

Stabilisasi Tanah Ekspansif Menggunakan Fly Ash dan Bio-Enzymes

Yuhanis Yunus¹, Syarwan², Rosalina³, Muhammad Reza⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹yunusyhanis@gmail.com

Abstrak— Tanah merupakan salah satu material konstruksi yang paling umum digunakan. Namun pada setiap lokasi konstruksi, tidak selalu terdapat tanah yang memenuhi persyaratan teknis sebagai *subgrade* jalan. Salah satu alternatif yang bisa dipilih untuk memperbaiki atau meningkatkan sifat fisik dan merubah sifat mekanik tanah ekspansif yaitu dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan secara mekanis maupun menggunakan bahan-bahan aditif (zat kimia). Secara mekanis stabilisasi tanah dilakukan dengan mengatur gradasi butiran tanah kemudian dilakukan proses pemadatan, sedangkan stabilisasi yang menggunakan bahan aditif dapat dilakukan dengan menambah bahan aditif kemudian dilakukan pemadatan. Penelitian ini menggunakan *fly ash* dan enzim molase terfermentasi sebagai *stabilizator agent* untuk mengatasi masalah tanah ekspansif dikarenakan lebih ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan *fly ash* dari PLTU Nagan Raya dan enzim molase berperan meningkatkan konsistensi tanah sehingga daya dukung tanah dapat meningkat. Enzim ini adalah produk komersial berupa cairan yang digunakan sebagai bahan tambah untuk stabilisasi tanah. Metode yang digunakan untuk pengujian proctor mengacu pada standar ASTM D-698 dan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) mengacu pada standar ASTM D-1883. Penelitian ini dilakukan dengan penambahan *fly ash* sebesar 17% dan enzim molase sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Pengujian Batas Atterberg menunjukkan nilai indeks plastisitas (PI) cenderung mengalami penurunan dibandingkan dengan tanah lempung ekspansif asli. Nilai PI minimum berada pada campuran Tanah + FA 17 % + EM 2% sebesar 27,15%. Hasil pengujian proctor menunjukkan nilai W_{opt} dan $\gamma_{d_{maks}}$ tertinggi berada pada tanah asli yaitu sebesar 29,40% dan 1,42 gr/cm³. Nilai tertinggi CBR *unsoaked* berada pada campuran tanah Tanah + FA 17 % + EM 6% sebesar 18,60% dan terendah berada pada campuran Tanah + FA 17 % + EM 10% sebesar 12,30%. Nilai tertinggi CBR *soaked* berada pada tanah asli sebesar 8,20% dan nilai terendah berada pada campuran Tanah + FA 17 % + EM 6% sebesar 5,80%. Sedangkan nilai *swelling* tertinggi berada pada campuran Tanah + FA 17 % sebesar 3,64% dan terendah berada pada campuran Tanah + FA 17 % + EM 2% sebesar 1,32%.

Kata kunci— Tanah Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Fly Ash, Enzim Molase, Proctor, CBR

Abstract— Soil is one of the most commonly used construction materials. However, the land at the construction site not always qualify the technical requirements as subgrade. The alternative that can be chose to improve or increase the physical properties and change the mechanical properties of expansive soil is soil stabilization. Soil stabilization can be done mechanically or using additive materials (chemicals). Mechanically, soil stabilization is carried out by adjusting the gradation of soil grains then do the compaction process, while stabilization using additives can be done by adding additives and then do the compaction. This study uses fly ash and fermented molasses as a stabilization agent to overcome the problem of expansive soil because it is more eco-friendly. This study uses fly ash from thermal power station in Nagan Raya and molasses acts to improve the consistency of soil so the soil bearing capacity can be increase. This enzyme is a commercial product as a liquid which used as an additive for soil stabilization. The method used for proctor test refers to ASTM D-698 and CBR test refers to ASTM D-1883. This research is conduct with the addition of fly ash by 17% and molasses by 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, and 10%. Atterberg limit test show the value of plasticity index (PI) tends to decrease compared to the original expansive clay. The minimum PI value is in the mixture of soil + fly ash 17% + molasses 2% by 27,15%. The highest W_{opt} and $\gamma_{d_{maks}}$ values in proctor test are original soil, 29.40% and 1.42 g/cm³. The highest value in unsoaked CBR test is the mixture of soil + fly ash 17% + molasses 6% by 18.6% and the lowest value is the mixture of soil + fly ash 17% + molasses 10% by 12,3%. The highest value in soaked CBR test is in the original soil by 8.2% and the lowest value is the mixture of soil + fly ash 17% + molasses 6% by 5,80%. While the highest swelling value is the mixture of soil + fly ash 17% by 3,64% and the lowest value is the mixture of soil + fly ash 17% + molasses 2% by 1,32%.

Keywords— Expansive Soil, Soil Stabilization, Fly Ash, Molasses, Proctor, CBR

I. PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu material konstruksi yang paling umum digunakan. Namun pada setiap lokasi konstruksi, tidak selalu terdapat tanah yang memenuhi persyaratan teknis sebagai *subgrade* jalan. Mengganti tanah tersebut dengan tanah yang lebih baik dari tempat lain, akan menimbulkan resiko biaya dan waktu yang tidak menguntungkan. Menurut *The Asphalt Institute-USA*, tanah lempung atau lanau organik dengan plastisitas sedang hingga tinggi, nilai kekuatannya untuk penggunaan sebagai tanah dasar sangat buruk karena memiliki nilai kompresibilitas dan ekspansifitas yang besar [1]. Permasalahan tersebut merupakan kendala bagi konstruksi Sipil karena tanah ekspansif dipengaruhi oleh kondisi kering dan basah terhadap air sehingga tanah mempunyai nilai kompresibilitas yang tinggi dan mempunyai daya dukung yang rendah [2].

Stabilisasi tanah merupakan salah satu alternatif yang bisa dipilih untuk memperbaiki atau meningkatkan sifat fisik dan

sifat mekanik tanah ekspansif. Stabilisasi tanah dapat dilakukan secara mekanis maupun menggunakan bahan-bahan aditif (zat kimia) [3]. Secara mekanis stabilisasi tanah dilakukan dengan mengatur gradasi butiran tanah kemudian dilakukan proses pemadatan, sedangkan stabilisasi yang menggunakan bahan aditif dapat dilakukan dengan menambah bahan aditif kemudian dilakukan pemadatan [3]. Stabilitas melalui pencampuran menggunakan bahan tambah baik secara tradisional maupun non-tradisional sebagai *stabilizing agent*, seperti penambahan kapur, semen, *fly ash* (abu batu), garam, Lignin, dan Enzim.

Fly ash merupakan limbah padat dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Pemanfaatan limbah batubara (*fly ash*) belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga menjadi masalah terhadap lingkungan. Bio-enzim adalah formulasi enzim cair alami, tidak beracun, tidak mudah terbakar, tidak korosif yang difermentasi dari ekstrak nabati yang dapat meningkatkan sifat rekayasa tanah, meningkatkan pemadatan tanah dan

meningkatkan kekuatan tanah [4]. Enzim molase memungkinkan tanah menjadi lebih mudah basah dan lebih padat. Selain itu, enzim juga meningkatkan ikatan kimia yang membantu menyatukan partikel tanah, menciptakan struktur yang lebih permanen yang tahan terhadap pelapukan cuaca, keausan dan air [4].

Penggunaan bahan tambah *fly ash* dan bio-enzim merupakan suatu metode perbaikan tanah agar terjadi peningkatan kekuatan daya dukung dan perubahan sifat fisik tanah sehingga karakteristik teknisnya memenuhi persyaratan sebagai bahan konstruksi dengan biaya yang lebih murah. Penggunaan bio-enzim sebagai stabilisator tanah dikarenakan kapasitas produksi yang besar, biaya murah, dan penerapan yang relatif luas dibandingkan dengan stabilisator standar (kapur terhidrasi, Semen Portland, dan *Fly Ash*) yang membutuhkan sejumlah besar zat penstabil untuk menstabilkan tanah (biaya tinggi) [4].

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara stabilisator tanpa campuran bahan aditif dengan campuran stabilisator tradisional berupa *fly ash* dan stabilisator non-tradisional berupa enzim molase fermentasi yang berasal dari tetes tebu yang masih mengandung gula dan asam-asam organik serta melihat seberapa besar pengaruh campuran *fly ash* dan bio-enzim tersebut terhadap daya dukung tanah ekspansif.

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi kembang susut yang besar. Apabila terjadi peningkatan kadar air, tanah akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan pengembangan dan sebaliknya apabila kadar air berkurang akan terjadi penyusutan [5].

TABEL 1. HUBUNGAN MINERAL TANAH DENGAN AKTIFITAS

Mineral	Aktifitas
Kaolinite	0,33 – 0,46
Illite	0,9
Montmorillonite (Ca)	1,5
Montmorillonite (Na)	7,2

Sumber : Foundation on Expansive Soil (Chen.FH)

Mineral utama pembentuk tanah lempung adalah Montmorillonite, Illite, dan Kaolinite. Ketiga mineral tersebut membentuk kristal Hidro Aluminium Silikat ($Al_2O_3 \cdot n SiO_2 \cdot kH_2O$), namun demikian ketiga mineral tersebut mempunyai sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan lainnya [6].

TABEL 2. RENTANG KAPASITAS PERTUKARAN KATION DARI MINERAL LEMPUNG

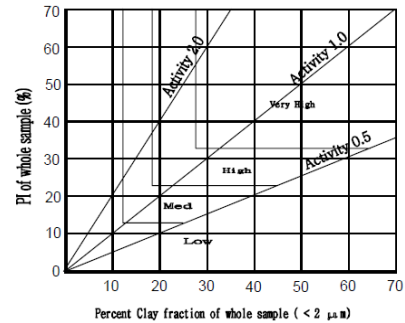
Uraian	Kaolinite	Illite	Monmorillonite
Tebal Partikel	0,5 – 2 microns	0,003 – 0,1 microns	< 9,5 A
Diameter Partikel	0,5 – 4 microns	0,5 – 10 microns	0,05 – 10 microns
Spesifik Permukaan (m^2/gr)	10 – 20	65 – 180	50 – 840
Kapasitas Pertukaran Kation	3 – 15	10 – 40	70 – 80

Sumber : Chen (1975)

Beberapa metode mengidentifikasi tanah ekspansif dengan cara tidak langsung [6] telah dilakukan oleh :

- *Van Der Merwe (1964)*

Merwe menggunakan Plasticity Index (PI) dan prosen fraksi lempung (CF) untuk menggolongkan tanah aktivitas kelas rendah (*low*), kelas sedang (*medium*), dan kelas tinggi (*high*) seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Plasticity Index dan Prosentase Fraksi Lempung

Sumber : *Van Der Merwe (1964)*

- *Holz dan Giccs (1956)*

Holz dan Giccs menyajikan kriteria untuk memperkirakan potensial pengembangan tanah tak terganggu dengan pembebanan sebesar 6,9 kPa seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

TABEL 3. KORELASI INDEKS UJI DENGAN TINGKAT PENGEMBANGAN

Data dari Indeks Tests			Kemungkinan Pengembangan (% perubahan volume)	Tingkat Pengembangan
Colloid Content (%)	Plasticity Index (%)	Shrinkage Limit (%)		
> 28	> 35	< 11	> 30	Sangat Tinggi
20 – 31	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Sedang
< 15	< 18	> 15	< 10	Rendah

Sumber : *Holz & Gribbs (1956)*

- *Chen (1988)*

Chen mengemukakan dua cara dalam melakukan identifikasi tanah ekspansif, yaitu: cara pertama, Chen mempergunakan indeks tunggal, yaitu Plasticity Index (PI). Sedangkan cara kedua, Chen mempergunakan korelasi antara fraksi lempung lolos saringan no. 200, batas cair (LL), dan nilai N dari hasil uji Standart Penetration Test (SPT).

TABEL 4. KORELASI NILAI INDEKS PLASTISITAS (PI) DENGAN TINGKAT PENGEMBANGAN

Indeks Plastisitas (PI) (%)	Potensi Pengembangan
0 – 15	Rendah
10 – 35	Sedang
20 – 55	Tinggi
> 55	Sangat Tinggi

Sumber : *Chen (1988)*

TABEL 5. KORELASI DATA LAPANGAN DAN LABORATORIUM DENGAN TINGKAT PENGEMBANGAN

Data dari Indeks Tests			Kemungkinan Pengembangan (% perubahan volume)	Tingkat Pengembangan
Colloid Content (%)	Plasticity Index (%)	Shrinkage Limit (%)		
> 28	> 35	< 11	> 30	Sangat Tinggi
20 – 31	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Sedang
< 15	< 18	> 15	< 10	Rendah

Sumber : Chen (1988)

• Skempton (1953)

Skempton mengidentifikasi tanah ekspansif dengan activity, yaitu perbandingan antara harga Plasticity Index (PI) dengan prosentase fraksi lempung (CF), dengan persamaan :

$$A_c = PI / CF \tag{1}$$

Keterangan :

- A_c = Activity
- PI = Plasticity Index (%)
- CF = Persentase lolos saringan no. 200 (%)

TABEL 6. KORELASI NILAI AKTIVITY DENGAN POTENSI PENGEMBANGAN

Nilai Aktivity (A _c)	Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
< 0,75	Tidak Aktif	Rendah
0,75 < A _c < 1,25	Normal	Sedang
> 1,25	Aktif	Tinggi

Sumber : Skempton (1953)

• Saed dan Kawan-kawan (1962)

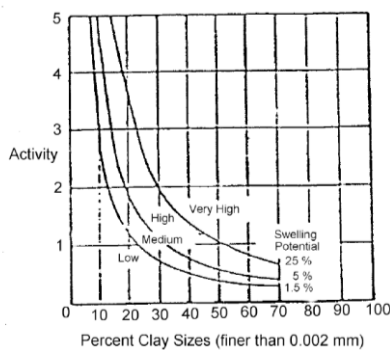
Cara ini mempergunakan activity Skempton yang dimodifikasi, yaitu :

$$A_c = PI / (CF - 10) \tag{2}$$

Keterangan :

- A_c = Activity
- PI = Plasticity Index (%)
- CF = Persentase lolos saringan no. 200 (%)

Angka 10 adalah faktor reduksi



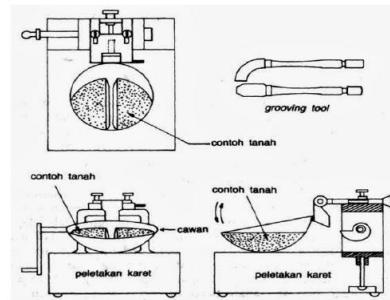
Gambar 2. Grafik Hubungan antara Prosentase Lempung dan Aktivitas

Sumber : Seed, dkk (1962)

Menurut Atterberg batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah pengujian batas cair (*liquid limit*) dan uji batas plastis (*plastic limit*).

• Batas Cair (*Liquid Limit*)

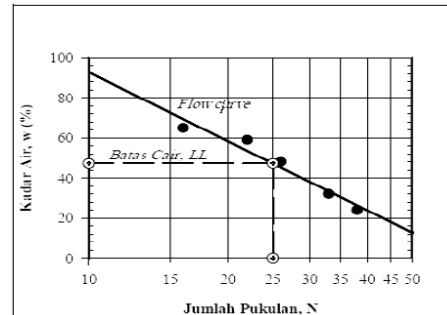
Batas cair, didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis (Hardiyatmo, 2002).



Gambar 3. Alat pengujian batas cair

Sumber : Hardiyatmo (2002)

Batas cair ditentukan dari uji Casagrande, kurva penentuan batas cair dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. Kurva pada penentuan batas cair tanah lempung

Sumber : Hardiyatmo (2002)

• Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis, didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 2002).

• Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (Interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis). Karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah, jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering (Hardiyatmo, 2002).

Indeks plastis ditentukan dengan :

$$PI = LL - PL \tag{3}$$

Keterangan :

- PI = Plastis Indeks (%)
- LL = Liquid Limit (%)
- PL = Plastis Limit (%)

TABEL 7. NILAI INDEKS PLASTISITAS DAN MACAM TANAH

PL	Sifat	Macam Tanah
0	Non Plastis	Pasir
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau
7 – 17	Plastisitas Sedang	Lempung berlanau
> 17	Plastisitas Tinggi	Lempung

Sumber : Chen (1975)

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya, hubungan berat volume kering (γ_d), berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan dengan persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \tag{4}$$

Untuk setiap percobaan, berat volume tanah basah (γ_b) dari tanah yang dipadatkan tersebut dapat dihitung:

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (5)$$

Keterangan :

W = Berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan
V = Volume cetakan

CBR (*California Bearig Ratio*) adalah percobaan daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Departement*. Prinsip pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda kedalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan untuk membuat perkerasan. Untuk menghitung nilai CBR dapat dipakai rumus berikut :

$$CBR = \frac{BebanTest}{BebanStadar} \quad (6)$$

Untuk pengujian *Swelling* rendaman diperoleh persamaan:

$$S = \frac{A}{H} \quad (7)$$

Keterangan :

S = Potensi Pengembangan (%)
A = Pembacaan Dial (mm)
H = Tinggi Benda Uji (mm)

Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang digunakan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah dasar sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik dan dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya [7].

Tujuan perbaikan tanah tersebut adalah untuk mendapatkan tanah dasar yang stabil pada semua kondisi [8]. Adapun metode stabilisasi yang dikenal adalah :

1. Stabilisasi mekanis

Stabilisasi mekanis adalah penambahan kekuatan atau daya dukung tanah dengan mengatur gradasi tanah yang dimaksud. Usaha ini biasanya menggunakan sistem pemadatan.

2. Stabilisasi kimiawi

Stabilisasi tanah secara kimiawi adalah penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Biasanya digunakan pada tanah yang berbutir halus. Bahan yang digunakan untuk stabilisasi tanah disebut *stabilizing agent*.

Fly ash adalah limbah yang berasal dari sisa pembakaran batubara yang tidak terpakai. Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air (Nurmala, 2010). Komposisi dari *fly ash* sebagian besar terdiri dari silika dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, sulfur, dalam jumlah yang kecil.

Fly Ash yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Nagan Raya. *Fly Ash* ini bukan merupakan *fly ash* kelas F ataupun kelas C melainkan jenis baru yang telah diteliti oleh

Amir Fauzi [9] dengan indikasikan awal sebagai *fly ash* kelas F menuju kelas C. Hasil ini diperoleh dari investigasi awal terhadap analisis senyawa kimia yang menggunakan pengujian X-Ray Fluorescence (XRF).

Enzim yang digunakan merupakan enzim molase yang terbentuk dari pemanfaatan molase sebagai substrat dengan bantuan mikroorganisme *Saccharomyces Cereviseae*. Enzim yang merupakan salah satu produk dari proses fermentasi dapat digunakan untuk stabilisasi tanah[4]. Hal ini dilakukan untuk mengurangi biaya dan kemudahan dalam penerapannya. Enzim bekerja mengeraskan tanah dengan membantu membentuk ikatan antara organik dan anorganik yang ada di dalam tanah sehingga mengeras seperti semen [4].

Enzim tersebut diserap oleh pori-pori tanah dan dilepaskan ketika bertukar dengan kation yang berasal dari logam [4]. Enzim dapat juga diserap oleh koloid-koloid untuk ditransportasikan melalui media elektrolit tanah dan membantu bakteri tanah untuk melepaskan ion-ion hydrogen yang menghasilkan gradient pH pada permukaan dari partikel-partikel tanah yang membantu pelepasan struktur dari tanah tersebut [4].

Ketika ditambahkan pada tanah, enzim meningkatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik, sehingga daya dukung tanah meningkat. Enzim memberikan bahan – bahan pada tanah untuk menjadi lebih mudah basah dan lebih padat. Selain itu, enzim meningkatkan ikatan kimia yang membantu menggabungkan partikel tanah secara bersama-sama, dan menciptakan suatu struktur yang lebih permanen serta lebih tahan terhadap kerusakan karena hujan [4].

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Material

- Tanah Lempung Ekspansif

Lokasi pengambilan sampel tanah lempung ekspansif yang menjadi objek penelitian ini adalah di Quarry 3 Jalan Elak Kec. Blang Mangat, Kota Lhokseumawe.

- *Fly Ash*

Dalam pencampuran bahan tambah sebagai stabilisasi tanah lempung ekspansif digunakan *fly ash* yang berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya.

- Enzim Molase

Enzim Molase digunakan untuk meningkatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik, sehingga daya dukung tanah akan meningkat. Enzim molase yang digunakan berasal dari industri pengolahan gula tebu atau gula bit FAT Bahan Baku Kel. Jati Raden Kec. Jati Sampurna, Kota Bekasi.

B. Sifat Fisis Tanah

Tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori.

C. Pemadatan Standar (*Proctor Test*)

Percobaan pemadatan standar dikenal pula sebagai percobaan pemadatan ringan. Pada uji pemadatan standar, tanah dipadatkan dalam sebuah silinder bervolume $1/30 \text{ ft}^3$ (943.3 cm³). Diameter cetakan tersebut 4 in (101.6 mm).

Tanah sekitar 2000 gram dicampur air dengan kadar air berbeda-beda kemudian dipadatkan dengan alat penumbuk dengan berat 5.5 lb (2.5 kg), tinggi jatuh 12 in (30.48 cm). Pemadatan tanah tersebut dilakukan dalam 3 lapisan dengan jumlah tumbukan per lapis 25 kali. Percobaan dapat diulang dalam 5 kali percobaan dengan kadar air yang berbeda-beda.

TABEL 8. RENCANA BENDA UJI PEMADATAN STANDAR

Spesimen	Jumlah Benda Uji
Tanah Asli 0%	3
Tanah + FA 17,5%	3
Tanah + FA 17,5% + EM 2%	3
Tanah + FA 17,5% + EM 4%	3
Tanah + FA 17,5% + EM 6%	3
Tanah + FA 17,5% + EM 8%	3
Tanah + FA 17,5% + EM 10%	3
Total	21

D. CBR (California Bearing Ratio)

Pengujian CBR ini dilakukan pada kadar air mineral yang optimum. Benda uji dengan kadar air optimum dimasukkan kedalam kantong plastik untuk menjaga kadar air awal. Sampel material yang diuji dibagi menjadi tiga bagian dalam hal jumlah tumbukan.

Peralatan untuk pemadatan terdiri dari mould (cetakan) dengan diameter 15,2 cm, tinggi 17,72 cm, dengan volume 3237,26 cm³, spacer disk (cangkram pengisi) berdiameter 15,08 cm, dan tinggi jatuh bebas 6,14 cm, hammer (alat penumbuk) yang telah dimodifikasi dengan berat 4536 gram dengan tinggi jatuh bebas 45 cm. Mesin yang digunakan untuk pengujian CBR yang terdiri dari tiga bagian yaitu: mesin penggerak, proving ring, dan kerangka besi.

TABEL 9. RENCANA BENDA UJI CBR

Spesimen	CBR		Jumlah Benda Uji
	Tanpa Rendaman	Rendaman	
Tanah Asli 0%	3	3	6
Tanah + FA 17,5%	3	3	6
Tanah + FA 17,5% + EM 2%	3	3	6
Tanah + FA 17,5% + EM 4%	3	3	6
Tanah + FA 17,5% + EM 6%	3	3	6
Tanah + FA 17,5% + EM 8%	3	3	6
Tanah + FA 17,5% + EM 10%	3	3	6
Total			42

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tanah Asli

Dari hasil pengujian tanah asli, sifat fisis yang meliputi pengujian kadar air tanah asli (w), Berat volume (γ_b), pengujian Specific Gravity (G_s), pengujian batas cair, pengujian batas plastis, dan indeks plastis. Kemudian pengujian sifat mekanis yang meliputi pengujian pemadatan standar dan pengujian CBR Laboratorium. Diperoleh data sebagai berikut.

TABEL 10. INDEX PROPERTIES PADA TANAH ASLI

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian
1.	Kadar air tanah asli (w)	%	27,82
2.	Berat volume tanah basah (γ _b)	kN/m ³	1,42
3.	Specific Gravity (G _s)	-	2,66
4.	Analisa Saringan (Persen Lolos)	No. 4	100,00
		No. 10	99,85

	No. 20		99,49
	No. 40		98,46
	No. 100		72,03
	No. 200		68,42
	Analisa Hydrometer (Persen Lolos)		
	> 50 μ	%	48,28
	> 5 μ < 50 μ		40,56
	> 2 μ < 5 μ		39,46
	< 2 μ		36,16
5.	Atterberg Limit : Batas Cair (LL) Batas Plastis (PL) Indeks Plastisitas (PI)	%	59,30 30,09 29,21
6.	Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO	-	A-7-6 (20)
7.	Klasifikasi tanah berdasarkan USCS	-	CH
7.	Pemadatan Standar : W _{opt} (γ _d)	% gr/cm ³	29,40 1,42
7.	Uji CBR : Tanpa Rendaman Rendaman	%	14,3 8,2

B. Pengujian Batas Atterberg

Atterberg mengemukakan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas-batas Atterberg tersebut adalah batas cair (LL), Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastisitas (PI). Dari hasil pengujian batas atterberg campuran tanah lempung ekspansif dengan fly ash 17% dan Enzim Molase dengan persentase yaitu 0% 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% diperoleh nilai batas-batas atterberg sebagai berikut.

TABEL 11. HASIL PENGUJIAN BATAS ATTERBERG

No	Spesimen	Nilai LL (%)	Nilai PL (%)	Nilai PI (%)
1.	Tanah Asli 0%	59,30	30,09	29,21
2.	T. Ekspansif + FA 17 %	58,10	29,80	28,30
3.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 2%	57,00	29,85	27,15
4.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 4%	56,75	29,54	27,21
5.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 6%	56,50	29,23	27,27
6.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 8%	56,45	28,97	27,49
7.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 10%	56,40	28,70	27,70

Tabel 11 menunjukkan perubahan nilai indeks LL, PL dan PI. Nilai PI terkecil berada pada campuran tanah + 17% FA+ 2% EM. Dapat dilihat bahwa nilai indeks plastisitas (PI) cenderung mengalami penurunan dibandingkan dengan tanah lempung ekspansif asli. Hal ini disebabkan pada variasi campuran tersebut terjadi reaksi pozzolanik tanah-fly ash-molase maksimal, sehingga menambah kekuatan dan keawetan pada campuran tanah + 17% FA+ 2% EM [10].

C. Pengujian Pemadatan Standar (Proctor)

Pengujian ini dilakukan untuk mencari hubungan kadar air optimum dan kerapatan kering tanah (γ_d) atau disebut ZAV (Zero Air Void) untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan. Setelah mendapatkan data kadar air optimum dari tanah asli, dilakukan pengujian pemadatan tanah asli yang akan distabilisasi dengan fly ash 17% dan Enzim Molase dengan persentase yaitu 0% 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%.

TABEL 12. HASIL PENGUJIAN PROCTOR STANDAR

No.	Spesimen	W _{opt} (%)	γ _d ^{maks.} (gr/cm ³)
1.	Tanah Asli 0%	29,40	1,42
2.	T. Ekspansif + FA 17 %	29,00	1,38
3.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 2%	28,90	1,37
4.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 4%	28,15	1,37
5.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 6%	27,40	1,37
6.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 8%	28,35	1,365
7.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 10%	29,30	1,36

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk memampatkan partikel tanah. Tingkat kepadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah, semakin tinggi berat volume kering semakin tinggi kepadatannya.

Tabel 12 menunjukkan perubahan berat volume kering tanah yang mengalami penurunan. Peristiwa berkurangnya berat volume kering diprediksi diakibatkan oleh campuran *fly ash* dan enzim molase yang tidak optimal dalam menutupi rongga sehingga tingkat kepadatannya berkurang.

Hasil campuran tersebut menunjukkan bahwa dengan meningkatnya *fly ash* dan enzim molase berat isi kering menurun dan kadar air optimum cenderung menurun dan naik pada campuran tanah + FA 17% + EM 10%. Ini mungkin terjadi akibat kandungan mineral dalam tanah banyak mengandung mineral monmorilonite yang bereaksi cepat dengan bahan aditif (*fly ash* dan enzim molase) dibandingkan dengan kaolinite dan halloysite [7].

D. Pengujian Swelling Test dan CBR Laboratorium

Dari hasil uji CBR Laboratorium, campuran tanah lempung ekspansif dengan *fly ash* 17% dan Enzim Molase dengan persentase yaitu 0% 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% diperoleh nilai CBR Laboratorium dan nilai *swelling* seperti pada Tabel 13.

TABEL 13. HASIL PENGUJIAN CBR LABORATORIUM

No	Spesimen	CBR Unsoaked (%)	CBR Soaked (%)	Swelling (%)
1.	Tanah Asli 0%	14,3	8,2	1,75
2.	T. Ekspansif + FA 17 %	16,6	7,4	3,64
3.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 2%	16,2	8,1	1,32
4.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 4%	17,4	6,95	1,38
5.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 6%	18,6	5,8	1,44
6.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 8%	15,45	5,85	1,46
7.	T. Ekspansif + FA 17 % + EM 10%	12,30	5,90	1,48

Tabel 13 menunjukkan hasil dari CBR *unsoaked* mengalami penurunan. Hal ini terjadi diprediksi karena *fly ash* + molase yang berfungsi sebagai *filler* tidak dapat bercampur dengan baik pada tanah A-7-6 dimana tanah jenis tersebut memiliki butiran yang halus (yang lolos saringan no.200) sehingga *fly ash* + molase tidak mampu mengisi lebih banyak rongga-rongga pada tanah A-7-6 dan tidak dapat bercampur dengan baik. Nilai CBR *unsoaked* tertinggi berada pada campuran Tanah + FA 17 % + EM 6% dan terendah berada pada campuran Tanah + FA 17 % + EM 10%.

Sedangkan pada CBR *soaked* juga mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pada penambahan *fly ash* + molase tidak bekerja efektif menyelimuti pori-pori tanah sehingga tidak

dapat menambah kekuatan tanah tersebut. Nilai CBR *soaked* tertinggi berada pada campuran Tanah Asli dan nilai terendah berada pada campuran Tanah + FA 17 % + EM 6%.

Dari Tabel 13 menunjukkan nilai *swelling* tertinggi berada pada campuran Tanah + FA 17 % dan terendah berada pada campuran Tanah + FA 17 % + EM 2%. Nilai Potensi pengembangan tanah dipengaruhi oleh indeks plastisitas dan kandungan fraksi lempung (< 2 μ m). Semakin besar nilai indeks plastisitas dan persentase fraksi lempung, semakin besar pula potensi pengembangannya, begitu pula sebaliknya.

IV. KESIMPULAN

Tanah lempung ekspansif yang diamati merupakan tanah ekspansif dengan potensi mengembang tinggi dengan kandungan mineral lempung monmorilonite. Hasil uji *index properties* menunjukkan nilai plastisitas indeks sebesar 29,21%.

Pengujian Batas Atterberg menunjukkan nilai indeks plastisitas (PI) cenderung mengalami penurunan dibandingkan dengan tanah lempung ekspansif asli. Nilai PI minimum berada pada campuran T.anah + FA 17 % + EM 2% sebesar 27,15%.

Pengujian pemadatan standar (Proctor Standar) pada tanah lempung ekspansif (A-7-6) yang distabilisasi dengan *fly ash* 17% dan enzim molase sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% menunjukkan bahwa nilai berat kering maksimum (γ_d^{maks.}) dan nilai Kadar air optimum (W_{opt}) tertinggi berada pada tanah asli yaitu sebesar 29,40% dan 1,42 gr/cm³.

Pengujian CBR laboratorium dengan tambahan *fly ash* 17% dan enzim molase sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dan enzim molase mampu meningkatkan nilai CBR *unsoaked* pada persentase campuran *fly ash* 17% dan enzim molase 4% sampai 6%. Penggunaan *fly ash* dan enzim molase dalam berbagai persentase campuran pada pengujian CBR *soaked* terhadap tanah kohesif tidak berdampak signifikan.

Penggunaan *fly ash* dan enzim molase mampu menurunkan nilai *swelling* dari tanah ekspansif. Pada persentase campuran *fly ash* 17% dan enzim molase 2% mampu menurunkan nilai *swelling* sebesar 1,32% dibandingkan dengan tanah aslinya.

REFERENSI

- [1] M. Yuswandono and Y. Kusuma, *Peningkatan daya dukung tanah gede bage bandung dengan enzim dari molase terfermentasi*, Jurnal Teknik Sipil Bandung : Politeknik Negeri Bandung, Vol.1, No.1, pp. 1-10, 2013.
- [2] S. Prabandiyani RW, S. Hardiyati, Muhrozi, and B. Pardoyo, *Stabilisasi Tanah Lempung dengan Menggunakan Larutan Asam Sulfat (H₂SO₄) pada Tanah Dasar di Daerah Godong – Purwodadi Km 50 Kabupaten Grogogan*, Jurnal MKTS : Universitas Diponegoro, Vol.21, No.1, pp. 13-22, Juli 2015.
- [3] Andriani, R. Yuliet, and F.L. Fernandez, *Pengaruh penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung daerah lambung bukit terhadap nilai CBR tanah*, Jurnal Rekayasa Sipil, Vol.8, No.1, pp. 29-44, Februari 2012.
- [4] S.A. Nadia, *Soil Stabilization Using Lignin and Bio-Enzymes*, Malaysia : Universitas Tun Hussein Onn, 2015.
- [5] A. Gunarso, R. Nuprayogi, W. Partono, and B. Pardoyo, *Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Campuran Larutan NaOH 7,5%*, Jurnal Karya Teknik Sipil, Vol.6, No.2, pp. 238-245, 2017.
- [6] W. Seto, *Perilaku Tanah Ekspansif yang Dicapur dengan Pasir untuk Subgrade*, Semarang : Universitas Diponegoro, 2006.
- [7] D. B. Pinasang, O.B.A Sompie and F. Jansen, *Analisis campuran kapur-fly ash dan kapur-abu sekam padi terhadap lempung ekspansif*,

- Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol.6, No.3, pp : 535-546, September 2016.
- [8] A. D. Huri, K. Yulianto, S. P. R. Wardani, and S. Hardiyati, *Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash dan Semen untuk Badan Jalan PLTU Asam-Asam*, Jurnal Karya Teknik Sipil, Vol.2, No.1, pp. 82-89, Januari 2013.
- [9] A. Fauzi, *Panel dekorasi geopolimer berbahan dasar limbah fly ash*, Jurnal DIPA, Lhokseumawe : Politeknik Negeri Lhokseumawe, 2019.
- [10] M. Yunus and I. Rauf, *Pengaruh Penambahan Kapur terhadap Nilai Plastisitas Tanah Lempung di Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat*, Jurnal Logic, Vol.18, No. 1, pp. 26-31, Maret 2018.
- [11] AASHTO (American Association of State Highway and transportation Official classification) sistem klasifikasi tanah, 1989.
- [12] ASTM (*American Standard Testing and Material*), 2001S. Zhang, C.
- [13] B. M. Das, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1. Jakarta : Erlangga, 1995.
- [14] E. Setyono, Sunarto dan K. Wirasetiyo, *Pengaruh bahan tambah fly ash terhadap karakteristik tanah lempung ekspansif di daerah dringu kabupaten Probolinggo*, Jurnal Media Teknik Sipil, Vol.16, No.1, pp : 29-34, Februari 2018.
- [15] P. L. W. Mukti, *Perbaikan sifat mekanik lempung ekspansif dengan tetes tebu dan kapur*, Yogyakarta : Universitas Atma Jaya, 2011.
- [16] R. Puspitasari, *Kualitas Molase sebagai Bahan Baku Produksi Alkohol Pabrik Spiritus Madukismo Yogyakarta*. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma, 2008.
- [17] Y. Apriyanti dan R. Hambali. *Pemanfaatan fly ssh untuk peningkatan nilai CBR tanah dasar*, Jurnal Fropil, Vol.2, No.2, pp. 151-162, Desember 2014.