

PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP NILAI KUAT TEKAN BEBAS PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH MAGETAN JAWA TIMUR

THE INFLUENCE OF FLY ASH TO UNCONFINED COMPRESSION VALUE IN THE AREA OF EXPANSIVE CLAY MAGETAN EAST JAVA

Arinda Leliana)¹, Nur Andajani)²

)¹ Mahasiswa Prodi Pendidikan Teknik Bangunan, Jurusan Teknik Sipil-FT, Universitas Negeri Surabaya
arindaleliana21@gmail.com

)² Tenaga Akademik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Nurandajani.unesa@gmail.com

Abstrak

Tanah mempunyai peranan yang sangat penting pada suatu pekerjaan konstruksi, baik itu konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan. Sifat-sifat tanah yang buruk yang sering menimbulkan masalah dan kurang menguntungkan bila digunakan sebagai dasar suatu bangunan atau konstruksi antara lain, plastisitas yang tinggi, kekuatan geser yang rendah, kemampuan atau perubahan volume yang besar dan potensi kembang susut yang besar. Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap perubahan kadar air dan mempunyai sifat kembang susut yang sangat tinggi, sehingga dapat menyebabkan penurunan kuat tekan tanah. Berbagai cara digunakan untuk memperbaiki kekuatan dari tanah lempung ekspansif, diantaranya dengan penambahan bahan kimia (stabilisasi secara kimiawi).

Guna mengatasi permasalahan yang ada pada tanah lempung ekspansif maka diadakan penelitian dengan menggunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan stabilisasinya. Penelitian ini dilakukan guna untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan *fly ash* pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai kuat tekan bebas guna untuk memperbaiki kekuatan tanah pada pondasi dangkal. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium yang meliputi beberapa pengujian antara lain uji berat jenis butiran tanah, uji *Atterberg* terdiri dari uji batas cair (LL) dan uji batas plastis (PL) untuk mendapatkan nilai index plastis (IP), uji pemadatan tanah sehingga diperoleh nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum yang kemudian nilai tersebut di gunakan untuk uji kuat tekan bebas. Benda uji yang digunakan yaitu tanah lempung ekspansif dengan komposisi perbandingan campuran *fly ash* sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahan stabilisasi *fly ash* dapat memperbaiki sifat fisik dan sifat mekanik tanah lempung ekspansif. Nilai kuat tekan bebas yang paling efektif sebesar 4,041gr/cm² pada penambahan *fly ash* 10% dari tanah asli, dengan presentase kenaikan sebesar 46,68% per 10% (1% nya naik 4,67%) dan tergolong tanah lempung sangat kaku. Penambahan *fly ash* pada tanah lempung akan mengakibatkan peningkatan daya dukung tanah yang sebanding dengan peningkatan kuat tekan tanah.

Kata Kunci: tanah lempung ekspansif, *fly ash*, nilai kuat tekan bebas

Abstract

Land has a very important role on a construction job, whether it is construction or road construction. The characteristic of soil properties which often cause problems and less profitable when used as basic of building or construction, among others, high plasticity, low shear strength, congestion or large volume change and great potential swelling. Expansive clays is a soil that has a high level of sensitivity to changes in moisture content and has a very high shrink swell, so that it can cause a decrease in unconfined compression soil. Various ways are used to improve the strength of expansive clay, including the addition of chemicals (chemical stabilization).

In order to overcome the existing problems on expansive clay then conducted research using fly ash as a stabilization material. This research was conducted in order to determine how much influence the addition of fly ash on expansive clay to the compressive strength in order to improve the strength of free land in the shallow foundation. This research was conducted in the laboratory experiments which includes several testing among others, *Specific Gravity test*, *Atterberg test* consists of LL (*Liquid Limit*) test and PL (*Plastic Limit*) test to get IP (*Index Plasticity*) value, *Standar Proctor test* so can be obtained value maximum density and water levels optimize wich then the value is used for *Unconfined Compression Test* (UCT). The test specimen used is expansive clay with a mixture of fly ash composition ratio of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% of the weight of the soil.

The results showed stabilization of fly ash material can improve the physical properties and mechanical properties of expansive clay. The unconfined compression value which most effective by 4,041gr/cm² at 10% addition of fly ash from the native land, with the percentage be on increase 46,68% per 10% (the 1% increase to 4,67%) and classified as very stiff clay soils. The addition of fly ash in clay soils will increase the carrying capacity of the land which is proportional increase the compressive strength of the soil.

Keywords: expansive clays soil, fly ash, unconfined compression value

PENDAHULUAN

Tanah mempunyai peranan yang sangat penting pada suatu pekerjaan konstruksi. Dimana tanah merupakan tempat diletakkannya pondasi untuk mendukung struktur bangunan maupun konstruksi jalan. Salah satu masalah yang cukup sering dijumpai di dalam bidang teknik sipil adalah tanah lempung. Masalah tanah lempung ini telah menimbulkan banyak kerugian yang tidak sedikit, terutama pada struktur atau konstruksi dan jalan raya.

Di Indonesia, ditinjau dari kejadian tanahnya, masalah tanah ekspansif merupakan masalah serius yang harus diantisipasi sejak dini. Meskipun kerusakan yang diakibatkan tidak bersifat mendadak dan langsung seperti akibat gempa bumi, tetapi karena kerugian secara materi yang diakibatkan cukup besar, maka perlu dilakukan usaha-usaha untuk mengurangi kerusakan dan resiko yang mungkin terjadi. Tanah Ekspansif adalah tanah yang mudah mengalami perubahan volume karena mempunyai potensi kembang susut yang sangat tinggi, sehingga sering menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan di atasnya.

Berbagai macam cara digunakan memperbaiki kekuatan dari tanah lempung ekspansif diantaranya dengan penambahan bahan kimia (stabilisasi secara kimiawi). Pada penelitian ini peneliti menggunakan *Fly Ash* sebagai bahan stabilisasi. Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimanakah pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u) pada tanah lempung ekspansif di daerah Magetan Jawa Timur. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil seberapa besar pengaruh penambahan *fly ash* pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u) guna untuk memperbaiki kekuatan tanah pada pondasi dangkal.

KAJIAN PUSTAKA

A. Pengertian Tanah

Tanah, pada kondisi alam, terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran tersebut dapat dengan mudah dipisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Material ini berasal dari hasil pelapukan batuan, baik

secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut. Suatu elemen tanah pada prinsipnya terdiri dari air, udara, dan butiran tanah yang padat (*solid*).

B. Tanah Lempung Dan Mineralnya

Tanah lempung adalah tanah yang mempunyai sifat kembang susut, sifat kembang susut ini sangat di pengaruhi oleh kandungan air dan mineral lempung yang ada di dalam tanah tersebut. Sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, jika basah akan bersifat lunak plastis, kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Lempung merupakan tanah berbutir halus koloidal yang tersusun dari mineral-mineral yang dapat mengembang.

Lempung ekspansif memiliki sifat khusus yaitu kapasitas pertukaran ion yang sangat tinggi yang apabila terjadi perubahan kadar air. Jika kadar air bertambah, tanah lempung ekspansif akan mengembang disertai dengan kenaikan tekanan air pori dan tekanan pengembangannya. Sebaliknya, jika kadar air turun sampai dengan batas susutnya, lempung ekspansif akan mengalami penyusutan yang cukup tinggi. Mineral utama pembentuk tanah lempung adalah *montmorillonite*, *illite*, dan *kaolinite*. Pelapukan pada batuan menghasilkan sejumlah besar mineral lempung dengan sifat daya gabung (*affinity*) yang sama terhadap air, tetapi dalam jumlah yang sangat berbeda (Braja M. Das, 1988:9).

C. Tanah Lempung Ekspansif

Tanah ekspansif atau juga disebut dengan istilah tanah kembang susut (*swelling soils*), adalah fenomena kembang susut yang hebat, sebagai akibat adanya perubahan atau modifikasi kadar air di dalam tanah tersebut. Fenomena penyusutan (*shrink*) adalah suatu proses berkurangnya kadar air pada pori-pori tanah sehingga tanah mengalami penyusutan volume. Pada fenomena kembang susut volume tanah bertambah dan nilai kohesi menurun dikarenakan air berpenetrasi masuk kedalam ruang pori antar partikel sehingga volume tanah meningkat, terutama pada lempung *montmorillonite*. Sebaliknya pada lempung *kaolin* yang nonekspansif air

tidak dapat berpenetrasi masuk kedalam ruang pori antar lapisan.

Pemuaian lempung terjadi ketika kadar air bertambah dari nilai referensinya. Penyusutan terjadi ketika kadar air berkurang dari nilai referensinya sampai pada batas susut. Biasanya suatu tanah lempung dapat diperkirakan akan mempunyai perubahan volume yang besar (*expansive*) apabila indeks plastisitas $IP \geq 20$ (Bowles, 1984:212).

Besarnya kembang susut dari tanah lempung tidak sama satu sama lainnya. Tanah lempung yang banyak mengandung *kaolin* akan mengembang dan menyusut relatif kecil, sedang yang mengandung banyak *montmorillonite* (mineral-mineral lain dari *smectite* group) akan mengalami kembang susut yang besar. Menurut Constet dan Sangrelat 1981, dalam Kiki (2013:9) mengungkapkan bahwa kita dapat mengevaluasi *swelling* potensial dari variasi harga IP dengan cara:

Tabel 1. Besarnya Harga IP dan Golongan Swelling Potensial

Klasifikasi tanah ekspansif	IP	Swelling preassure Kpa
Lemah	0-15	50
Sedang	15-25	150-250
Tinggi	25-55	250-500
Sangat Tinggi	>55	>1000

(Constet dan Sangrelat, 1981)

D. Stabilisasi Tanah

Dalam pengertian luas, yang dimaksud stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula, stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu (Hary C. Hardiyatmo, 2010:1). Cara stabilisasi ini terbagi menjadi 2, yaitu: 1. Stabilisasi Kimia adalah stabilisasi yang menggabungkan suatu unsur yang lain dengan tujuan mendapatkan unsur yang baru; 2. Stabilisasi Mekanis adalah stabilisasi dengan cara mencampurkan secara langsung antara tanah yang jelek dengan tanah yang baik, dengan tujuan agar mendapatkan tanah yang baik.

E. Stabilisasi Dengan Fly Ash

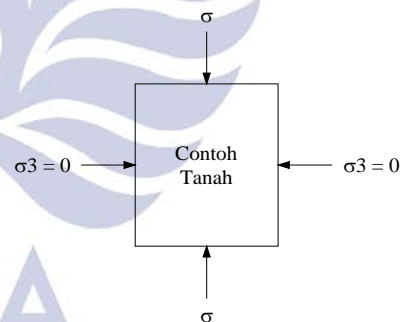
Fly Ash merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh aliran gas pembakaran serta ditangkap dengan menggunakan *elektrostatic precipitator*. Material sisa pembakaran ini, antara lain berupa abu dasar (*bottom ash*), terak (*slag*), dan abu terbang (*fly ash*). *Fly ash*

merupakan bagian dari residu yang butirannya relative sangat kecil (Hary C. Hardiyatmo, 2010:171).

Klasifikasi *Fly ash* Menurut Collins, 1988 dalam Hary C. Hardiyatmo, 2010:174, klasifikasi yang dicantumkan dalam ASTM C 618 didasarkan pada sumber dari asal batubara dan kadar oksida dari elemen pembentuk utamanya sehingga *Fly ash* dibedakan menjadi: *Fly ash* kelas F, *Fly ash* kelas C, *Fly ash* kelas N. Sifat-sifat *fly ash* menurut EPRI, 1992 dalam Hary C. Hardiyatmo, 2010:173, *Fly ash* mempunyai sifat-sifat *pozzolanik*. Sifat dari *fly ash* bervariasi dan bergantung pada sumber batubaranya, antara lain: derajat persiapan batubara, pembersihan dan penghancuran, tipe, perancangan dari oprasi pabrik pembangkit unit ketel, kondisi selama pembakaran, bahan tambah yang digunakan untuk membantu pembakaran dan lain-lain.

F. Kuat Tekan Bebas

Uji kuat tekan bebas merupakan uji kekuatan pada tanah dalam kondisi bebas. Kuat tekan bebas (q_u) adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15%. Percobaan *unconfined* terutama dilakukan pada tanah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*). Bila lempung mempunyai derajat kejenuhan 100%, maka kekuatan gesernya dapat ditentukan langsung dari nilai kekuatan *unconfined*.



Gambar 1 Sistem pengujian kuat tekan bebas

Pada pengujian kuat tekan bebas, tegangan penyekap σ_3 adalah nol. Tegangan aksial dilakukan terhadap benda uji secara relatif cepat sampai tanah mengalami keruntuhan. Pada titik keruntuhan, harga tegangan total utama kecil (total minor *principal stress*) adalah nol dan tegangan total utama besar adalah σ_1 (Braja M. Das, 1998). Pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, di mana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir ke luar dari benda ujinya. Pada lempung jenuh, tekanan air pori dalam benda uji pada awal pengujian negative (tegangan kapiler). Pada saat keruntuhannya, karena $\sigma_3=0$ maka :

$$\sigma_1 = \Delta_3 + \Delta_{\sigma_f} = \Delta_{\sigma_f} = q_u \quad (1)$$

Dengan q_u adalah kuat tekan bebas (*unconfined compression strength*) pada pengujian tekan bebas. Secara teoritis, nilai dari Δ_{of} pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial *unconsolidated-undrained* dengan benda uji yang sama. Jadi,

$$S_u = C_u = \frac{q_u}{2} \quad (2)$$

Di mana S_u atau C_u adalah kuat geser *undrained* dari tanahnya. Hubungan konsistensi dengan kuat tekan bebas tanah lempung dapat dilihat dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2 Hubungan antara konsistensi tanah dengan kekuatan tanah lempung pada *test unconfined compression (UCT)*.

Konsistensi Tanah Lempung	Harga q_u		
	(Ton/ft ²)	(kN/m ²)	(kg/cm ²)
Sangat lunak	0-0,25	0-23,94 (≈24)	<0,27
Lunak	0,25-0,50	24-48	0,27-0,54
Menengah	0,50-1	48-96	0,54-1,08
Kaku	1-2	96-192	1,08-2,16
Sangat kaku	2-4	192-383	2,16-4,32
Keras	<4	>383	>4,32

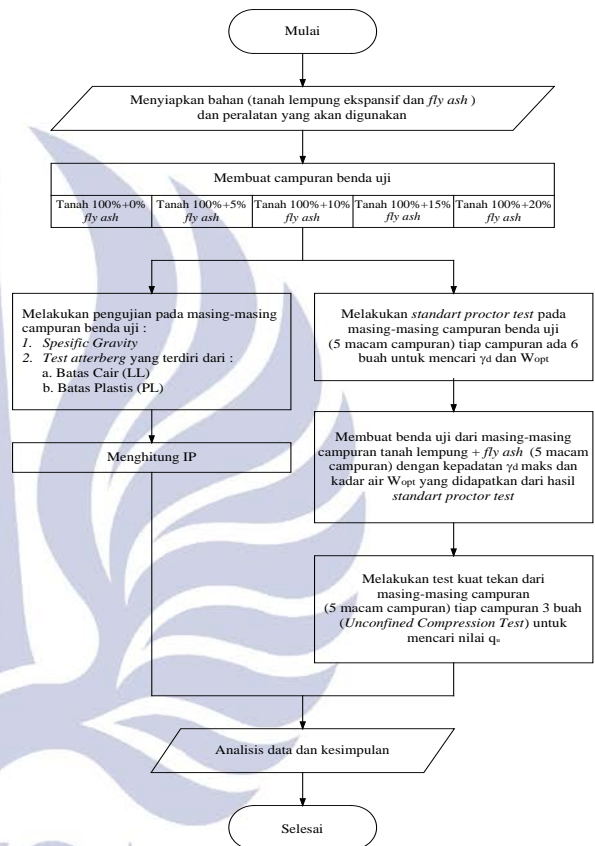
(Sumber: *Mekanika tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknis) jilid 2 oleh Braja M. Das, 1988*).

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Tempat penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya kampus ketintang Surabaya. Waktu penelitian ini dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2013/2014. Populasi dalam penelitian ini menggunakan tanah lempung ekspansif daerah Bogem Sukomoro Magetan. Sampel yang digunakan dalam penelitian yaitu 5 sampel campuran tanah lempung 100% dengan *fly ash* kelas F 0%, 5%, 10%, 15%, 20%.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif klasifikasi sangat tinggi, *Fly Ash*, kepadatan maksimum dan nilai kuat tekan. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah: 1. Uji Laboratorium yang meliputi beberapa pengujian meliputi, Uji *Specific Gravity* (G_s), Uji *Atterberg* terdiri dari test LL (*Liquid Limit*) dan tes PL (*Plastic Limit*) sehingga mendapatkan batas IP (*Index Plasticity*), Uji *Standar Proctor* (pemadatan tanah) untuk mendapatkan nilai γ_d maks, W_{opt} , Uji *Unconfined Compression Test* (UCT) untuk mengetahui nilai kuat tekan bebas (q_u). 2. Literatur/studi kepustakaan.

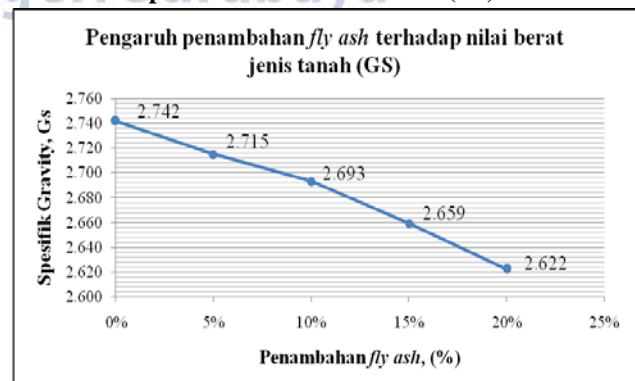
Teknis analisis data pada penelitian ini adalah dengan cara melakukan penelitian eksperimen di laboratorium yang hasilnya nanti berupa angka-angka. Data yang berupa angka-angka tersebut kemudian diolah dengan menggunakan teknik analisis secara deskriptif kuantitatif dengan menggunakan bantuan *Microsoft excel* yang kemudian disajikan dalam bentuk tabel, gambar atau grafik, sehingga dapat dianalisis dan dapat diketahui pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u) pada tanah lempung ekspansif.



Gambar 2 Diagram aliran pelaksanaan pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Penambahan Fly Ash pada Tanah Terhadap Nilai Berat Jenis Tanah (Gs)



Grafik 1 Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Berat Jenis Tanah

Grafik 1 menunjukkan hasil berat jenis pada tanah dengan penambahan 0% *fly ash* adalah 2,742gr/cm³, pada tanah dengan penambahan 5% *fly ash* nilai berat jenis tanah ini turun menjadi 2,715gr/cm³, tanah dengan penambahan 10% *fly ash* turun menjadi 2,693gr/cm³. Tanah dengan penambahan 15% *fly ash* turun menjadi 2,659 gr/cm³. Tanah dengan penambahan 20% *fly ash* turun menjadi 2,622gr/cm³.

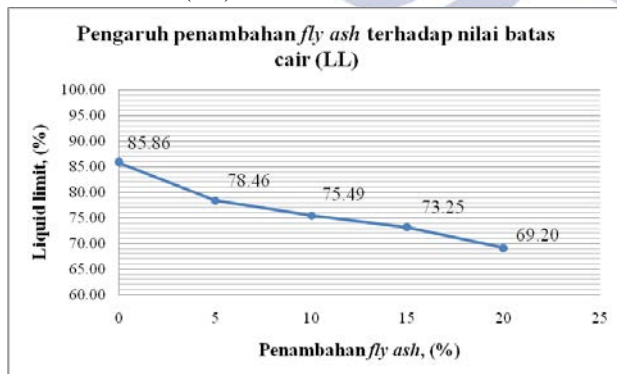
Penambahan Fly Ash (%)	Nilai Berat Jenis Tanah (gr/cm ³)	Prosentase Penurunan (%)
0	2.742	0
5	2.715	0.987
10	2.693	1.776
15	2.659	3.024
20	2.622	4.369

Tabel 3 Hasil Nilai Berat jenis Tanah dan prosentase penurunan

Penurunan ini disebabkan oleh pertukaran ion-ion yang ditimbulkan oleh *fly ash*, sehingga peristiwa ini akan menghasilkan perubahan tekstur (butiran tanah baru menjadi lebih besar) karena segmentasi/penggumpalan, yang kemudian akan memperbesar volume butiran serta menurunkan nilai *specific gravity*. Jadi semakin banyak penambahan *fly ash* pada tanah maka nilai berat jenis tanah (Gs) akan semakin turun.

B. Hasil Pengujian Penambahan Fly Ash pada Tanah Terhadap Test Atterberg

1. Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Batas Cair (LL)



Grafik 2 Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai batas cair (LL)

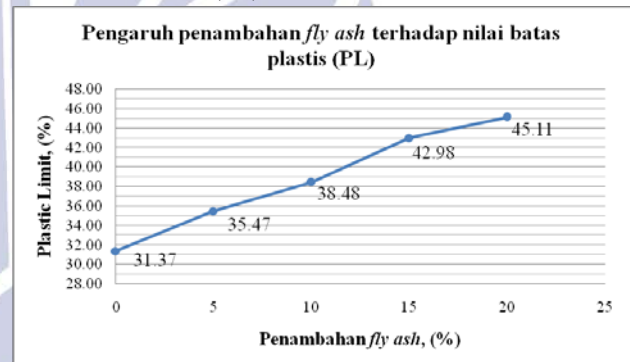
Grafik 2 menunjukkan penurunan nilai batas cair dari 85,859% menjadi 78,462%, setelah mengalami penambahan *fly ash* sebanyak 5% dari tanah asli. Tanah dengan penambahan 10% *fly ash* turun menjadi 75,491%. Tanah dengan penambahan 15% *fly ash* turun menjadi 73,254% dan tanah dengan penambahan 20% *fly ash* turun menjadi 69,199%.

Penambahan Fly Ash (%)	Nilai Batas Cair (LL) (%)	Prosentase Penurunan (%)
0	85.86	0
5	78.46	8.62
10	75.49	12.08
15	73.25	14.68
20	69.20	19.40

Tabel 4 Prosentase penurunan nilai batas cair (LL)

Penurunan tersebut dikarenakan penambahan *fly ash* dapat menimbulkan muatan positif dalam air pori. Penambahan kation ini dapat memungkinkan tarik menarik antara kation yang ada pada *fly ash* dengan anion yang ada pada permukaan tanah. Sebagian dari tanah akan cenderung mengikat *fly ash*, dengan begitu tanah akan lebih sedikit mengikat air. Semakin besar penambahan *fly ash* maka semakin besar pula penurunan nilai batas cair.

2. Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Batas Plastis (PL)



Grafik 3 Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai batas plastis (PL)

Dari grafik 3 menunjukkan terjadinya kenaikan nilai batas plastis tanah, kenaikan ini diakibatkan karena semakin besar penambahan *fly ash* maka nilai batas plastis tanah akan naik.

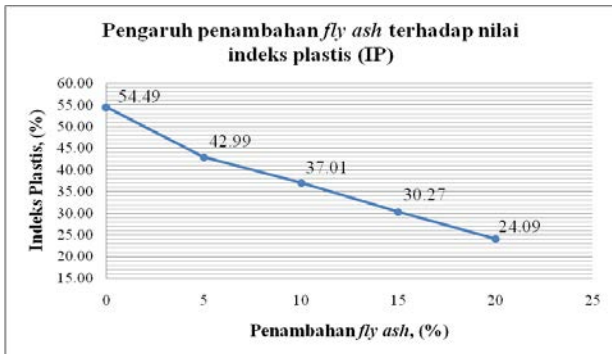
Penambahan Fly Ash (%)	Nilai Batas Plastis (PL) (%)	Prosentase Kenaikan (%)
0	31.37	0
5	35.47	13.07
10	38.48	22.66
15	42.98	37.01
20	45.11	43.81

Tabel 5 Prosentase kenaikan nilai batas plastis (PL)

Hasil pengujian nilai batas plastis pada tanah tanpa penambahan *fly ash* sebesar 31,371%, setelah mengalami penambahan *fly ash* 5% nilai batas plastis

pada tanah mengalami kenaikan menjadi 35,472%. Tanah dengan penambahan *fly ash* 10%, 15%, 20% secara berturut-turut mengalami kenaikan menjadi 38,480%, 42,982%, 45,113%.

3. Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Terhadap Nilai Indeks Plastis (IP)



Grafik 4 Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai indeks plastis (IP)

Penambahan <i>Fly Ash</i> (%)	Nilai Indeks Plastis (%)	Prosentase Penurunan (%)	Klasifikasi Tanah Ekspansif
0	54.49	0	Tinggi
5	42.99	21.10	Tinggi
10	37.01	32.07	Tinggi
15	30.27	44.44	Tinggi
20	24.09	55.80	Sedang

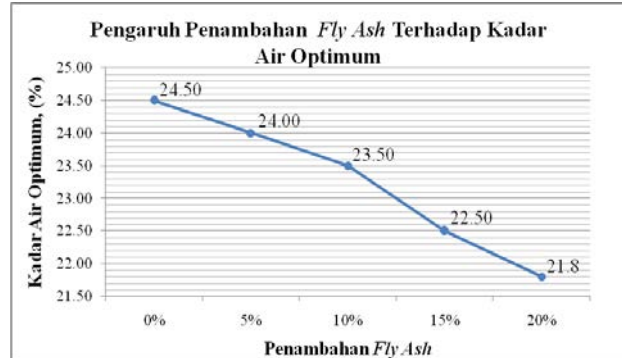
Tabel 6 Prosentase penurunan dan klasifikasi tanah indeks plastis

Hasil pengujian indeks plastis pada tanah asli termasuk klasifikasi tanah ekspansif tinggi yaitu sebesar 54,488%, setelah mengalami penambahan *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15% mengalami penurunan sebesar 42,990%, 37,011%, 30,272% dan masih termasuk dalam klasifikasi tanah ekspansif tinggi. Setelah mengalami penambahan *fly ash* sebesar 20% mengalami penurunan sebesar 24,085% termasuk dalam klasifikasi tanah sedang.

Penurunan indeks plastis tanah ini dikarenakan campuran tanah dan *fly ash* yang diberi air, sebagian air akan lebih memilih mengikat *fly ash* dan tanah lebih sedikit mengandung air, sehingga plastisitas tanah menjadi berkurang dan volume butiran tanah menjadi lebih besar yang diakibatkan karena terjadinya reaksi gumpalan. Semakin banyak penambahan *fly ash* maka nilai indeks plastis semakin menurun.

C. Hasil Pengujian Penambahan *Fly Ash* pada Tanah Terhadap Pematatan/Proctor Test

1. Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Terhadap Kadar Air Optimum



Grafik 5 Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kadar air optimum

Penambahan <i>Fly Ash</i> (%)	Kadar Air Optimum (%)	Prosentase Penurunan (%)
0	24.50	0
5	24.00	2.041
10	23.50	4.124
15	22.50	8.379
20	21.80	11.491

Tabel 7 Prosentase penurunan kadar air optimum

Grafik 5 menunjukkan kadar air optimum tanah asli yaitu sebesar 24,50%, setelah mengalami penambahan *fly ash* 5% dari tanah asli kadar air optimum mengalami penurunan menjadi 24,00%. Hasil penambahan *fly ash* 10%, 15%, dan 20% dengan tanah hasilnya mengalami penurunan 23,50%, 22,50%, dan 21,8%. Penurunan ini dikarenakan pada saat tanah ditambah air, tanah tersebut mengikat kation yang ada pada *fly ash* sehingga tanah tersebut lebih kecil untuk mengikat air. Butiran tanah akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat atau padat. Jadi semakin banyak penambahan *fly ash* pada tanah tersebut maka semakin kecil pula air yang diikat oleh tanah, dengan demikian kadar air optimum pada tanah tersebut akan semakin kecil.

2. Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Terhadap Kepadatan Maksimum



Grafik 6 Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kepadatan maksimum

Nilai kepadatan maksimum pada tanah asli sebesar 1,410gr/cm³, mengalami kenaikan sebesar 1,417gr/cm³ setelah mengalami penambahan *fly ash* sebesar 5%. Penambahan *fly ash* sebesar 10%, 15%, dan 20% dari tanah asli mengalami kenaikan secara berturut-turut yaitu 1,429gr/cm³, 1,442gr/cm³, 1,465gr/cm³.

Penambahan Fly Ash (%)	Kepadatan Maksimum (gr/cm ³)	Prosentase Kenaikan (%)
0	1.410	0
5	1.417	0.496
10	1.429	1.343
15	1.442	2.253
20	1.465	3.848

Tabel 7 Prosentase kenaikan kepadatan maksimum

Tabel 7 dari hasil penambahan *fly ash* memperlihatkan kecenderungan bahwa kepadatan tanah kering maksimum dari tanah meningkat. Hal tersebut dikarenakan pada saat pemadatan terjadi suatu proses dimana air dan udara atau pori-pori tanah semakin berkurang karena akibat adanya salah satu cara mekanis dan gerakan vertical di dalam massa tanah itu sendiri, ditambah lagi dengan penambahan *fly ash* yang menyebabkan rongga-rongga tanah menjadi terisi oleh *fly ash* yang mengakibatkan rongga tanah yang berisi air akan semakin mengecil dengan penurunan kadar air optimum (W_{opt}). Air masuk pada rongga tanah, semakin berkurangnya rongga pada tanah, maka tanah tersebut semakin padat dan semakin kuat daya dukung tanah tersebut. sebaliknya, tanah yang kepadatan maksimumnya semakin kecil maka tanah tersebut semakin rapuh.

D. Hasil Pengujian Penambahan Fly Ash pada Tanah Terhadap Nilai Kuat Tekan (qu)



Grafik 7 Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai kuat tekan (qu)

Hasil pengujian nilai kuat tekan terhadap tanah asli tanpa penambahan dan dengan penambahan *fly ash* disajikan pada grafik 7 yang memperlihatkan prosentase kenaikan nilai (qu) hasil pengujian dari *unconfined*

compression strength setelah diberi penambahan zat aditif *fly ash*. Dari hasil pengujian nilai kuat tekan pada grafik 7 untuk tanah asli didapat nilai (qu) 2,665kg/cm². Tanah yang telah dicampur dengan *fly ash* 5% nilai (qu) hasil uji kuat tekan naik dibandingkan tanah asli yaitu sebesar 3.099kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 16.29% per 5% (1% nya naik 3.26%).

Kadar *fly ash* 10% didapat nilai (qu) 4,041kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 46.68% per 10% (1% nya naik 4.67%). Kadar *fly ash* 15% didapat nilai (qu) 4,442kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 56,61% per 15% (1% nya naik 3.78%). Kadar *fly ash* 20% didapat nilai (qu) 5,009kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 69.37% per 20% (1% nya naik 3.47%).

Penambahan Fly Ash (%)	Nilai Kuat Tekan (gr/cm ²)	Prosentase Kenaikan (%)	Klasifikasi Konsistensi Tanah Lempung (kg/cm ²)
0	2.665	0	Sangat Kaku
5	3.099	16.29	Sangat Kaku
10	4.041	46.68	Sangat Kaku
15	4.442	56.61	Keras
20	5.009	69.37	Keras

Tabel 8 Prosentase kenaikan kepadatan nilai kuat tekan

Dengan demikian kenaikan yang paling efektif adalah dengan penambahan kadar *fly ash* 10% yang didapat nilai (qu) 4,041kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 46.68% per 10% (1% nya naik 4.67%).

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa stabilisasi menggunakan *fly ash* pada tanah lempung ini dapat memperbaiki sifat mekanis tanah. Dari hasil pengujian nilai kuat tekan yang paling efektif sebesar 4,041gr/cm² pada penambahan *fly ash* 10% dari tanah asli, dengan presentase kenaikan sebesar 46,68% per 10% (1% nya naik 4,67%) dan tergolong tanah lempung sangat kaku. Penambahan *fly ash* pada tanah lempung akan mengakibatkan peningkatan daya dukung tanah yang sebanding dengan peningkatan kuat tekan tanah.

B. Saran

1. Pemanfaatan penambahan *fly ash* 10% pada tanah lempung di daerah Desa Bogem Sukomoro, Magetan dapat dipakai untuk perbaikan tanah guna untuk meningkatkan kekuatan tanah pada pondasi dangkal.

2. Bagi peneliti yang ingin melakukan penelitian lanjutan dapat menggunakan variasi dengan lama pemeraman yang berbeda sehingga dapat dilihat perbandingan nilai antar variasi lama pemeraman.
3. Perlu diadakan penelitian berkelanjutan tentang potensi mengembang pada tanah di daerah lain dengan menggunakan bahan stabilisasi *fly ash* yang dapat menjadi bahan ikat alternatif untuk meningkatkan nilai ekonomis limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Andajani, Nur. 2005. *Petunjuk Praktek Mekanika Tanah 2*. Surabaya: UNESA.
- Bowles, Joseph E. 1984. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyati, Siti. 2003 *Studi Potensi Mengembang dan Kekuatan Tanah Lempung Ekspansif Dengan dan Tanpa Kapur Akibat Siklus Berulang Basah Kering*. Semarang: UNDIP.
- Hardiyatmo, C. Hary. 1992. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- . 2010. *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- M. Das Braja, Terjemahan Endah Noor, B. Mochtar Indrasurya. 1988, *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- M. Das Braja, Terjemahan Endah Noor, B. Mochtar Indrasurya. 1988, *Mekanika Tanah Jilid 2 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Raharjo, P. Paulus. 2012. *Problem dan Identifikasi Tanah Ekspansif di Indonesia, Metode Stabilisasi dan Penanggulangannya Untuk Rekayasa Pondasi*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Ridwan, Machfud. 2003. *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah I*. Surabaya: UNESA.
- Sayyidah, Kiki. 2013. Pengaruh Penambahan *Clean Set Cement* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas. *Skripsi Penelitian*. Surabaya: UNESA.
- Tim Penyusun. 2006. *Panduan Penulisan dan Penilaian Skripsi Universitas Negeri Surabaya*. Surabaya: UNESA.
- Wardani, Sri Prabandiyani Retno. 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (fly ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Semarang: UNDIP.