

# ***Pengaruh Kapur, Fly Ash dan Bottom Ash pada Stabilisasi Lempung Bobonaro Terhadap Sifat Makrostruktur dan Mikrostruktur***

*Effect of Lime, Fly Ash and Bottom Ash on The Stabilization of Expansive Clay on Macrostructure and Microstructure Properties*

Elsy E. Hangge<sup>1\*</sup>, Remigildus Cornelis<sup>2</sup>, Tri M. W. Sir<sup>3</sup>, Jusuf J.S. Pah<sup>4</sup>, Andi Kumalawati<sup>5</sup>, Rosmiyati A. Bella<sup>6</sup>, Lilys N. Peni<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>7</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Kapur, FABA, Mikrostruktur Tanah

Keywords:

*Expansive Clay, Soil Stabilization, Lime, FABA, Soil Microstructure*

Article history:

Received: 02-01-2024

Accepted: 28-04-2024

\*Koresponden email:

[lilyzpeni@gmail.com](mailto:lilyzpeni@gmail.com)

[elsy@staf.undana.ac.id](mailto:elsy@staf.undana.ac.id)

[remi@staf.undana.ac.id](mailto:remi@staf.undana.ac.id)

## **Abstrak**

Lempung Bobonaro merupakan lempung ekspansif yang terdapat di Pulau Timor, Provinsi NTT. Lempung Bobonaro sering menimbulkan masalah dalam bidang konstruksi karena memiliki sifat kembang susut yang tinggi akibat fluktuasi kadar air, sehingga perlu dilakukan stabilisasi tanah. Penelitian ini menggunakan sampel lempung Bobonaro dari Desa Oebelo yang distabilisasi dengan kapur 5%, *fly ash* dengan variasi 10%, 20%, dan 30% dan *bottom ash* 20% dari berat kering tanah. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan stabilisasi pada lempung Bobonaro terhadap sifat makrostruktur dan mikrostruktur tanah menggunakan metode eksperimental. Hasil pengujian sifat makrostruktur tanah menunjukkan penambahan stabilisator menyebabkan penurunan berat jenis, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, kadar air optimum, potensi dan tekanan pengembangan tanah, serta peningkatan batas susut dan berat volume kering. Hasil pengujian sifat mikrostruktur tanah yang distabilisasi menunjukkan penurunan persentase mineral montmorilonit dan tanah yang distabilisasi menjadi struktur kristal atau blok sehingga meningkatkan kekompakan dan integritas tanah karena bahan stabilisator membuat pori-pori tanah dan retakan tanah terisi.

## **Abstract**

*Bobonaro Clay is an expansive clay found on Timor Island, NTT Province. Bobonaro clay often causes problems in the construction sector because it has high swelling and shrinkage properties due to fluctuations in water content, so it is necessary to stabilize the soil. This research used Bobonaro clay samples from Oebelo Village which were stabilized with 5% lime, fly ash with variations of 10%, 20% and 30% and bottom ash 20% of the dry weight of the soil. The aim of this research is to determine the effect of adding stabilizing materials to Bobonaro clay on the macrostructural and microstructural properties of the soil using experimental methods. The results of testing soil macrostructural properties show that the addition of stabilizers causes a decrease in specific gravity, liquid limit, plastic limit, plasticity index, optimum water content, soil swelling potential and pressure, as well as an increase in shrinkage limit and dry volume weight. The results of testing the microstructural properties of the stabilized soil show a decrease in the percentage of montmorillonite minerals and the soil is stabilized into a crystal or block structure thereby increasing the compactness and integrity of the soil because the stabilizer makes the soil pores and soil cracks fill.*

## 1. Pendahuluan

Tanah merupakan bagian penting dalam dari sebuah struktur perkerasan. Tanah harus memiliki daya dukung yang baik dan kondisi yang stabil. Namun tidak semua jenis tanah demikian, terdapat jenis tanah yang memiliki daya dukung lemah, dan tidak stabil sehingga terjadi kerusakan jalan. Kerusakan jalan dapat menghambat kegiatan, perekonomian, hubungan sosial, dan budaya antar wilayah. Lempung Bobonaro merupakan lempung ekspansif yang terdapat di Pulau Timor Provinsi Nusa Tenggara Timur, merupakan salah satu jenis tanah yang sering menimbulkan kerusakan perkerasan jalan, hal ini disebabkan lempung Bobonaro mempunyai sifat kembang susut yang tinggi dipengaruhi perubahan kadar air dalam tanah tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bella dkk (2015), Hangge (2017), Fernandez (2017), Hangge dkk (2021), dan Hangge dkk (2022), tanah Desa Oebelo termasuk tanah lempung ekspansif dengan derajat ekspansif tinggi sampai sangat tinggi berdasarkan nilai indeks plastisitas (PI) yang diperoleh berkisar 30,13% - 46,53%. Untuk mengatasi masalah sifat ekspansif dari lempung Bobonaro yang mempunyai sifat kembang susut yang tinggi tersebut dilakukan dengan cara stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dasar supaya daya dukung tanahnya menjadi lebih baik sehingga tanah tersebut menjadi stabil dan mampu memikul beban yang bekerja terhadap konstruksi diatasnya (Apriyanti, 2014). Salah satu stabilisasi yang dapat dilakukan yaitu stabilisasi kimiawi dengan menambah beberapa jenis material kimiawi seperti kapur, *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan stabilisasinya. Kapur merupakan bahan stabilisasi secara kimiawi yang bersifat basa. Prinsip stabilisasi tanah dengan kapur adalah mencampurkan kapur untuk memanfaatkan keunggulan sifat-sifat teknis dari bahan kapur, dengan tanah yang memiliki karakteristik yang kurang baik, seperti tanah dengan plastisitas yang tinggi, potensi ekspansif yang tinggi dan lain sebagainya (Darwis, 2017). Kapur dapat menimbulkan pertukaran ion lemah sodium oleh ion kalsium yang berada pada permukaan tanah lempung, sehingga persentase partikel halus cenderung menjadi partikel yang lebih kasar. Banyaknya bahan kapur yang digunakan untuk keperluan stabilisasi tanah ekspansif berkisar antara 2-10% dari berat kering tanah lempung (Pd T-10-2005-B, 2005). *Fly ash* (abu terbang) merupakan sisa pembakaran batu bara yang berbentuk partikel halus. *Fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), fosfor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan karbon (Apriyanti, 2014). Penambahan kapur dan *fly ash* pada tanah lempung ekspansif, struktur mikro tanah ekspansif (terutama *montmorillonite*) sangat berubah dikarenakan kapur dan *fly ash* membentuk  $\text{Ca}^{2+}$ .  $\text{Ca}^{2+}$  bervalensi tinggi menggantikan  $\text{K}^+$  dan  $\text{Na}^+$  dalam tanah ekspansif melalui pertukaran ion untuk mengurangi ketebalan lapisan partikel tanah (Zhou dkk 2019). *Bottom ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara yang ukurannya lebih besar dari pada *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*). Beberapa kandungan kimia pada *bottom ash* seperti Si, Al, Ti, Ca dan Fe memiliki peranan dalam mengikat partikel-partikel negatif yang ada pada permukaan tanah (Purnama dan Ridwan, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif terhadap sifat makrostruktur dan mikrostruktur tanah.

## 2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan yaitu sampel lempung Bobonaro yang diambil dari Desa Oebelo, serta bahan stabilisasi yaitu kapur, *fly ash* dan *bottom ash*. Kapur yang digunakan dibeli di Jl. Timor Raya KM 9, Kota Kupang, dengan nilai CaO sebesar 62,94% (Ullu, 2021). *Fly ash* dan *bottom ash* diambil dari PLTU Bolok, Kabupaten Kupang. *Fly ash* yang digunakan memiliki nilai Cao sebesar 10,64%, termaksud dalam tipe CI (Dom, 2021). Sedangkan *bottom ash* yang digunakan memiliki nilai CaO sebesar 13,92% (Manek, 2022). Metode yang digunakan yaitu metode eksperimental dengan mencampurkan tanah dengan bahan stabilisasi.

### 2.1 Persiapan Bahan Uji

Sampel tanah terganggu yang telah diambil kemudian dikeringkan dengan dijemur di bawah terik matahari langsung selama 3–4 hari. Setelah kering dihancurkan dan diayak menggunakan saringan No. 4, 10 dan 40.

2.2 Pembuatan Benda Uji

- a. Pembuatan benda uji yakni tanah asli yang telah diuji sifat fisik dan mekaniknya, dicampur dengan bahan stabilisasi yaitu kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dalam beberapa variasi. Variasi benda uji tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1** Variasi Campuran Benda Uji

Jenis Sampel	Komposisi
Tanah Asli (TA)	Tanah 100%
Variasi I (V1)	Tanah Asli + Kapur 5% + <i>fly ash</i> 10% + <i>bottom ash</i> 20%
Variasi II (V2)	Tanah Asli + Kapur 5 % + <i>fly ash</i> 20% + <i>bottom ash</i> 20%
Variasi III (V3)	Tanah Asli + Kapur 5 % + <i>fly ash</i> 30% + <i>bottom ash</i> 20%

- b. Untuk pengujian sifat mekanik tanah yaitu potensi dan tekanan pengembangan tanah menggunakan alat oedometer, sampel tanah yang digunakan diperam terlebih dahulu selama 7 hari untuk memberikan waktu pada campuran tanah dan bahan stabilisasi untuk bereaksi. Sedangkan pengujian mikrostruktur tanah dilakukan pada 2 sampel yakni sampel tanah asli dan sampel tanah yang distabilisasi yang memiliki nilai potensi dan tekanan pengembangan terendah yakni variasi III.

2.3 Pengujian Sifat Makrostruktur Dan Mikrostruktur Tanah

Tanah asli dan tanah yang distabilisasi menggunakan campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* meliputi beberapa pengujian diantaranya:

1. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-98)
2. Pengujian berat jenis spesifik (ASTM D 854-02)
3. Pengujian analisis saringan (ASTM D 442-63)
4. Pengujian hydrometer (ASTM D 442-63)
5. Pengujian batas-batas *atterberg*:
  - a. Pengujian batas cair (ASTM D 4318-00)
  - b. Pengujian batas plastis (ASTM D 4318-00)
  - c. Pengujian batas susut (ASTM D 427-04)
6. Pengujian pemadatan standar Proctor (ASTM D 698-00)
7. Pengujian potensi pengembangan dan tekanan pengembangan tanah (ASTM D 4546-96)
8. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)
9. Pengujian XRD (Analisis struktur kristal dan fasa dengan *X-Ray Diffractometer*)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sifat Makrostruktur Tanah Asli

Berdasarkan pengujian yang dilakukan hasil pengujian sifat makrostruktur tanah asli terdapat dalam Tabel 2.

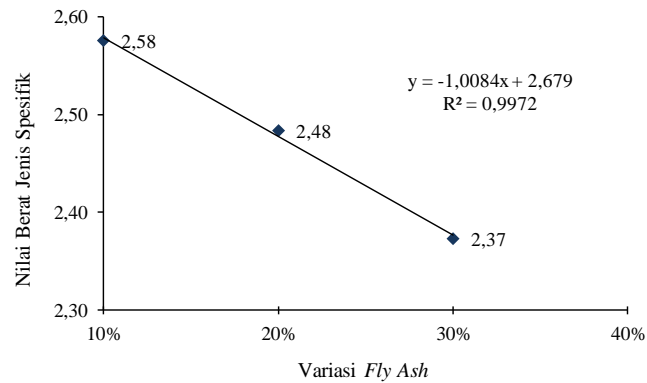
**Tabel 2.** Sifat Makrostruktur Tanah Asli

No	Parameter	Hasil
1	Kadar air (w)	29,19 %
2	Berat jenis spesifik ( <i>Specific Gravity</i> )	2,66
3	Batas cair ( <i>Liquid Limit</i> )	70,22 %
4	Batas plastis ( <i>Plastic Limit</i> )	29,44 %
5	Batas susut ( <i>Shrinkage Limit</i> )	9,47 %
6	Indeks plastisitas ( <i>Plasticity Index</i> )	40,78 %
7	Butiran tertahan saringan No. 200	1,40%
8	Butiran lolos saringan No. 200	98,60%
9	Kadar air optimum	32,60 %
10	Berat volume kering maksimum	1,28 g/cm <sup>3</sup>
11	Potensi pengembangan tanah	6,10 %
12	Tekanan pengembangan tanah	355,08 kPa

Berdasarkan Tabel 2, tanah lempung Bobonaro dari Desa Oebelo masuk kelompok A-7-6 dengan nilai GI sebesar 48, yang dikategorikan jelek sebagai lapisan perkerasan menurut sistem klasifikasi AASHTO, sedangkan berdasarkan nilai indeks plastisitas dan persentase butir tanah lolos saringan No. 200, menurut sistem USCS tergolong kedalam lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH).

### 3.2 Pengaruh Stabilisasi Tanah Terhadap Sifat Makrostruktur

#### 3.2.1 Berat Jenis Spesifik



**Gambar 1.** Pengaruh Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Terhadap Nilai Berat Spesifik

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai berat jenis spesifik tanah. Besarnya persentase penurunan berturut-turut yakni 3,01%, 6,77%, dan 10,90% terhadap nilai berat jenis spesifik tanah asli sebesar 70,22%. Penurunan terjadi akibat perbedaan berat spesifik bahan stabilisator dibandingkan dengan tanah asli, karena nilai berat jenis spesifik dari bahan-bahan stabilisator yaitu kapur, *fly ash* dan *bottom ash* lebih kecil dibanding dengan nilai berat jenis spesifik tanah asli.

#### 3.2.2 Batas-batas Atterberg

Hasil pengujian batas-batas atterberg tanah yang distabilisasi ditunjukkan dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Batas-Batas Atterberg Tanah Yang Distabilisasi

No	Variasi Benda Uji	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
1	TA+ 5% K + 10% FA+ 20% BA (V1)	53,66	27,13	33,91	26,54
2	TA+ 5% K + 20% FA+20% BA (V2)	49,77	25,79	44,23	23,67
3	TA+ 5% K + 30% FA+20% BA (V3)	45,23	23,64	53,13	21,59

##### a. Batas Cair

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai batas cair tanah. Persentase penurunan batas cair berturut-turut yaitu 23,58%, 29,56% dan 35,59% terhadap nilai batas cair tanah asli sebesar 70,22%.

##### b. Batas Plastis

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai batas plastis tanah. Persentase penurunan batas plastis yang terjadi berturut-turut yaitu 7,86%, 12,39%, dan 19,69% terhadap nilai batas plastis tanah asli sebesar 29,44%. Penurunan nilai batas plastis tanah disebabkan karena sifat kapur dan *fly ash* yang mudah menyerap air sehingga tanah mendekati sifat semi padat pada saat kandungan air dalam tanah tersebut sedikit (Hangge dkk, 2020).

##### c. Batas Susut

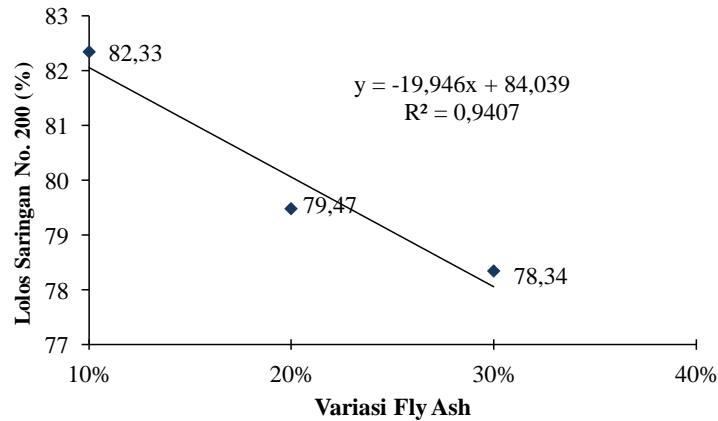
Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan nilai batas susut tanah mengalami peningkatan. Besarnya peningkatan nilai batas susut berturut-turut yaitu 3,58, 4,67 dan 5,61 kali dari nilai batas susut tanah asli. Hal ini diakibatkan menyatunya butiran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* terhadap tanah asli yang menyebabkan tanah asli kehilangan

sifat kelemungannya yang sehingga kemampuan susut pada tanah asli tersebut berkurang, menyebabkan naiknya nilai batas susut pada tanah tersebut setelah distabilisasi (Galla, 2022).

d. Indeks Plastisitas

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai indeks plastisitas dari tanah. Persentase penurunan tersebut berturut-turut yaitu 34,92%, 41,95%, dan 47,06% terhadap nilai indeks plastisitas tanah asli sebesar 40,78%. Penurunan nilai indeks plastisitas dipengaruhi oleh nilai batas cair dan batas plastis tanah.

3.2.3 Distribusi Butiran



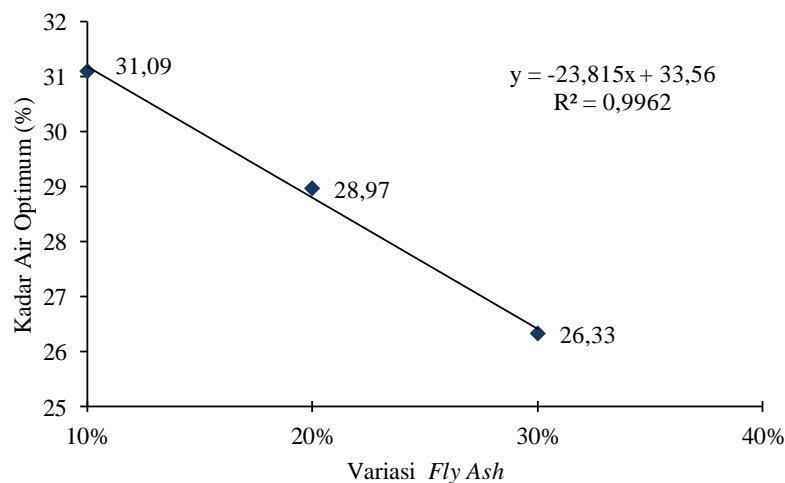
**Gambar 2.** Pengaruh Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Terhadap Distribusi Ukuran Butir Tanah

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan persentase tanah yang lolos saringan No. 200. Besarnya penurunan persentase yang terjadi berturut-turut 16,50%, 19,40% dan 20,54% terhadap nilai nilai persentase lolos saringan No. 200 tanah asli sebesar 98,60%. Penurunan persentase tanah lolos saringan No. 200 disebabkan oleh bahan stabilisasi yang memiliki persentase lolos saringan No. 200 yang lebih kecil dibanding tanah asli.

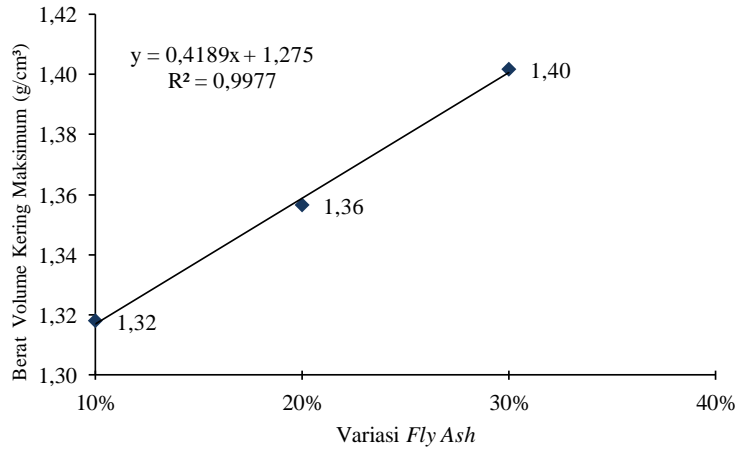
3.3 Pengaruh Stabilisasi Tanah Terhadap Sifat Mekanik

3.3.1 Pemasatan Standar Proctor

Hasil pengujian pemasatan standar Proctor yaitu kadar air optimum dan berat kering maksimum tanah asli dan tanah yang distabilisasi. Hasil pengujian kadar air optimum tanah yang distabilisasi ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan hasil pengujian berat volume kering maksimum ditunjukkan Gambar 4.



**Gambar 3.** Pengaruh Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Kadar Air Optimum

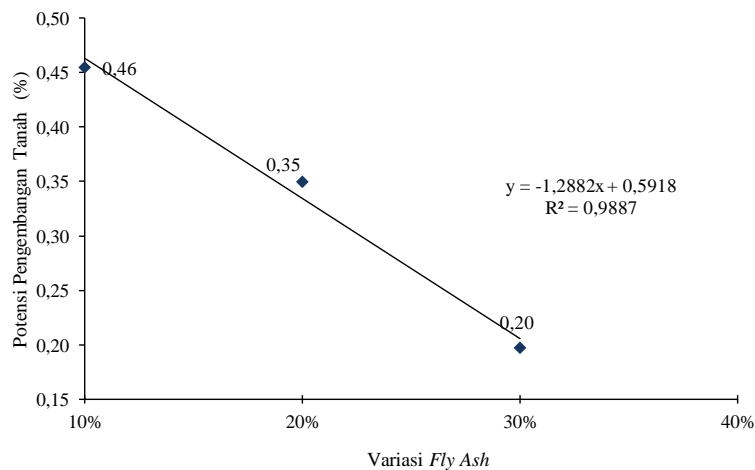


**Gambar 4.** Pengaruh Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Berat Volume Kering Maksimum Tanah

Penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* menyebabkan penurunan nilai kadar air optimum tanah. Besarnya penurunan kadar air optimum tanah yang distabilisasi berturut-turut yakni 4,63%, 11,13% dan 19,23% terhadap nilai kadar air optimum tanah asli sebesar 32,60%. Sedangkan berat volume kering tanah yang distabilisasi mengalami peningkatan. Besarnya peningkatan nilai berat volume kering tanah maksimum yang terjadi berturut-turut yakni 1,03, 1,06 dan 1,09 kali dari nilai pendekatan berat volume kering maksimum tanah asli. Hal ini diakibatkan dari reaksi antara tanah dengan bahan stabilisasi yang membentuk gumpalan dan mengisi rongga pori pada tanah sehingga membentuk struktur tanah yang semakin padat dan berat kering maksimumnya juga ikut meningkat (Hangge dkk, 2022).

3.3.2 Potensi Pengembangan Tanah

Hasil pengujian potensi pengembangan tanah yang distabilisasi di tunjukkan pada Gambar 5.

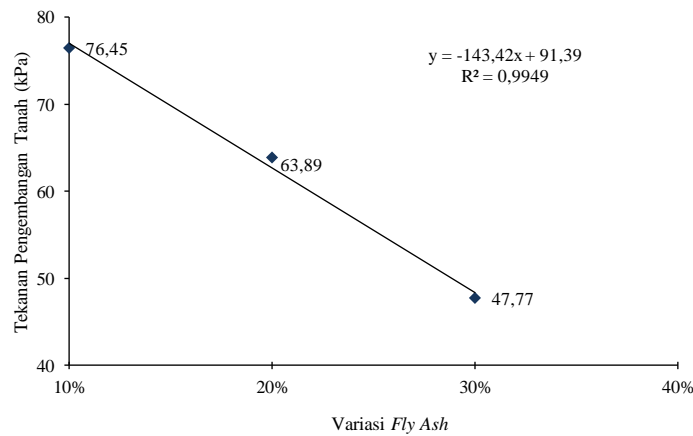


**Gambar 5.** Pengaruh Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Potensi Pengembangan Tanah

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* (10%, 20% dan 30%), menyebabkan penurunan nilai potensi pengembangan tanah. Besarnya penurunan yang terjadi berturut-turut yaitu 92,54%, 94,26% dan 96,77% terhadap terhadap nilai potensi pengembangan tanah asli. Penurunan potensi pengembangan tanah disebabkan karena adanya reaksi *pozzolanic* dan *cementious* akibat campuran bahan stabilisasi yang memperkuat ikatan antar butiran tanah, sehingga penyerapan air menjadi lebih sedikit (Hangge dkk, 2020).

### 3.3.3 Tekanan Pengembangan Tanah

Hasil pengujian tekanan pengembangan tanah yang distabilisasi di tunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Pengaruh Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 20% dan 30% Tekanan Pengembangan Tanah

Gambar 6 memperlihatkan bahwa penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan peningkatan persentase *fly ash* (10%, 20% dan 30%), menyebabkan penurunan nilai tekanan pengembangan tanah. Besarnya penurunan nilai tekanan pengembangan tanah yaitu 78,47%, 82,01% dan 86,55% terhadap terhadap nilai tekanan pengembangan tanah asli. Penurunan nilai tekanan pengembangan tanah dikarenakan seiring dengan penambahan bahan stabilisasi terjadi peningkatan nilai berat volume kering maksimum tanah.

### 3.4 Pengaruh Stabilisasi Tanah Terhadap Sifat Mikrostruktur

#### 3.4.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral yang terkandung didalam tanah. Hasil pengujian XRD tanah asli ditunjukkan pada Tabel 3 dan pengujian XRD tanah yang distabilisasi ditunjukkan Tabel 4.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian XRD Tanah Asli

No	Jenis Mineral	Persentase Mineral
1	Montmorillonit	45,4 %
2	Quartz Alpha	44 %
3	Calcite	10,5 %

**Tabel 4.** Hasil Pengujian XRD Tanah Yang Distabilisasi

No	Jenis Mineral	Persentase Mineral
1	Montmorillonit	28 %
2	Quartz Alpha	42,8 %
3	Calcite	28,5 %
4	Gallium Zinc Oxide	0,7 %

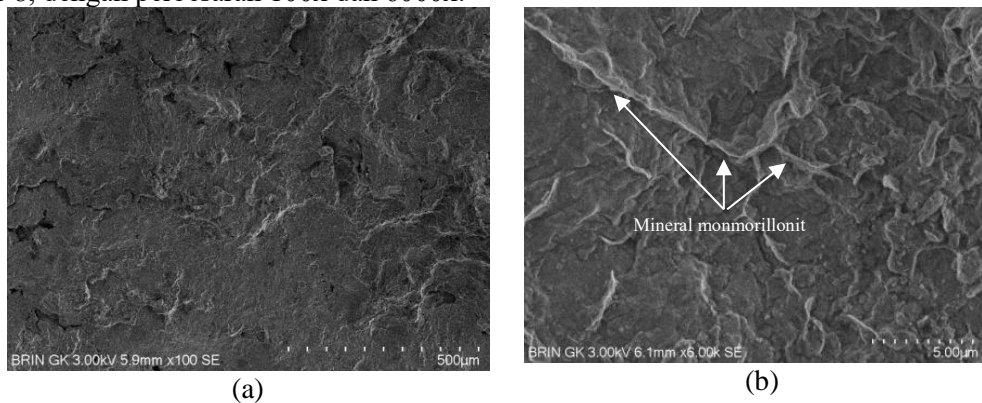
Berdasarkan hasil pengujian XRD tanah asli dan tanah yang distabilisasi, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan mineral montmorilonit pada tanah yang distbailisasi sebesar 38,33% dari tanah asli, yang sebelumnya persentase kandungan montmorilonit sebesar 45,4%. Penurunan kandungan mineral montmorilonit disebabkan penambahan bahan stabilisasi sehingga luas permukaan spesifik tanah yang besar menjadi lebih kecil sehingga potensi pengembangan tanah menurun.

#### 3.4.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik tanah dan morfologi tanah. Hasil pengujian SEM tanah asli ditunjukkan pada Gambar 7,

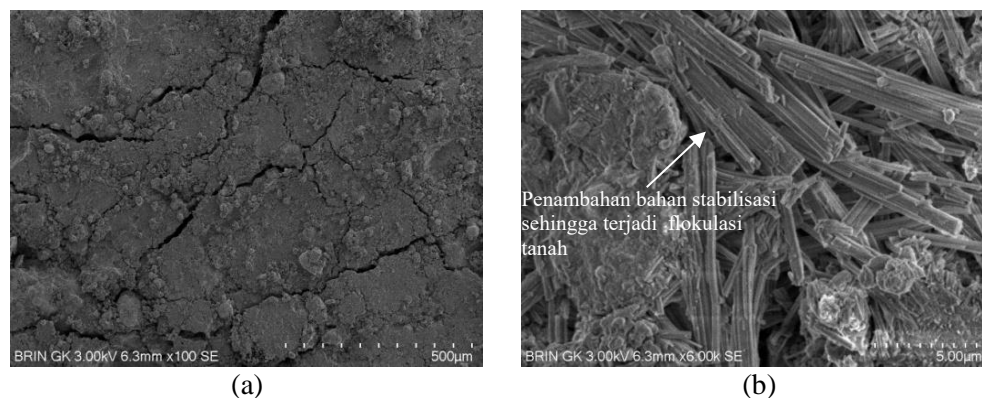


dengan perbesaran 100x dan 6000x. Untuk pengujian SEM tanah yang distabilisasi ditunjukkan pada Gambar 8, dengan perbesaran 100x dan 6000x.



**Gambar 7.** Hasil pengujian SEM Tanah Asli dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 6000x

Secara visual dapat dilihat bahwa tanah asli tersusun dari lembaran-lembaran mineral yang dapat digolongkan sebagai mineral montmorilonit. Lembaran mineral montmorilonit tampak menggumpal seperti kertas yang bertumpuk dan ikatan antar mineral lemah. Semakin tinggi pembesaran, semakin terlihat bahwa permukaan tanah asli yang pori-pori dan retakan yang jelas sehingga membentuk saluran air, sehingga terjadi kembang susut tanah. Mineral montmorilonit yang terkandung dalam tanah yang memiliki luas permukaan yang besar sehingga mudah menyerap air menyebabkan sifat kembang susut pada tanah. Menurut Zhou dkk (2019), sifat mikrostruktur dari tanah lempung ekspansif sebagian besar dalam struktur serpihan dan flokulan dengan pori-pori dan retakan yang jelas.



**Gambar 8.** Hasil pengujian SEM Tanah yang Distabilisasi dengan perbesaran (a) 100x dan (b) 6000x

Secara visual dilihat bahwa sampel tanah yang ditambahkan kapur 5%, *fly ash* 30% dan *bottom ash* 20%, berbentuk seperti kayu usuk, yang menunjukkan bahwa penambahan bahan stabilisasi yaitu kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dapat mengikat tanah sehingga terjadi flokulasi pada tanah dan tanah menjadi padat. Struktur tanah yang distabilisasi lebih kompak dibandingkan dengan sampel tanah asli. Pori-pori dan retakan tanah terisi oleh partikel kapur, *fly ash* dan *bottom ash* yang saling berikatan dan mengalami reaksi hidrasi, pozolanik dan sementasi sehingga tanah menjadi struktur blok yang kokoh dan kekompakan tanah serta kekuatan tanah meningkat.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang stabilisasi lempung Bobonaro Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash*, dapat disimpulkan bahwa pertama penambahan kapur 5% (tetap), *bottom ash* 20% (tetap) dan peningkatan persentase *fly ash* (10%, 20% dan 30%) menyebabkan terjadi penurunan nilai berat jenis spesifik, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas tanah dan persentase tanah lolos saringan No. 200 mengalami penurunan. Adapula nilai batas susut dan persentase tanah tertahan saringan No. 200 mengalami peningkatan.



Kedua, Seiring dengan penambahan persentase *fly ash*, nilai berat volume kering maksimum tanah semakin meningkat, sedangkan nilai kadar air optimum tanah, potensi dan tekanan pengembangan tanah mengalami penurunan, Ketiga, Tanah yang distabilisasi menunjukkan penurunan persentase kandungan montmorillonit sebesar 38,33% dari persentase kandungan montmorillonit tanah asli. Pada pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM), menunjukkan bahwa tanah asli mempunyai pori-pori dan retakan yang jelas yang setelah distabilisasi mempunyai pori-pori dan retakan tanah terisi oleh partikel kapur, *fly ash* dan *bottom ash* yang saling berikatan dan mengalami hidrasi dan flokulasi.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana yang telah mendanai penelitian ini melalui Dana PNPB DIPA Universitas Nusa Cendana Tahun 2023 No. SP-DIPA21/UN15.15.3.PPK/SPP/FST/IV/2023.

### Daftar Pustaka

- ASTM. 1980. Annual Books Of ASTM Standards (American Society For Testing Material). Philadelphia.
- Apriyanti, Yayuk. 2014. Peningkatan Nilai CBR Tanah Lempung Dengan Menggunakan Semen Untuk Timbunan Jalan. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil. Universitas Bangka Belitung. Bangka Belitung.
- Darwis, H. 2017. *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ. Nyutran MG II.
- Fernandez, G.J.W. 2007. Kajian Karakteristik Lempung Bobonaro Di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Hangge, E. E.. 2017. Pengaruh Perubahan Kadar Air Pada Potensi Pengembangan Lempung Oebelo Kabupaten. *Prosiding Seminar Nasional Teknik. FST Undana*.04-05 November 2017, Kupang Indonesia. 415-422
- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Ullu, M. C. 2020. "Pemanfaatan *Fly Ash* untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif." *Jurnal Teknik Sipil* 10(1): 1-14.
- Hangge, E. E., Cornelis, R., & Dom, A. Y. 2021. "Pengaruh *Fly Ash* pada Stabilisasi Lempung Ekspansif terhadap Nilai Tegangan Geser dan CBR." *Jurnal Forum Teknik Sipil* 2(1): 1-11.
- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Manek A.Q.S., 2022. "Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Kapur, *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Terhadap Kapasitas Dukung Tanah." *Jurnal Forum Teknik Sipil* 2(2): 33-44.
- Hangge, E. E., Cornelis, R., & Galla H. D 2022. "Perilaku Tegangan Regangan Lempung Ekspansif yang Distabilisasi Menggunakan distabilisasi Kapur, *Fly Ash* dan *Bottom Ash*." *Jurnal Forum Teknik Sipil* 2(2): 01-10.
- Purnama, Yuda. 2017. "Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal." *Ejournal Unesa* 2(5) :1-9.
- Sosrodarsono, S. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zhou, Sheng-quan., Zhou, Da-wei., Zhang, Young-fei., & Wang, Wei-jian. 2019. *Study on Physical-Mechanical properties And Microstructure of Expansive Soil Stabilized with Fly Ash and Lime*. *Advances in Civil Engineering*.