaten Lampung Timur. Lokasi pengambilan sampel tanah ditandai dengan lingkaran warna merah pada gambar dibawah ini. Untuk lokasi

lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar sebagai berikut :

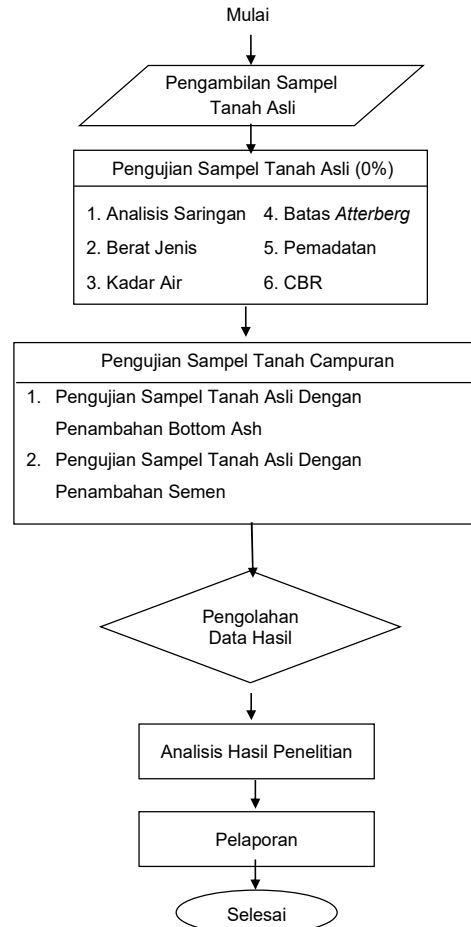


Gambar 1. (Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah, 2024) (Sumber : Google Map)

Desain penelitian

Desain penelitian menjelaskan metode yang digunakan adalah metode penelitian di laboratorium, kegiatan penelitian ini menggunakan Bottom ash dan semen sebagai bahan untuk meningkatkan daya tanah lempung. Sampel yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Desa 38B Banjarejo Kecamatan Batang Hari Kabupaten Lampung Timur.

Kemudian sampel tersebut dibawa ke Laboratorium Universitas Muhammadiyah Metro - Lampung untuk melalui beberapa jenis pengujian tanah seperti yang dibuat pada diagram desain penelitian diatas, yang meliputi pengujian fisis tanah yang berupa pengujian kadar air, berat jenis, pengujian atterberg, analisis saringan, pengujian pemadatan dan CBR. Dari pengujian tersebut didapatlah hasilnya dan dilakukan pengolahan data serta menganalisis data-data tersebut terhadap topik penelitian sampai dengan laporan penelitian atau skripsidan semen.



Gambar 2. Alur penelitian, Ilham Nurhasbi, 2024)

Tahapan Penelitian Teknik Sampling

Untuk melakukan penelitian ini, hal yang perlu dilakukan pertama kali adalah pengambilan sampel tanah dan bahan tambahan atau campuran. Untuk metode yang dilakukan dalam pengambilan contoh tanah adalah dengan cara pengambilan tanah terganggu (*disturb soil*). Sampel tanah yang diambil tersebut digunakan untuk meliputi pengujian kadar air, berat jenis, pengujian *atterberg*, analisis saringan, pengujian pemadatan Dan pengujian CBR. Pengambilan sampel tanah dilakukan di Desa 38B Banjarejo Kecamatan Batang Hari Kabupaten Lampung Timur. kemudian contoh tanah tersebut dicampur menjadi satu, sampel tanah cukup dibawa dengan cara

memasukan ke dalam karung plastik atau pembungkus lainnya.

Tahapan

Metode pencampuran untuk masing-masing presentasi abu limbah *bottom ash* dan semen dicampur dengan sampel tanah yang lolos saringan No. 4 (4,75mm) adalah :

Penambahan bahan *additive* antara abu *bottom ash* dan semen dilakukan dengan cara coba-coba (*trial and error*) terhadap masing-masing sampel tanah asli untuk mendapatkan persentase kadar terbaik hingga didapatkan nilai CBR yang disyaratkan yaitu 6% (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, Revisi 2).

Pengujian sampel Tanah

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro. Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian pengujian yaitu pengujian untuk tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi.

Definisi Operasional Variabel

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang sudah ditetapkan oleh peneliti untuk di pelajari sehingga mendapat informasi tentang hal tersebut, kemudian bisa di tarik menjadi sebuah kesimpulan untuk membantu menentukan alat pengumpulan data dan teknik analisa data. (Bungin, 2014).

1. Variabel terikat Y adalah peningkatan sifat mekanis tanah lempung (yang dipengaruhi)
2. Variabel bebas X adalah penggunaan *bottom ash* dan semen (yang mempengaruhi).

Instrumen Penelitian

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*, uji CBR dan peralatan lainnya yang ada di

Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Metro yang telah sesuai dengan standarisasi *American Society for Testing Material* (ASTM).

Bahan

- a. Sampel tanah yang diambil di Desa 38B Banjarejo Kecamatan Batang Hari Kabupaten Lampung Timur yang tergolong dalam jenis tanah lempung.
- b. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Metro.
- c. *Bottom Ash* yang didapat dari PT Surya Bukit *Energy* Lampung Selatan yang akan digunakan sebagai media stabilisasi tanah di laboratorium.
- d. *Portland Cemen* yang digunakan sebagai bahan dalam penelitian ini adalah semen *holcim* dalam kemasan 50 kg/zak yang diperoleh dari toko bangunan.

Teknik Analisis Data

Semua hasil yang didapat dari pelaksanaan penelitian akan ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik hubungan/korelasi serta penjelasan-penjelasan yang didapat dari :

- a. Hasil dari pengujian sampel tanah asli tanpa campuran (0%) akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan digolongkan berdasarkan sistem klasifikasi tanah AASHTO.
- b. Dari hasil pengujian CBR Laboratorium terhadap masing-masing campuran *Bottom Ash* dan semen ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik hasil pengujian.
- c. Dari hasil pengujian parameter CBR terhadap nilai kekuatan daya dukung dan stabilitas campuran pada masing-masing perilaku akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan nilai CBR. Dari tabel dan grafik nilai CBR tersebut maka akan didapatkan penjelasan perbandingan

- peningkatan terhadap masing-masing perilaku CBR-nya.
- d. Dari hasil pengujian berat jenis yang didapatkan akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Dari tabel dan grafik nilai berat jenis tersebut maka akan didapatkan penjelasan perbandingan antara berat jenis tanah asli dan tanah yang telah dicampur oleh *Bottom ash* dan semen.
 - e. Dari hasil pengujian batas-batas atterberg yang terdiri dari batas cair (LL), batas plastis (PL) dan indeks plastisitas (PI) ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Dari tabel dan grafik tersebut maka akan didapatkan penjelasan perbandingan antara tanah asli dan tanah yang telah ditambahkan abu ampas tebu dan semen terhadap nilai batas cair dan batas plastisnya (batas *atterberg*).
 - f. Dari seluruh analisa hasil penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan berdasarkan tabel dan grafik yang telah didapatkan.

HASIL PENELITIAN

Pengujian tanah asli dilakukan bertujuan untuk memperoleh data dan informasi parameter sifat fisik maupun mekanik tanah pada lokasi penelitian, selanjutnya parameter-parameter tersebut akan digunakan sebagai bahan analisis dalam pengujian tanah campuran. Pengujian sifat fisik atau propertis tanah meliputi pengujian analisis saringan, kadar air, berat jenis dan batas-batas *atterberg*. Sedangkan pengujian mekanis meliputi Pengujian pemadatan dan CBR. Pengujian-pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Metro.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli

	Pengujian	Hasil
1.	Analisis Saringan	
	Lolos Saringan No.200 (%)	5,23 %
2.	Kadar Air (w)	19,62 %

3.	Berat Jenis (Gs)	1,28 gr/cm ³
4.	Batas Atterberg	
	a. Batas Cair (LL)	55,00 %
	b. Batas Plastis (PL)	48,54 %
	c. Indeks Plastisitas (PI)	6,46 %
5.	Pemadatan (<i>Modified</i>)	
	a. Kadar Air Optimum (OMC)	12,85 %
	b. Berat Isi Kering Maksimum (γ_{dmaks})	1,80 gr/cm ³
6.	Nilai CBR desain	2,43 %

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Hasil Pengujian Pemadatan Tanah (*Modified*)

Tujuan Pengujian pemadatan adalah untuk menentukan nilai kepadatan maksimum γ_{dmax} dan kadar air optimum (OMC) dari suatu sampel tanah, Pengujian dilakukan terhadap 5 sampel uji tanah yang divariasikan kadar airnya sehingga didapatkan kadar air optimum dan berat kering maksimum. Jika penambahan air pada interval tertentu membuat sampel mengalami penurunan, itu disebabkan oleh rongga pori yang sebelumnya terisi butiran tanah padat diisi oleh air.

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Campuran Semen

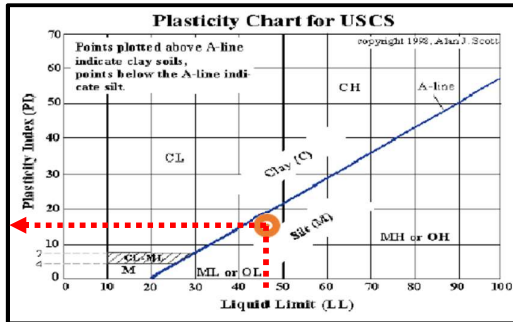
Sample Campuram	OMC	γ_{dmaks}
Tanah+semen 2,5%	12,55 %	0,85 %
Tanah+semen 5%	17,95 %	0,80 %
Tanah+semen 8%	20,98 %	0,82 %

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Hasil Klasifikasi Tanah

Dari hasil pengujian sifat fisik tanah asli pada Tabel 2 diatas dapat digunakan untuk

mengetahui klasifikasi tanah menurut USCS



Gambar 3. Diagram Plastisitas USCS

Menurut sistem klasifikasi USCS, hasil pengujian sifat fisik tanah asli menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki nilai batas cair (LL) rata-rata 49,33 % (< 50 %), dan nilai indeks plastisitas rata-rata sebesar 12,38 %. Apabila nilai tersebut diplotkan pada diagram plastisitas (Gambar 3) maka tanah tersebut masuk dalam kelompok OL yaitu Lempung organik dengan plastisitas rendah sampai sedang. Tanah jenis ini memiliki sifat fisik yang dipengaruhi dengan bahan organik yang terpisah. Menurut sistem klasifikasi AASHTO, persentase lolos saringan no. 200 adalah 40,09% ($\square 35$ %) secara umum tanah termasuk kelompok lempung, hasil pengujian batas cair (LL) adalah 49,33% ($\square 41$ %), nilai indeks plastisitas (PI) adalah 12,38 % ($\square 11$ %). Selanjutnya jika ditinjau dari rumus $PI > LL - 30$ ($12,33 > 19,33$ %) maka sampel tanah termasuk kelompok A-7-6. Tanah golongan ini termasuk dengan penilaian biasa sampai buruk.

Hasil Pengujian Tanah Campuran

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR pada tanah asli yang diberi bahan tambah berupa bottom ash dan semen dengan persentase penambahan yang di coba-coba (*trial and error*). Pengujian dilakukan pada semua titik pengamatan dengan perlakuan yang sama pada pengujian tanah asli. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3

Berdasarkan data tabel tersebut, selanjutnya dibuat grafik hubungan antara nilai CBR dengan persentase penambahan bottom ash dan semen.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian pemadatan Campuran *bottom ash*

Sample campuran	% Campuran	OMC	γ_{dmax}
Tanah + Bottom ash	2,5%	19,90	1,55
Tanah + Bottom ash	5%	11,00	1,80
Tanah + Bottom ash	8%	19,40	1,60

Sumber : Hasil pengujian Laboratorium

Pengujian pemadatan tanah untuk sampel tanah campuran dilakukan dengan *modified proctor* dengan variasi kadar abu tebu dan semen yang berbeda yaitu 0%, 2,5%, 5%, 8%, Dari pengujian ini akan didapat nilai kadar air optimum (OMC) serta berat isi kering maksimum (γ_{dmax}). Adapun hasil pengujian pemadatan tanah campuran dengan penambahan *bottom ash* dan semen pada tanah lempung, menunjukkan perubahan pada nilai berat isi kering (γ_d) dan OMC. Semakin besar persentase penambahan *bottom ash* maupun semen semakin meningkat pula nilai berat isi kering maksimum (γ_{dmax}) Hal ini disebabkan adanya *bottom ash* maupun semen.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Campuran *bottom ash* dan semen.

Campuran	Kadar Campuran	0,1 inc	0,2 inc
Tanah + Bottom ash	2,5%	2,23 %	2,49%
Tanah + Bottom ash	5 %	2,90 %	2,93%,
Tanah + bottom aash	8%	6,17%	4,78%
Tanah + semen	2,5%	4,33%	4,44%
Tanah + semen	5%	4,93%	5,56%
Tanah + semen	8%	6,67%	8,44%

Sumber : Hasil pengujian Laboratorium

Jika dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli, nilai CBR dari percobaan yang dilakukan selalu mengalami peningkatan seiring bertambahnya campuran *bottom ash* dan semen yang dipergunakan. Hal ini dikarenakan adanya reaksi perekatan butiran tanah oleh abu tebu dan semen yang menyebabkan tanah semakin padat dan keras, selain itu, rongga-rongga pori yang ada sebagian akan terisi oleh bahan campuran yang lebih keras dan lebih sulit hancur atau berubah bentuk. *bottom ash* juga memiliki sifat *pozolanic* yang dapat digunakan sebagai pengikat jika bereaksi dengan air sehingga tepat digunakan sebagai bahan stabilisasi.

Dari hasil Tabel dan Grafik di atas hubungan nilai CBR dengan persentase penambahan *bottom ash* dan semen yang sesuai syarat minimum CBR 6% diperoleh pada campuran 8% yang menghasilkan nilai CBR desain dengan rata-rata *bottom ash* 6,17% dan semen 6,67% lebih dari 3 kali lipat CBR tanah asli.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tanah lempung ekspansif dari desa 38B Desa Banjarejo, Kecamatan Batang hari, Kabupaten Lampung Timur yang di tingkatkan dengan menggunakan Campuran abu dasar (*bottom ash*) dan semen dapat diambil kesimpulan sebagai berikut;

1. Hasil dari uji penelitian ini bahwasanya Semakin Besar penambahan (*bottom ash*) pada tanah lempung ekspansif maka nilai CBR semakin meningkat. Sedangkan semakin kecil penambahan abu dasar (*bottom ash*) maka turun CBR nya. Hasil penilaian CBR untuk tanah lempung dengan Penambahan Campuran abu dasar (*bottom ash*) sebesar 0%, 2,5%, 5%, 8%. di Campuran 8% yang mendapatkan nilai CBR sebesar 6,17%.
2. Untuk memenuhi persyaratan CBR sebagai timbunan untuk tanah dasar

(*Subgrade*) dalam sebuah konstruksi dengan nilai batas minimum CBR 6% di kutip dari buku Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2), maka di butuhkan Penambahan abu dasar (*Bottom Ash*) kurang Lebih sebesar 8%.

3. Peningkatan nilai CBR di pengaruhi oleh komposisi kimia abu dasar (*bottom ash*) bersifat *pozolanic* mampu mengisi ronggan-rongga tanah yang mulanya berisi udara dan air serta dapat memberikan ikatan antara butiran tanah yang menyebabkan tanah menjadi lebih padat.
4. Dalam penelitian peningkatan sifat mekanis tanah lempung menggunakan campuran semen sebesar 0%, 2,5%, 5% dan 8% dari berat tanah asli. Penambahan terbaik yang dapat meningkatkan nilai CBR tanah asli ada pada komposisi 8% semen dengan nilai CBR 6,67%. Nilai CBR tersebut telah memenuhi persyaratan minimum CBR 6% yang dikeluarkan dari bina marga 2018 (Revisi 2).

DAFTAR PUSTAKA

- Yusuf Amran1, Rizki Sadiya. (2019). Analisis Peningkatan Sifat Mekanis Tanah Dasar Menggunakan Campuran Abu Limbah Ampas Tebu Dan Semen. Vol. 9 No. 1, November 2019, 15, 74-83.
- Mak'sudah, A. N., Saputro, Y. A., & Rochmanto, D. (2023). Stabilisasi Campuran Fly Ash, Bottom Ash, Dan Semen Terhadap Pengaruh Nilai Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test). Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur, 11(1).
- Nugroho, S. A., & Satibi, S. (2022). Analisis Peningkatan Nilai Cbr Lempung Plastisitas Tinggi Terstabilisasi Semen Dan Abu Dasar. Prokons: Jurnal Teknik Sipil, 16(1), 26-33.

- Sihotang, J. B. (2016). Kajian Efektifitas Penggunaan Semen dan Bottom Ash terhadap Stabilitas Tanah Lempung ditinjau dari Nilai UCT (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Apriyanti, Y. (2013). Peningkatan Nilai Cbr Tanah Lempung Dengan Menggunakan Semen Untuk Timbunan Jala. In Forum Profesional Teknik Sipil (Vol. 1, No. 2, p. 56191). Bangka Belitung University.
- Kholis, N., Gunarti, A. S. S., & Sylviana, R. (2018). Stabilisasi tanah lempung menggunakan semen dan renolith. BENTANG: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 6(1), 62-77.
- Andriani, A., Yuliet, R., & Fernandez, F. L. (2012). Pengaruh penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung daerah lambung bukit terhadap nilai CBR tanah. Jurnal Rekayasa Sipil, 8(1), 29-44.
- ASTM D 2487-66T. Standart Classification Of Soil For Engineering.
- ASTM D 1883-87. California Bearing Ratio
- SILFA, N. P. (2023). Upaya Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar (Subgrade) Dengan Menggunakan Campuran Fly Ash, Bottom Ash Dan Silika.
- Prahesti, M. W., Sholeh, M., & Riyanto, S. (2021). Pengaruh Penambahan Bottom Ash Terhadap Nilai Cbr Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Di Badean, Bondowoso. Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK), 2(2), 163-166.
- Putri, N. (2016). Pemanfaatan bottom ash dari pembakaran batubara sebagai soil stabilizer dengan metode solidifikasi. SKRIPSI-2008.
- Fitria, A., Mulizar, M., & Yunus, Y. (2022). Kajian Penambahan Fly Ash Dan Semen Pada Urugan Pilihan Untuk Lapisan Base Perkerasan Jalan. Jurnal Sipil Sains Terapan, 5(02).