

Pengaruh Kapur dan Fly Ash Pada Stabilisasi Lempung Ekspansif Terhadap Sifat Fisik-Mekanik dan Mikrostruktur

The Influence of Lime and Fly Ash on Stabilization of Expansive Clay Soil on Physical-Mechanical and Microstructural Properties

Elsy E. Hangge¹, Elia Hunggurami², Fransiskus Januarario Harjono^{3*)}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Abstrak

Kata kunci:

Stabilisasi tanah lempung ekspansif, potensi dan tekanan pengembangan tanah, sifat mikrostruktur, kapur dan *fly ash*

Keywords:

Expansive clay soil stabilization, soil expansion potential and pressure, microstructural properties, lime and fly ash

Article history:

Received: 03-07-2024

Accepted: 28-09-2024

*)Koresponden email:

renolharjono@gmail.com

Tanah lempung ekspansif Desa Oebelo merupakan tanah yang memiliki sifat kembang susut yang tinggi. Salah satu cara perbaikan tanah tersebut dengan stabilisasi kimiawi. Tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan kapur dan *fly ash* terhadap sifat fisik, sifat mekanik khususnya kepadatan tanah, potensi pengembangan tanah dengan tekanan 6,9 kPa menggunakan alat oedometer dengan adanya pemeraman 7 hari pada tanah distabilisasi dan tekanan pengembangan tanah, serta sifat mikrostruktur tanah melalui uji SEM dan XRD pada tanah asli dan distabilisasi. Metode yang digunakan ialah metode eksperimental dengan menggunakan campuran kapur 5% dan *fly ash* 10% (V1), 20% (V2) dan 30% (V3) terhadap berat kering tanah. Hasil pengujian menunjukkan seiring penambahan stabilisator nilai berat jenis, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, distribusi ukuran butiran, kadar air optimum, potensi pengembangan dan tekanan pengembangan mengalami penurunan sedangkan batas susut dan berat volume kering maksimum mengalami peningkatan. Kandungan mineral montmorillonit pada tanah lempung ekspansif sebesar 45,4% menjadi 26,2% dan luas permukaan spesifik tanah lempung ekspansif menunjukkan berbentuk lembaran yang besar sedangkan pada tanah distabilisasi terjadi gumpalan antara bahan stabilisasi dengan tanah.

Abstract

The expansive clay soil in Oebelo Village exhibits a high shrink-swell characteristic. One method for improving such soil is through chemical stabilization. The aim of this research is to investigate the effects of stabilizing expansive clay soil using lime and fly ash on its physical and mechanical properties, specifically soil density, soil expansion potential at 6.9 kPa pressure using an oedometer apparatus with a 7-day curing period for stabilized soil, soil expansion pressure, and soil microstructure properties through SEM and XRD tests on both original and stabilized soil. The method employed is experimental, using a mixture of 5% lime and 10% fly ash (V1), 20% (V2), and 30% (V3) relative to the dry weight of the soil. Test results indicate that with the addition of stabilizers, the values of specific gravity, liquid limit, plastic limit, plasticity index, grain size distribution, optimum water content, expansion potential, and expansion pressure decrease, while shrinkage limit and maximum dry unit weight increase. The montmorillonite mineral content in the expansive clay soil decreases from 45.4% to 26.2%, and the specific surface area of the expansive clay soil indicates significant sheet-like formations, whereas in the stabilized soil, there are agglomerates between the stabilizing material and the soil.

Kutipan: Diisi oleh Editor

Copy Right to J-ForTeks

DOI :

1. Pendahuluan

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki potensi kembang susut yang tinggi akibat adanya perubahan kadar air. Salah satu permasalahan tanah dasar ini dapat kita temukan di Desa Oebelo. Lempung Desa Oebelo merupakan lempung ekspansif berdasarkan penelitian (Hangge dan Hunggurami, 2011). Berdasarkan penelitian sebelumnya Hangge dan Hunggurami (2011), Bella dkk (2015), Hangge dkk (2021, 2022) lempung ekspansif di Desa Oebelo memiliki nilai indeks plastisitas tanah (PI) berkisar 30,13%-53,09%. Tanah lempung Desa Oebelo masuk ke dalam jenis tanah lempung ekspansif dengan tingkat potensi pengembangan tinggi karena memiliki nilai PI 20%-55% (Chen, 1975). Menurut Bella dkk (2015) beberapa jenis kerusakan rumah akibat pengembangan tanah lempung ekspansif di Desa Oebelo ialah dinding terbelah, retak pada dinding, retak pada lantai, retak antara sambungan sloof dengan pondasi dan retak pada sambungan antara kolom dengan dinding. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan tanah dasar untuk mengatasi masalah tanah ekspansif dengan sifat kembang susut yang tinggi tersebut, salah satunya dengan metode stabilisasi kimiawi. Namun pada Penelitian terdahulu oleh Hangge dkk (2021, 2022) pada tanah lempung ekspansif Desa Oebelo, hanya ditinjau pengaruh bahan stabilisator terhadap sifat makrostruktur tanah saja berupa pengujian sifat fisik dan mekanis sedangkan pada sifat mikrostrukturnya pada lempung Desa Oebelo belum diteliti. Faktor makrostruktur tanah ditentukan dari faktor mikrostruktur tanahnya. Menurut Wayllace (2008) menyatakan potensi dan tekanan pengembangan tanah lempung ekspansif pada makrostruktur merupakan hasil Kumpulan pengembangan yang terjadi pada mikrostruktur yang mana dipengaruhi oleh porositas (rasio pori), bentuk partikel, kondisi kekang, kadar air awal, air pori, dan kimia lempung.

Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya oleh Hangge dkk (2021, 2022) yang melakukan uji potensi pengembangan menggunakan CBR terendam, sedangkan pada penelitian ini pengujian potensi pengembangan dilakukan secara langsung menggunakan alat uji Oedometer dengan aplikasi tekanan 6,9 kPa dan juga dilakukan uji tekanan pengembangan, serta menguji sifat mikrostruktur dari tanah asli dan tanah yang distabilisasi untuk mengetahui kandungan mineral dominan pada tanah asli dan stabilisasi melalui uji *X-ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* digunakan untuk mengetahui luas permukaan spesifik tanah asli dan stabilisasi.

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah tanah lempung ekspansif yang diambil dari Jl. Timor Raya Km.21, Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Bahan stabilisasi berupa kapur padam dibeli di Kota Kupang dan *fly ash* diambil dari PLTU Bolok Kupang. Metode yang digunakan ialah metode eksperimental dengan melakukan pengujian di Laboratorium dari bulan Februari 2023 sampai Februari 2024

2.1. Teknik Pengambilan Data

1. Teknik Observasi

Teknik observasi yaitu teknik pengambilan data melalui pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana Kupang dan Badan Riset dan Balai Inovasi Nasional (BRIN) Yogyakarta.

2. Teknik Dokumentasi

Teknik dokumentasi yaitu teknik pengambilan data yang diperoleh dengan cara menghimpun teori-teori, rumus-rumus dan ketentuan yang relevan dengan materi penelitian dari buku-buku tertentu. Data yang diperoleh berupa teori dan rumus diambil dari buku-buku mekanika tanah serta hasil pengujian dilaboratorium

2.2. Tahapan Penelitian

1. Pengambilan Sampel dan Persiapan Material Benda Uji

Tanah diambil dari lokasi Desa Oebelo Jl. Timor Raya Km. 21, pada kedalaman ± 50 cm dari permukaan tanah. Sebelum pengujian, tanah dikeringkan dengan dijemur di bawah terik matahari selama 3–4 hari, setelah kering tanah dihancurkan kemudian diayak menggunakan saringan No. 4, No.10, dan No.40.

2. *Pengujian Tanah Asli*

Pengujian terlebih dahulu dilakukan terhadap tanah asli untuk mengetahui sifat-sifat fisik yaitu dengan pengujian kadar air, gravitasi khusus (*Specific Gravity*), batas-batas konsistensi (*Atterberg Limit*), analisis saringan, hidrometer serta sifat-sifat mekanis yaitu dengan pengujian pemadatan standar proctor, potensi pengembangan dan tekanan pengembangan, pengujian sifat mikrostruktur seperti uji XRD dan uji SEM.

3. *Pembuatan Benda Uji*

Membuat campuran tanah dengan penambahan kapur dan *fly ash* dalam beberapa variasi campuran dengan persentase yang telah direncanakan, yaitu berat kapur dan *fly ash* dihitung terhadap berat kering tanah. Variasi campuran kapur dan *fly ash* ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Campuran Kapur dan *Fly Ash*

No	Jenis Sampel	Komposisi
1.	Tanah Asli (TA)	Tanah Asli
2.	Variasi I (V1)	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly Ash</i>
3.	Variasi II (V2)	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly Ash</i>
4.	Variasi III (V3)	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly Ash</i>

4. *Pengujian Sifat Fisik, Mekanis, dan Mikrostruktur Tanah Setelah Distabilisasi*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, mekanis dan mikrostruktur dari tanah asli dan perubahannya akibat stabilisasi menggunakan kapur dan *fly ash* dengan meliputi pengujian:

A. Pengujian sifat fisik

1. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-98)
2. Pengujian berat jenis (ASTM-854-02)
3. Pengujian analisa saringan (ASTM D 422-63)
4. Pengujian hidrometer (ASTM D 422-63)
5. Pengujian batas-batas atterberg
 - ❖ Pengujian batas cair (ASTM D 4318-00)
 - ❖ Pengujian batas plastis (ASTM D 4318-00)
 - ❖ Pengujian batas susut (ASTM D 427-98)

B. Pengujian sifat mekanis

1. Pengujian proctor standar (ASTM D 698-00)
2. Pengujian potensi pengembangan (ASTM D 4546-96)
3. Pengujian tekanan pengembangan (ASTM D 4546-96)

Tabel 2. Jumlah Benda Uji Sifat Mekanis

Variasi Benda Uji	Jenis Pengujian	
	Pemadatan Standar	Potensi dan Tekanan Pengembangan (7 hari pemeraman)
TA	2	2
V1	2	1
V2	2	1
V3	2	1
Jumlah	8	5

C. Pengujian sifat mikrostruktur

1. Pengujian XRD (Analisis struktur kristal dan fasa dengan X-Ray Diffactometer)
2. Pengujian SEM (SEM)

Tabel 3. Jumlah Sampel Pengujian XRD dan SEM

Jenis Pengujian	Jumlah	Jenis Sampel	Komposisi
SEM	2	TA	Tanah Asli
		V3	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly Ash</i>
XRD	2	TA	Tanah Asli
		V3	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly Ash</i>

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Tanah Asli

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan mekanis di laboratorium, karakteristik tanah asli dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik Tanah Asli

No	Parameter	Hasil
1.	Kadar air (w)	29,22 %
2.	Berat jenis spesifik (<i>specific gravity</i>)	2,68
3.	Batas cair (<i>liquid limit</i>)	71,68 %
4.	Batas plastis (<i>plastic limit</i>)	29,75 %
5.	Batas susut (<i>shrinkage limit</i>)	9,38 %
6.	Indeks plastisitas (<i>plasticity index</i>)	41,93 %
7.	Butiran lolos saringan No. 200 (butiran halus)	98,68 %
8.	Fraksi kerikil (> 2 mm)	0%
9.	Fraksi pasir (2 mm – 0,075 mm)	1,32%
10.	Fraksi lanau (0,075 mm – 0,002 mm)	73,78%
11.	Butiran fraksi lempung 0,002 mm, CF	24,90 %
12.	Aktivitas, $A_c = PI/CF - 10$	2,81
13.	Kadar air optimum	32,60 %
14.	Berat volume kering maksimum	1,28 g/cm ³
15.	Potensi pengembangan	6,10 %
16.	Tekanan pengembangan	355,08 kPa

3.2. Sistem Klasifikasi Tanah Asli

Terdapat 2 sistem klasifikasi tanah yang digunakan berdasarkan distribusi ukuran dan batas-batas Atterberg yaitu sistem klasifikasi AASTHO dan sistem klasifikasi USCS (Das, 2009). Berdasarkan sistem AASTHO tanah asli masuk dalam klasifikasi kelompok A-7-6 dengan nilai GI sebesar 50. Nilai GI yang besar ini dapat disimpulkan bahwa tanah asli dikategorikan jelek sebagai lapisan tanah dasar. Berdasarkan sistem USCS tanah ini tergolong kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

3.3. Karakteristik Bahan Stabilisasi

Menurut Hangge dkk (2022) *fly ash* pada PLTU Bolok Kupang masuk kedalam kelas F berdasarkan ASTM, dikarenakan memiliki kadar total Al_2O_3 , SiO_2 , dan $Fe_2O_3 < 70%$ dimana kadar total *fly ash* sebesar 49,4%. Sedangkan berdasarkan *Canadian Standard CSA A-23.5 fly ash* pada PLTU Bolok Kupang termasuk kedalam tipe CL dengan kandungan kalsium yang rendah dengan nilai CaO sebesar 10,64%. Menurut Hangge dkk (2021) kadar CaO dalam kapur sebesar 62,94%, dengan kandungan CaO yang besar ini kaitannya dengan *fly ash*, kapur dapat memberikan sifat *cementitious* (kemampuan untuk mengeras dan bertambah kuat apabila bereaksi dengan air) pada *fly ash*.

3.4. Pengaruh Stabilisasi Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif

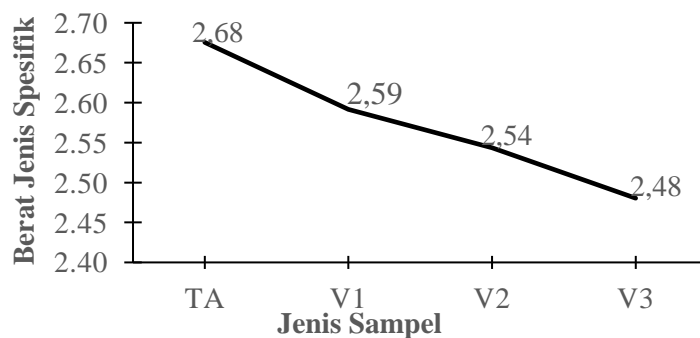
Stabilisasi tanah dilakukan dengan mencampur tanah asli (TA) dengan kapur 5% dan 3 variasi *fly ash* (V1) 10%, (V2) 20% dan (V3) 30% terhadap berat kering tanah asli. Hasil pengujian tanah setelah distabilisasi tercantum dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Tanah Distabilisasi

No	Parameter	TA + 5% KA		
		10% FA (V1)	20% FA (V2)	30% FA (V3)
1.	Berat jenis spesifik (Gs)	2,59	2,54	2,48
2.	Batas cair (LL) (%)	63,11	56,46	52,12
3.	Batas plastis (PL) (%)	28,07	26,17	25,06
4.	Batas susut (SL) (%)	39,05	42,92	43,66
5.	Indeks plastisitas (PI) (%)	35,04	30,28	27,07
6.	Butiran lolos saringan No.200 (%)	92,16	91,01	89,79
7.	Fraksi kerikil (> 2 mm) (%)	0	0	0
8.	Fraksi pasir (2 mm – 0,075 mm) (%)	7,84	8,99	10,21
9.	Fraksi lanau (0,075 mm – 0,002 mm) (%)	46,94	50,59	52,99
10.	Butiran fraksi lempung 0,002 mm, CF (%)	45,22	40,42	36,80
11.	Aktivitas, $A_c = PI/CF-10$	0,99	1,00	1,01
12.	Kadar air optimum (%)	30,60	27,12	25,37
13.	Berat volume kering maksimum (g/cm^3)	1,31	1,35	1,39
14.	Potensi pengembangan 7 hari pemeraman, S (%)	0,56	0,43	0,26
15.	Tekanan pengembangan 7 hari pemeraman (kPa)	110,78	84,89	57,74

3.4.1 Berat Jenis Spesifik

Hasil pengujian berat jenis spesifik tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 1.

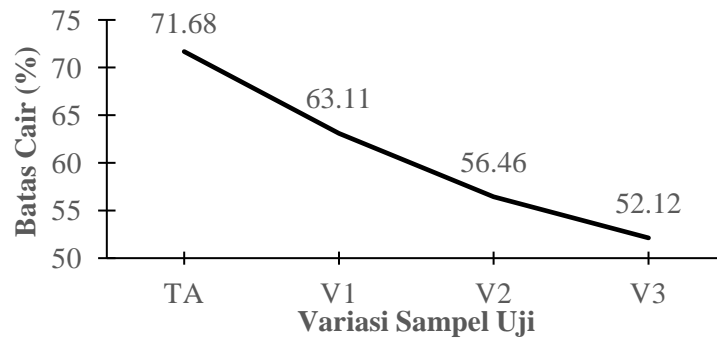


Gambar 1. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% *Fly Ash* Terhadap Berat Jenis Spesifik Tanah

Gambar 1 menunjukkan nilai berat spesifik terjadi penurunan dengan adanya penambahan bahan stabilisasi. Penurunannya 3,36%, 5,22% dan 7,46% terhadap nilai *specific gravity* tanah asli. Penurunan ini terjadi dikarenakan perbedaan berat jenis antara tanah asli dan bahan stabilisasi.

3.4.2 Batas Cair (Liquid Limit)

Hasil pengujian batas cair tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 2.

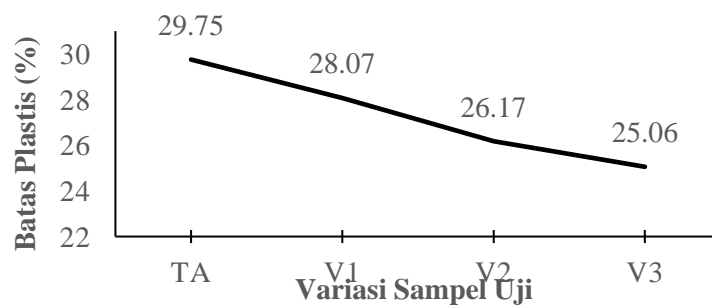


Gambar 2. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% Fly Ash Terhadap Batas Cair Tanah

Gambar 2 menunjukkan nilai batas cair terjadi penurunan seiring dengan adanya penambahan bahan stabilisasi. Penurunannya 11,96%, 21,24% dan 27,28% terhadap nilai *liquid limit* tanah asli. Terjadi penurunan dikarenakan adanya penambahan kapur dan *fly ash* yang dapat memunculkan kation pada air pori. Kation tersebut terjadi saling mengikat kation pada kapur dan *fly ash* dengan anion di tanah. Beberapa tanah mengikat kapur dan *fly ash*, sehingga mengurangi jumlah air yang ada pada tanah tanah (Leliana dan Andajani, 2015).

3.4.3 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Hasil pengujian batas plastis tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 3.

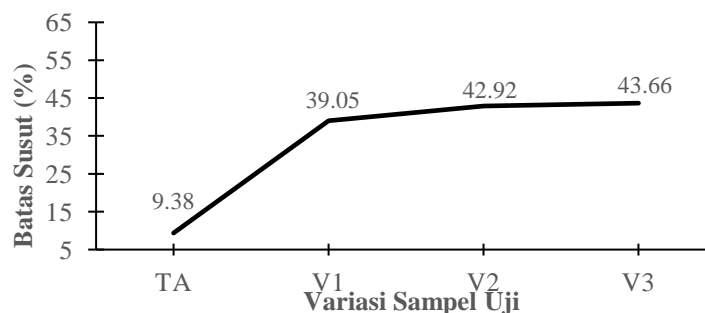


Gambar 3. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% Fly Ash Terhadap Batas Plastis Tanah

Gambar 3 menunjukkan nilai batas plastis terjadi penurunan seiring dengan adanya penambahan bahan stabilisasi. Penurunannya 5,66%, 12,03% dan 15,79% terhadap nilai *plastic limit* dari tanah asli. Terjadi penurunan disebabkan oleh sifat kapur dan *fly ash* gampang meresap air, bila kadar air menurun maka tanah mendekati sifat semi padat (Hangge dkk, 2022).

3.4.4 Batas susut (*shrinkage limit*)

Hasil pengujian batas susut tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 4.

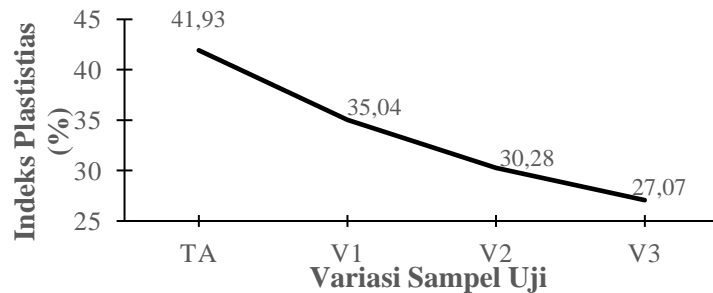


Gambar 4. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% Fly Ash Terhadap Batas Susut Tanah

Gambar 4 menunjukkan nilai batas susut mengalami peningkatan seiring dengan adanya penambahan bahan stabilisasi. Peningkatannya 4,16 kali, 4,58 kali, dan 4,66 kali terhadap nilai batas susut dari tanah asli. Peningkatan terjadi karena partikel kapur dan *fly ash* dengan tanah asli menyatu maka menurunkan sifat lempung tanah. Hal ini mengurangi kapasitas penyusutan tanah dan meningkatkan nilai batas susut secara signifikan (Hangge dkk, 2022).

3.4.5 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Hasil pengujian indeks plastisitas tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 5.

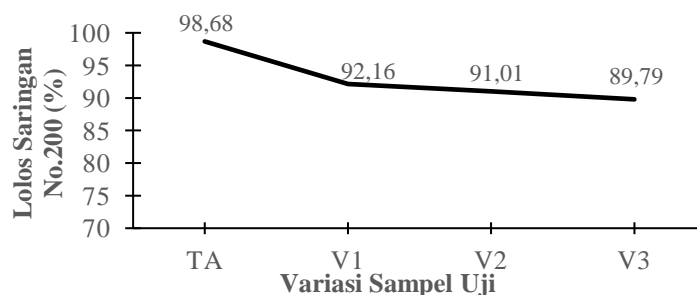


Gambar 5. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% *Fly Ash* Terhadap Indeks Plastisitas Tanah

Gambar 6 menunjukkan nilai *Plasticity Index* terjadi penurunan dengan adanya penambahan bahan stabilisasi. Penurunannya 16,43%, 27,77% dan 35,44% terhadap nilai *Plasticity Index* dari tanah asli. Berdasarkan Atterberg (1953) tanah sebelum distabilisasi digolongkan sebagai tanah lempung kohesif dengan sifat plastisitas yang tinggi dikarenakan memiliki *Plasticity Index* >17%. Setelah distabilisasi, nilai indeks plastisitas menurun, namun nilai indeks plastisitas dari setiap variasi campuran masih >17% hal ini disebabkan dengan adanya penambahan kapur dan *fly ash* pada tanah lempung memberikan pengaruh yang baik dimana dapat mengurangi sifat keplastisan tanah tetapi tidak menurunkan indeks plastisitas secara signifikan.

3.4.6 Distribusi Ukuran Butiran

Hasil pengujian distribusi ukuran butiran tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 6.

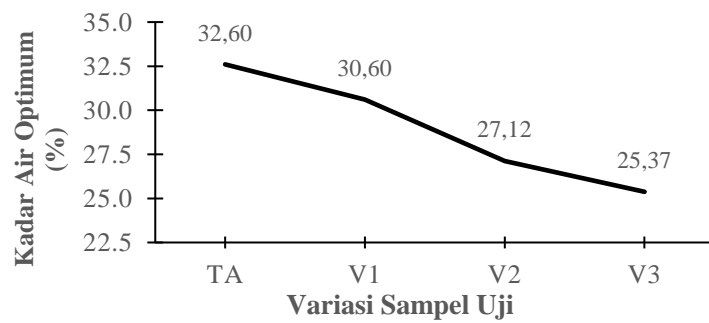


Gambar 6. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% *Fly Ash* Terhadap Gradasi Ukuran Butiran Tanah

Gambar 6 menunjukkan nilai persen lolos saringan No. 200 terjadi penurunan seiring penambahan bahan stabilisasi. Penurunannya 6,61%, 7,77% dan 9,01% terhadap persen lolos saringan No. 200 dari tanah asli. Dikarenakan partikel kapur, partikel *fly ash* bergabung dengan partikel tanah sehingga membuat partikel tanah lebih padat dan mereduksi partikel lempung pada tanah (Hangge dkk, 2022).

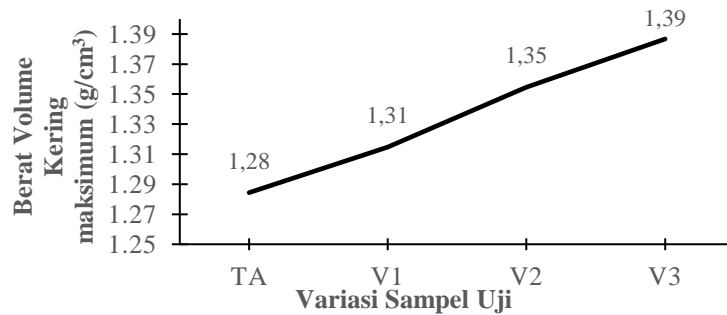
3.4.7 Pematatan Standar Proctor

Hasil pengujian Pematatan Standar Proctor berupa kadar air optimum dan berat volume kering maksimum tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% *Fly Ash* Terhadap Gradasi Ukuran Butiran Tanah.

Gambar 7 menunjukkan nilai kadar air optimum terjadi penurunan seiring penambahan bahan stabilisasi. Penurunan yang terjadi 6,15%, 16,81% dan 22,17% dari nilai kadar air optimum tanah asli. Disebabkan oleh sifat kapur memancarkan panas, dan proses hidrasi yang cepat mengeringkan tanah aslinya (Sosrodarsono, 2000).

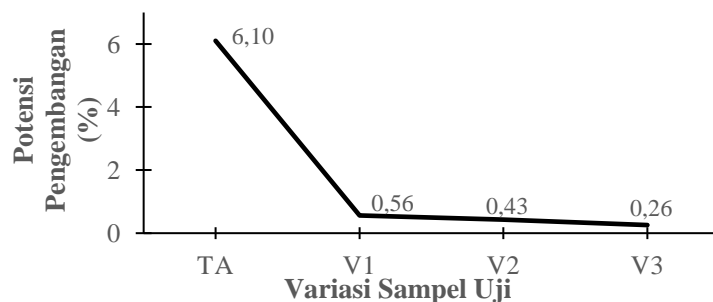


Gambar 8. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% *Fly Ash* Terhadap Gradasi Ukuran Butiran Tanah

Gambar 8 menunjukkan nilai berat volume kering maksimum mengalami kenaikan seiring dengan adanya penambahan bahan stabilisasi. Besarnya kenaikan yang terjadi berturut-turut adalah 1,02 kali, 1,05 kali dan 1,08 kali dari nilai berat volume kering maksimum tanah asli. Pencampuran kapur dan *fly ash* meningkatkan berat volume kering maksimum sehingga menghasilkan ikatan antar partikel tanah yang lebih kuat. Karena ukuran partikelnya yang halus, kapur dan *fly ash* dapat mengisi celah antar partikel tanah sehingga menghasilkan tekstur tanah yang lebih padat (Hangge dkk, 2021).

3.4.8 Potensi pengembangan

Pengujian potensi pengembangan tanah bertujuan untuk mengetahui nilai pengembangan dari tanah dengan menggunakan metode Seed dkk, (1962) dan alat oedometer dengan aplikasi tekanan sebesar 6,9 kPa. Pengujian potensi pengembangan tanah yang distabilisasi dilakukan pemeraman 7 hari setelah dipadatkan kedalam cincin oedometer. Hasil pengujian potensi pengembangan tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 9.

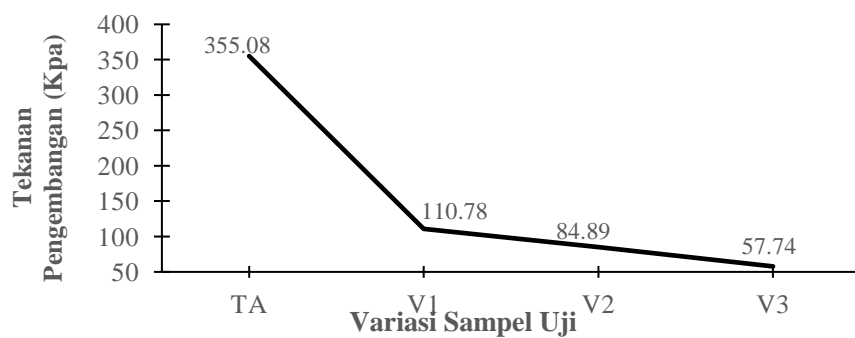


Gambar 9. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% *Fly Ash* Terhadap Potensi Pengembangan Tanah

Gambar 9 menunjukkan terjadi penurunan pada nilai potensi pengembangan seiring dengan adanya penambahan bahan stabilisasi, penurunan yang terjadi 90,78%, 92,90% dan 95,78% terhadap potensi pengembangan dari tanah asli. Menurut Seed, dkk (1962) tanah asli tergolong tanah yang memiliki derajat ekspansif yang tinggi karena nilai potensi pengembangan 6,10% berada diantara 5% - 25%, dan untuk tanah yang distabilisasi V1, V2 dan V3 tergolong tanah yang memiliki derajat ekspansif yang rendah dikarenakan nilai potensi pengembangannya diantara 0 – 1,5%. Semakin besar nilai potensi pengembangan tanah maka nilai derajat ekspansif tanah semakin tinggi.

3.4.9 Tekanan pengembangan

Pengujian tekanan pengembangan tanah dilakukan untuk mengetahui besarnya tekanan yang diberikan agar tinggi sampel tanah kembali ke tinggi awal. Tekanan pengembangan dilakukan setelah pembacaan nilai dari potensi pengembangan selesai atau kecepatan mengembangnya mencapai 0,001"/jam. Hasil pengujian potensi pengembangan tanah asli dan tanah distabilisasi terdapat pada Gambar 10.



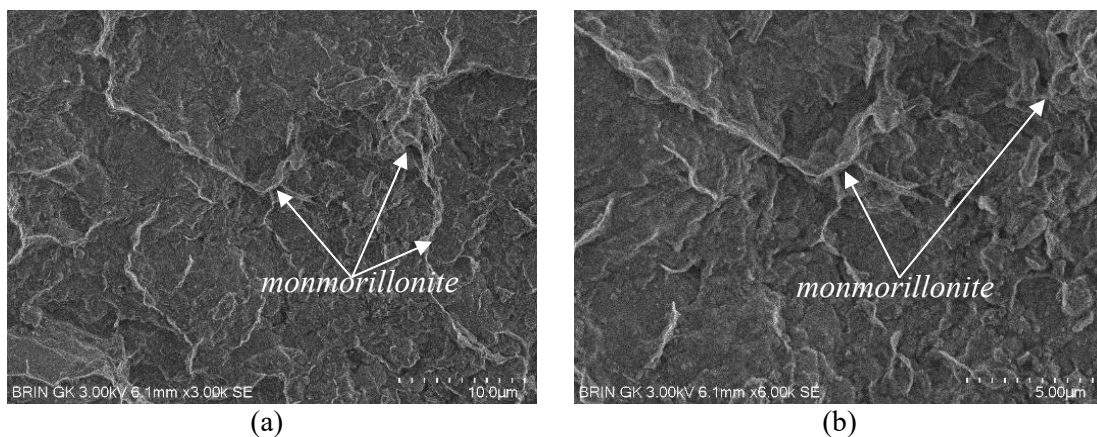
Gambar 10. Pengaruh Penambahan 5% Kapur dan 10%, 20% dan 30% Fly Ash Terhadap Tekanan Pengembangan Tanah.

Gambar 10 menunjukkan nilai tekanan pengembangan mengalami penurunan seiring dengan adanya penambahan stabilisator, penurunan yang terjadi berturut-turut sebesar 68,80%, 76,09% dan 83,74% terhadap tekanan pengembangan dari tanah asli. Hal ini menyatakan bahwa apabila seiring dengan penurunan potensi pengembangan maka tekanan pengembangan ikut mengalami penurunan.

3.5. Pengujian Sifat Mikrostruktur Tanah

3.5.1 Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) Tanah Asli

Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) pada tanah asli dilakukan untuk menjelaskan mekanisme modifikasi kation tanah lempung ekspansif dari perspektif morfologi mikroskopis. Hasil pengujian SEM Tanah pada Gambar 11.

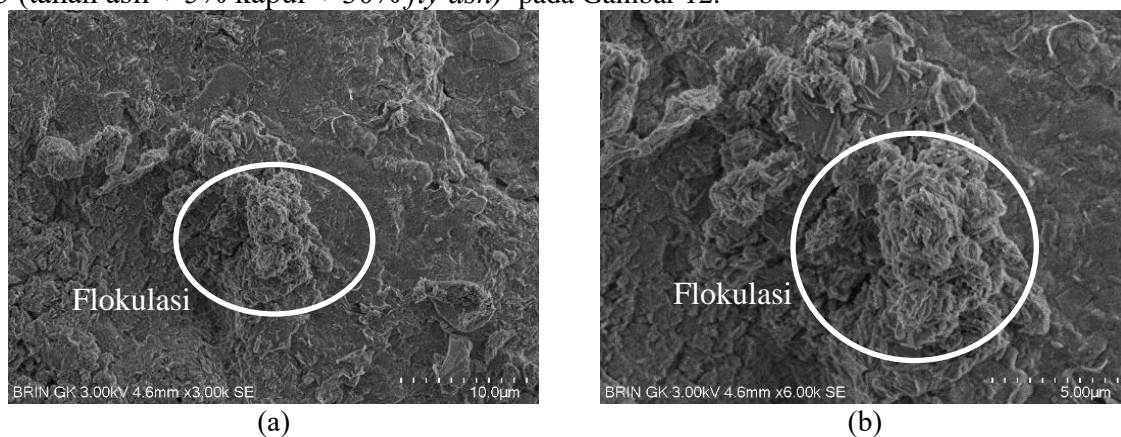


Gambar 11. Gambar Hasil Sem Tanah Lempung Ekspansif Dengan Pembesaran Yang Berbeda.(a) 3000X (d) 6000X

Berdasarkan hasil SEM pada Gambar 11 memberikan gambaran morfologi mikroskopis tanah ekspansif, luas permukaan spesifik tanah ekspansif bersifat rapat dan berbentuk lembaran dengan adanya pembesaran SEM, luas permukaan spesifik tanah lempung memperlihatkan struktur serpihan atau flokulan halus yang jelas (terutama *montmorillonit*) yang berbentuk lembaran. Struktur berbetuk lembaran yang besar ini menghasilkan luas permukaan spesifik (*specific surface*) tanah yang besar sehingga kemampuan air untuk berinteraksi dengan butiran tanah sangat kuat, dan tanah dapat menyerap banyak air ketika bersentuhan dengan air.

3.5.2 Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) Tanah Distabilisasi

Hasil pengujian SEM Tanah Distabilisasi dilakukan pada tanah yang memiliki nilai potensi dan tekanan pengembangan dengan penurunan terbesar dari 3 variasi benda uji tersebut yaitu pada V3 (tanah asli + 5% kapur + 30% *fly ash*) pada Gambar 12.



Gambar 12. Gambar Hasil Sem Tanah Distabilisasi Dengan Pembesaran Yang Berbeda (a) 3000X, (b) 6000X

Berdasarkan hasil gambar SEM pada Gambar 12 memberikan gambaran SEM morfologi mikroskopis tanah distabilisasi 5% kapur dan 30% *fly ash*, retakan diantara celah-celah pada luas permukaan spesifik tanah distabilisasi diisi oleh partikel *fly ash* dan produk hidrasi dari kapur. Produk hidrasi yang dihasilkan oleh kapur meningkatkan tingkat perlekatan antara *fly ash* dan pori-pori tanah, sehingga partikel *fly ash* tertanam dengan erat didalam pori-pori tanah sehingga struktur terflokulasi antara tanah asli dan produk hidrasi maka terjadi rekatkan secara bersama dan membentuk gumpalan struktur kristal yang menyebabkan luas permukaan spesifik tanah distabilisasi semakin kecil sehingga kemampuan menyerap air pada tanah semakin kecil sehingga potensi pengembangan tanah menjadi lebih kecil.

3.5.3 Pengujian X-ray Diffraction (XRD) Tanah Asli

Pengujian *X-ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat pada tanah lempung ekspansif. Hasil pengujian *X-ray Diffraction* (XRD) tanah asli tercantum pada Tabel 6.

Tabel 6. Komposisi Mineral Lempung Ekspasif

No	Mineral	Persentase (%)
1.	<i>Quartz alpha</i>	44,0
2.	<i>Montmorillonite (Ca-exchanged)</i>	45,4
3.	<i>Calcite</i>	10,5

Berdasarkan hasil pengujian XRD pada Tabel 6 bahwa terdapat kandungan mineral *montmorillonite* pada tanah lempung Desa Oebelo yang tinggi sebesar 45,4 % yang diartikan bahwa lempung Desa Oebelo bersifat ekspansif. Tanah ekspansif merupakan tanah yang mempunyai potensi kembang susut yang tinggi apabila terjadi suatu perubahan pada kadar air tanah, jika tanah terjadi peningkatan kadar air maka tanah akan mengembang dan apabila kadar air berkurang terjadi penyusutan. Penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Hangge (2017) menunjukkan kandungan mineral *montmorillonite* yang tinggi sebesar 52,92%.

3.5.4 Pengujian X-ray Diffraction (XRD) Tanah Distabilisasi

Pengujian X-ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat pada tanah distabilisasi diambil dari potensi dan tekanan pengembangan dengan penurunan terbesar dari 3 variasi benda uji tersebut yaitu Variasi 3 (5% kapur dan 30% fly ash), dengan Hasil pengujian X-ray Diffraction (XRD) tanah distabilisasi tercantum pada Tabel 7.

Tabel 7. Komposisi Mineral Tanah Distabilisasi

No	Mineral	Persentase (%)
1.	Quartz low	41,1
2.	Montmorillonite (Ca-exchanged)	26,2
3.	Calcite	12,9
4.	Vermiculite 2M	7,1
5.	Copper nikel formiate hydrate (0,37/0,63/2/2)	12,7

Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa penurunan nilai kandungan mineral *montmorillonite* sebesar 42,29% dari tanah asli, penurunan kandungan mineral ini menunjukkan bahwa luas permukaan spesifik menjadi lebih kecil dibandingkan dari tanah asli sehingga penyerapan air semakin kecil. Penambahan kapur dan *fly ash* agar terjadi reaksi, kalsium yang berasal dari kapur dan kalsium pada *fly ash* berikatan dengan alumina dan silika yang terdapat pada tanah membentuk kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat yang menghasilkan terjadinya reaksi hidrasi, flokulasi, dan pozolanik (Zhou dkk, 2019)

3.6. Identifikasi Tanah Ekspansif Secara Tidak Langsung dan Langsung

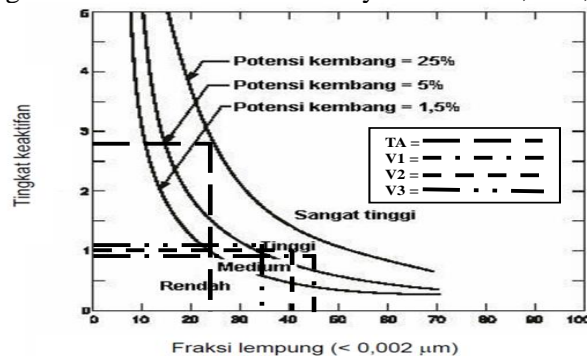
3.6.1 Identifikasi Tanah Ekspansif Secara Tidak Langsung

1. Nilai indeks plastisitas (PI) dan batas susut (SL)

Ditinjau dari indeks plastisitas (PI) sebesar 41,93% maka tanah lempung Desa Oebelo tersebut menurut (Chen, 1967) masuk dalam kategori tanah dengan tingkat pengembangan sangat tinggi, dikarenakan indeks plastisitasnya lebih dari 32%, sedangkan untuk tanah yang distabilisasi V1 memiliki tingkat pengembangannya masuk kedalam kategori sangat tinggi dikarenakan nilai indeks plastisitas lebih besar 32%, untuk V2 dan V3 tingkat pengembangan masuk kedalam kategori tinggi dikarenakan nilai indeks plastisitas diantara 23%-32%. Ditinjau dari batas susut (SL) 9,38% maka tanah lempung Desa Oebelo menurut (Chen, 1967) masuk kedalam kategori tanah yang memiliki tingkat pengembangan sangat tinggi dikarenakan nilai (SL) kurang dari 15%, sedangkan untuk tanah distabilisasi V1, V2 dan V3 dikategorikan tingkat pengembangan tinggi dikarenakan nilai (SL) diantara 13%-50%.

2. Tingkat keaktifan (activity)

Ditinjau dari hubungan tingkat keaktifan dengan potensi pengembangan menurut (Skempton, 1953) tanah lempung Desa Oebelo memiliki tingkat keaktifan sebesar 2,81, maka tanah lempung Desa Oebelo masuk dalam tingkat keaktifan yang aktif dengan potensi pengembangan yang tinggi dikarenakan nilai keaktifannya sebesar $2,81 > 1,25$, sedangkan untuk tanah yang distabilisasi V1, V2 dan V3 memiliki tingkat keaktifan yang normal dengan potensi pengembangannya tergolong kedalam kategori sedang dikarenakan nilai keaktifannya diantara 0,75-1,25.



Gambar 13. Klasifikasi Potensi Kembang

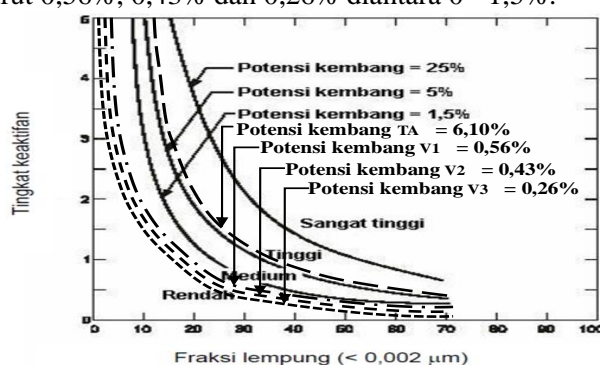
Berdasarkan nilai tingkat keaktifan (A_c) dan fraksi lempung (CF) diplotkan pada grafik Seed, Woodward dan Lundgren pada Gambar 4.13 maka diperoleh tanah asli, V1, V2, dan V3 tergolong kedalam tanah dengan tingkat potensi pengembangan tinggi karena diantara nilai potensi pengembangan 5%-25%.

3. Mineral lempung

Ditinjau dari hubungan antara jenis mineral dengan tingkat keaktifan menunjukkan bahwa tanah lempung Desa Oebelo merupakan tanah ekspansif yang memiliki kandungan mineral *montmorillonite* (Ca) sebesar 45,4% maka tanah lempung tersebut memiliki tingkat keaktifan 1,5 yang berarti memiliki tingkat keaktifan yang aktif dan tergolong potensi pengembangan yang tinggi (Skempton, 1953).

3.6.2 Identifikasi Tanah Ekspansif Secara Langsung

Identifikasi tanah ekspansif secara langsung dapat dilakukan dengan pengujian potensi pengembangan tanah menggunakan alat uji oedometer dengan menggunakan metode seed, dkk (1962). Tanah asli tergolong dalam derajat ekspansif yang tinggi dikarenakan memiliki nilai potensi pengembangan sebesar 6,10% diantara 5% - 25%, sedangkan untuk tanah yang distabilisasi dari ke 3 variasi dikategorikan kedalam derajat ekspansif yang rendah dikarenakan memiliki nilai potensi pengembangan berturut-turut 0,56%, 0,43% dan 0,26% diantara 0 - 1,5%.



Gambar 14. Klasifikasi Potensi Kembang

Berdasarkan nilai persen potensi pengembangan (S) diplotkan pada grafik Seed, Woodward dan Lundgren pada Gambar 4.14 maka diperoleh bahwa tanah lempung desa Oebelo dikategorikan sebagai lempung ekspansif dengan tingkat potensi pengembangan yang tinggi dan untuk tanah yang telah distabilisasi V1, V2 dan V3 dikategorikan sebagai tingkat potensi pengembangan yang rendah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan: Tanah lempung Bobonaro dikategorikan dalam kelompok A-7-6 (50) menurut sistem klasifikasi AASHTO tipe tanah yang paling dominan ialah tanah berlempung dan dikategorikan jelek sebagai lapisan tanah dasar untuk jalan dan kelompok CH dengan sistem klasifikasi USCS tanah tergolong lempung anorganik dengan plastisitas tinggi. Seiring penambahan stabilisator, terjadi penurunan nilai GI yang menyatakan peningkatan kualitas tanah tersebut sebagai bahan tanah dasar. Pengaruh stabilisasi terhadap sifat fisik tanah adalah nilai berat jenis spesifik, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, persen lolos ayakan No.200, kadar air optimum dan potensi pengembangan mengalami penurunan, sedangkan nilai batas susut dan berat volume kering maksimum mengalami peningkatan seiring penambahan bahan stabilisasi dan untuk potensi pengembangan tanah asli memiliki derajat ekspansif tinggi dan untuk tanah yang distabilisasi memiliki derajat ekspansif yang rendah. Pengujianuji *X-ray Diffraction* (XRD) pada tanah asli memiliki kandungan *montmorillonite* sebesar 45,4% sedangkan untuk tanah distabilisasi sebesar 26,2%. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada tanah asli menunjukkan luas permukaan spesifik tanah bersifat rapat dan berbentuk lembaran yang besar sehingga kemampuan tanah menyerap air sangat kuat sedangkan tanah distabilisasi terjadi rekatan antara kapur dan *fly ash* secara bersamaan dan membentuk gumpalan menyebabkan luas permukaan spesifik semakin kecil sehingga

kemampuan tanah menyerap air semakin kecil. Klasifikasi tanah secara tidak langsung berdasarkan indeks plastisitasnya diperoleh derajat pengembangan tanah lempung Bobonaro sangat tinggi, sedangkan tanah yang distabilisasi V1 tergolong derajat pengembangan sangat tinggi, V2 dan V3 tergolong derajat pengembangan tinggi. Berdasarkan batas susut derajat pengembangan tanah lempung Bobonaro dikategorikan sangat tinggi, untuk tanah yang distabilisasi V1, V2 dan V3 dikategorikan memiliki derajat ekspansif yang tinggi. Berdasarkan keaktifannya tanah lempung Bobonaro memiliki derajat keaktifan aktif dengan potensi pengembangan tinggi. Sedangkan tanah yang distabilisasi V1 dan V2 memiliki derajat keaktifan normal dengan potensi pengembangan sedang, untuk V3 derajat keaktifannya tidak aktif dengan potensi pengembangan rendah. Berdasarkan kandungan mineralnya tanah lempung Bobonaro dikategorikan memiliki derajat keaktifan aktif. Berdasarkan klasifikasi tanah secara langsung menunjukkan tanah lempung Bobonaro memiliki derajat ekspansif tinggi untuk tanah distabilisasi ketiga Variasi derajat ekspansifnya rendah.

Ucapan terima kasih

Terimakasih kepada Ibu Koordinator Program Studi Teknik Sipil yang telah memberi izin untuk melakukan pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah dan kepada Ibu Elsy Elisabet Hangge, ST., M. Eng selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Elia Hunggurami, ST., M.Eng selalu senantiasa menuntun penulis dalam menyelesaikan jurnal ini dan teman-teman yang telah membantu saya dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Bella, R. A., Bunganaen, W., & Sogen, P. M. 2015. Identifikasi Kerusakan Konstruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif di Desa Oebelo. *Jurnal Teknik Sipil*. 4 (2): 195-208.
- Chen, F. H. 1975. *Foundation of Expansive Soil*. Amsterdam: Eservier Scientific Publishing Company.
- Darwins, H. 2017. *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Pustaka AQ. Yogyakarta.
- Hangge, E. E dan Hunggurami, E. 2011. Klasifikasi Lempung Ekspansif Oebelo Kabupaten Kupang Menggunakan Metode Kombinasi. Dalam *Hardiyatmo. H. C., Irsyam. M., Rahardjo. P. P., Wardani.S., Jitno. H., Prakoso.W .A. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia: 375-380*. Yogyakarta.
- Hangge, E. E. 2017. Pengaruh Perubahan Kadar Air Pada Potensi Pengembangan Lempung Oebelo. *Prosiding Seminar Nasional: 415-422*. Kupang.
- 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. In *Jurnal Forum Teknik Sipil*. 2, No. 2, pp. 34-44).
- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Ullu, M. C. (2021). Pemanfaatan fly ash untuk stabilisasi tanah dasar lempung ekspansif. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 89-102.
- Hangge, E. E., Cornelis, R., & Dom, A. Y. (2022). Pengaruh Fly Ash pada Stabilisasi Lempung Ekspansive Terhadap Nilai Tegangan Geser dan CBR. In *Jurnal Forum Teknik Sipil*. Vol. 2, No. 1, pp. 92-102.
- Hangge, E. E., Galla, H. D., & Cornelis, R. (2022). Perilaku Tegangan Regangan Lempung Ekspansif yang Distabilisasi Menggunakan Kapur, Fly Ash dan Bottom Ash. In *Jurnal Forum Teknik Sipil*. Vol. 2, No. 2, pp. 1-10.
- Leliana, A., & Andajani, N. (2015). Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Magetan Jawa Timur. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 1-8.
- Sosrodarsono, S. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.