

Perilaku Sifat Fisik-Mekanik dan Mikrostruktur Tanah Lempung Ekspansif yang Distabilisasi Menggunakan Kapur

Behavior of Physical-Mechanical Properties and Microstructure of Expansive Clay Stabilized with Lime

Elsy Elisabet Hangge¹, Jusuf J. S Pah², Angelina Fitriani D. Bei^{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:

Kata kunci:

Stabilisasi Tanah Lempung
Ekspansif, Sifat Fisik-Mekanik, Sifat
Mikrostruktur, Kapur

Article history:

Received: 09-07-2025

Accepted: 28-07-2025

Keywords:

*Stabilization of Expansive Clay,
Physical-Mechanical Properties,
Microstructural Properties, Lime*

*Koresponden email:

elsy@staf.undana.ac.id

Abstrak

Tanah lempung ekspansif adalah tanah lempung yang memiliki aktifitas yang tinggi dalam perubahan volume akibat adanya perubahan kadar air. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan kapur terhadap sifat fisik-mekanik dan sifat mikrostruktur tanah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode eksperimental, dimana tanah dicampur dengan kapur pada variasi campuran kapur 0 % (TA), 3 % (V1), 6 % (V2), dan 9 % (V3), kemudian dilanjutkan dengan uji sifat fisik-mekanik dan mikrostruktur. Hasil pengujian menunjukkan penurunan nilai indeks plastisitas, dan potensi pengembangan Seiring penambahan kapur dengan potensi pengembangan terendah pada V3 yaitu 0,395%. Sedangkan untuk nilai batas susut dan berat volume kering maksimum tanah mengalami peningkatan. Pengujian XRD dan SEM menunjukkan penurunan mineral montmorillonite dari 45,4 % menjadi 39,9 % serta perubahan struktur menjadi struktur kristal, dan ukuran partikel tanah lebih besar akibat adanya rekasi pozzolanic. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 9% kapur pada tanah lempung ekspansif dapat meningkatkan daya dukung tanah untuk tanah dasar pada suatu konstruksi.

Abstract

Expansive clay soils are clay soils that have high activity in volume changes due to changes in water content. The purpose of this study was to determine the effect of stability of expansive clay soils using lime on the physical-mechanical properties and microstructural properties of the soil. The method used in this study is an experimental method, where the soil is mixed with lime in variations of lime discharges of 0% (TA), 3% (V1), 6% (V2), and 9% (V3), then continued with tests of physical-mechanical properties and microstructures. The test results showed a decrease in the value of the plasticity index, and the swelling potential along with the addition of lime with the lowest swelling potential at V3 which is 0.395%. As for the limit value of shrinkage and the weight of the maximum dry volume of the soil has increased. XRD and SEM tests showed a decrease in montmorillonite minerals from 45.4% to 39.9% as well as changes in structure to crystal structure, and larger soil particle size due to pozzolanic reaction. This shows that the addition of 9% lime to expansive clay soils can increase the soil carrying capacity for the base soil in a construction.

1. Pendahuluan

Tanah lempung yang menunjukkan aktivitas yang cukup besar dalam perubahan volume sebagai akibat dari variasi kadar air dikenal sebagai tanah lempung ekspansif. Mineral utama di tanah ini adalah montmorillonite, yang berpotensi memiliki pengembangan tinggi hingga sangat tinggi yang dapat menurunkan stabilitas tanah, sehingga dapat merusak bangunan apa pun yang dibangun di atasnya. Tanah lempung ekspansif, juga dikenal sebagai lempung Bobonaro, yang ditemukan di beberapa lokasi, termasuk Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang (Hangge, 2017) (Fernandez, 2017). Berdasarkan penelitian Bella, dkk (2015) terdapat 2 tipe kerusakan rumah yang disebabkan karena adanya potensi pengembangan tanah lempung Bobonaro di Desa Oebelo yaitu tipe I (rusak berat) dimana celah retak pada dinding dan lantai ≥ 2 cm, dan tipe II (rusak ringan) dimana celah retak pada dinding dan lantai < 2 cm. Dari permasalahan tersebut, maka perlu adanya stabilisasi pada tanah. Stabilisasi pada tanah merupakan salah satu teknik rekayasa yang bertujuan untuk meningkatkan dan menjaga karakteristik khusus dari tanah, sehingga selalu memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan untuk mengoptimalkan kinerja konstruksi seperti kapasitas dukung tanah, penurunan (settlement), permeabilitas tanah, plastisitas, kekuatan geser tanah, potensi dan tekanan pengembangan tanah. Dalam studi ini, penulis menerapkan metode stabilisasi kimia menggunakan kapur sebagai bahan stabilisasi. Penggunaan kapur untuk stabilisasi tanah dengan penambahan sebesar 2-10 % terhadap berat kering tanah (Departemen Pekerjaan umum, 2005) berdampak pada pengurangan ketebalan lapisan difusi ganda, sehingga meningkatkan gaya tarik di tepi permukaan partikel lempung, seperti yang disebutkan oleh Hilt dan Davidson (1960) dan diacu oleh Adi Prasetyo (1991). Hal ini menyebabkan partikel-partikel lempung mengalami flokulasi dengan sifat plastisitas rendah, tekstur besar, dan lepas. Pada kondisi kelebihan air, terjadi reaksi isothermal pada tanah selama proses pengeringan, mempermudah pekerjaan tanah. Reaksi berikutnya terjadi setelah flokulasi antara partikel-partikel lempung dan kapur, dilanjutkan dengan reaksi pozzolanic, di mana ion silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dari mineral lempung bereaksi dengan ion kalsium (C) dari mineral kapur untuk menghasilkan senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) dan Calcium Aluminate Hydrate (C-S-A-H). Reaksi ini menghasilkan sementasi pada tanah, yang membuatnya menjadi lebih keras, padat, dan kedap air, sehingga meningkatkan stabilitas dan kekuatan tanah. (Hardiyati, 2003). Penambahan kapur pada lempung ekspansif telah diteliti sebelumnya oleh Rangaesa, dkk (2017) dan Aryanto dkk (2017) dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai batas cair dan indeks plastisitas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kapur, sedangkan nilai batas plastis dan batas susut mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kapur. Kenaikan nilai CBR soaked dan unsoaked tertinggi terjadi pada penambahan kapur 8%. Semakin banyak kadar kapur yang ditambahkan maka semakin kecil pengembangan (swelling) yang terjadi. Pada penelitian Zhou, dkk (zhou, dkk 2019 : 13) analisis struktur mikro dan komposisi mineral menunjukkan bahwa tanah biasa sebagian besar dalam struktur serpihan dan flokulan dengan pori-pori dan retakan yang jelas. Penambahan fly ash membuat pori-pori dan retakan terisi partikel fly ash dan beberapa produk hidrasi. Setelah penambahan kapur, pertukaran ion, dan reaksi pozzolanic kapur membuat struktur semen tanah dari serpihan dan flokulan menjadi struktur kristal, sehingga meningkatkan kekompakan dan integritas sampel tanah. Berdasarkan uraian, penulis tertarik untuk melakukan riset tentang penggunaan kapur sebagai bahan stabilisasi pada tanah dasar lempung ekspansif di Desa Oebelo, Kabupaten Kupang untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kapur terhadap sifat fisik-mekanik dan mikrostruktur tanah lempung ekspansif, sehingga dapat meminimalisir kerusakan yang dialami oleh konstruksi yang dibangun di atas tanah lempung ekspansif akibat dari kembang-susut tanah.

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah lempung ekspansif yang diambil pada ruas Jl. Timor Raya Km.21, Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur dan kapur sebagai bahan stabilisasi yang dibeli di Jl. Timor Raya no. 9, Oesapa Barat, Kelapa Lima, Kota Kupang. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu melalui pengujian di laboratorium pada Bulan Mei 2023- Februari 2024.

2.1 Teknik Pengambilan Data

1. Teknik Observasi

Teknik observasi yaitu teknik pengumpulan data melalui pengujian di laboratorium.

2. Teknik Dokumentasi

Teknik dokumentasi yaitu teknik pengambilan data yang diperoleh dengan mengumpulkan teori-teori, rumus-rumus, dan ketentuan yang relevan dengan materi penelitian dari buku-buku tertentu.

3. Studi Literatur

Studi literatur merupakan teknik pengumpulan data yang didapat melalui teks-teks tertulis berupa buku, e-book, jurnal, makalah dan lainnya.

2.2 Tahapan Penelitian

1. Pengambilan Sampel dan persiapan Benda Uji

Sampel tanah lempung ekspansif yang diambil pada ruas Jl. Timor Raya Km.21, Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur, tepatnya pada titik koordinat 10°06'38"S dan 123°44'50"E dengan kedalaman ± 50 cm dari permukaan tanah. Sampel tanah terganggu yang telah diambil dijemur dibawah terik matahari selama 3-4 hari. Setelah itu, dihancurkan dan diayak menggunakan saringan no 4, 10 dan 40.

2. Pengujian Tanah Asli

Pengujian terlebih dahulu dilakukan pada tanah asli untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah yang terdiri dari pengujian sifat fisik yang meliputi pengujian kadar air, berat jenis spesifik (*specific gravity*), batas-batas konsistensi (*atterberg limit*), dan uji distribusi ukuran butiran, serta pengujian sifat mekanik yang terdiri dari pengujian pemadatan standar Proctor, serta pengujian potensi dan tekanan pengembangan tanah.

3. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara mencampurkan tanah lempung ekspansif (tanah asli) dengan kapur sebagai bahan additif sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9% terhadap berat kering tanah.

Tabel 1. Variasi Campuran Tanah Asli dan Kapur

Jenis Sampel	Label Sampel	Komposisi
Tanah Asli	TA	Tanah asli
Variasi 1	V1	Tanah asli + kapur 3 %
Variasi 2	V2	Tanah asli + kapur 6 %
Variasi 3	V3	Tanah asli + kapur 9 %

4. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Setelah Dstabilisasi

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanik tanah setelah dicampur dengan kapur. Yang terdiri dari :

A. Pengujian sifat fisik tanah

- a. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-98)
- b. Pengujian berat jenis (ASTM-854-02)
- c. Pengujian analisis saringan (ASTM D 422-63)
- d. Pengujian hidrometer (ASTM D 442-63)
- e. Pengujian atterberg limit :
 - Pengujian batas cair (ASTM D 4318-00)
 - Pengujian batas plastis (ASTM D 4318-00)
 - Pengujian batas susut (ASTM D 427-98)

B. Pengujian sifat mekanik tanah

- a. Pengujian pemadatan standar Proctor (ASTM D 698-00)
- b. Pengujian potensi pengembangan dan tekanan pengembangan tanah (ASTM D 4546-96)

- C. Pengujian pemadatan standar Proctor dilakukan pada campuran dari tanah asli dengan kapur dengan beberapa variasi tertentu. Kemudian hitung kadar air optimum dan berat volume kering maksimumnya.

- D. Pengujian potensi dan tekanan pengembangan diambil 1 sampel dari tiap variasi yang didasarkan pada pengujian pemadatan standar Proctor yang memiliki nilai kadar air optimum dan berat volume kering maksimum.

Tabel 2 Jumlah Sampel Pengujian Sifat Mekanik

No	Jenis Sampel	Pemadatan Standar	Potensi dan Tekanan Pengembangan (Pemeraman 7 hari)
1	Tanah asli (TA)	2	2
2	Variasi 1 (V1)	2	1
3	Variasi 2 (V2)	2	1
4	Variasi 3 (V3)	2	1
Jumlah		8	5
Jumlah Keseluruhan			13

5. Pengujian Sifat Mikrostruktur

Pengujian sifat mikrostruktur terdiri dari pengujian SEM dan Pengujian XRD

Tabel 3 Jumlah Sampel Pengujian Sifat Mikrostruktur

Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Label sampel	Komposisi
Pengujian XRD	2	TA	Tanah asli
		V3	Tanah asli + 9% kapur
Pengujian SEM	2	TA	Tanah asli
		V3	Tanah asli + 9% kapur

Dalam pengujian XRD, terdapat dua sampel, yaitu tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi. Sampel untuk pengujian XRD pada tanah yang distabilisasi diambil dari hasil pengujian potensi dan tekanan pengembangan terkecil dari tiga variasi benda uji, khususnya sampel variasi 3 dengan komposisi tanah dicampur dengan 9% kapur, yang memiliki nilai potensi pengembangan sebesar 0,395 % dan tekanan sebesar 69,06 kPa. Sama halnya, dalam pengujian SEM.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Tanah Asli dan Tanah Yang Distabilisasi

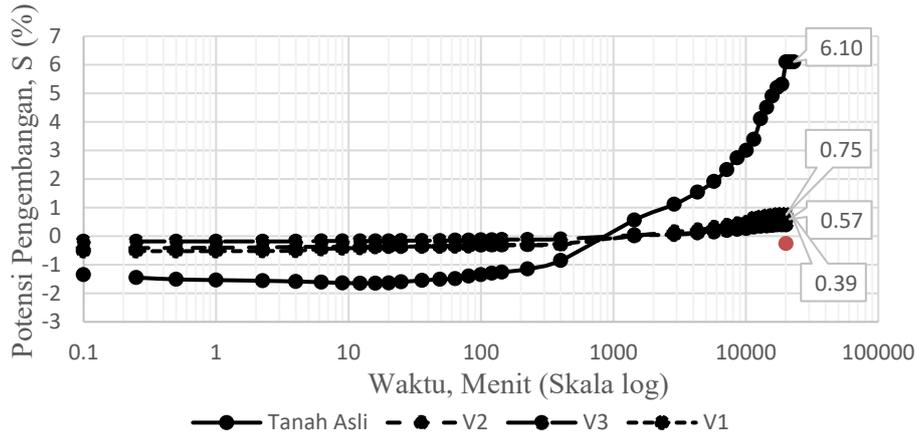
Tabel 4. Karakteristik Tanah Asli dan Tanah Yang Distabilisasi

Pengujian	Tanah Asli	Tanah Asli (TA)		
		3% KA (V1)	6% KA (V2)	9% KA (V3)
Kadar air (w, %)	28,27	-	-	-
Berat spesifik (Gs)	2,69	2,57	2,48	2,39
Batas cair (LL, %)	74,33	65,43	62,26	60,96
Batas plastis (PL, %)	29,50	27,84	26,75	25,80
Batas susut (SL, %)	9,84	28,85	35,91	38,39
Indeks plastisitas (PI, %)	44,83	37,59	35,51	35,16
Butiran lolos saringan No. 200 (%)	98,53	94,69	92,92	92,86
Butiran tertahan saringan No.200 (%)	1,47	5,31	7,08	7,14
Kadar air optimum (%)	32,60	31,83	28,54	28,00

Pengujian	Tanah Asli	Tanah Asli (TA)		
		3% KA (V1)	6% KA (V2)	9% KA (V3)
Berat volume kering maksimum (g/cm ³)	1,29	1,30	1,35	1,37
Potensi pengembangan (%)	6,10	0,75	0,57	0,39
Tekanan pengembangan (kPa)	355,08	146,04	120,33	69,06
Tingkat Keaktifan (AC)	3,62	1,50	1,31	0,75

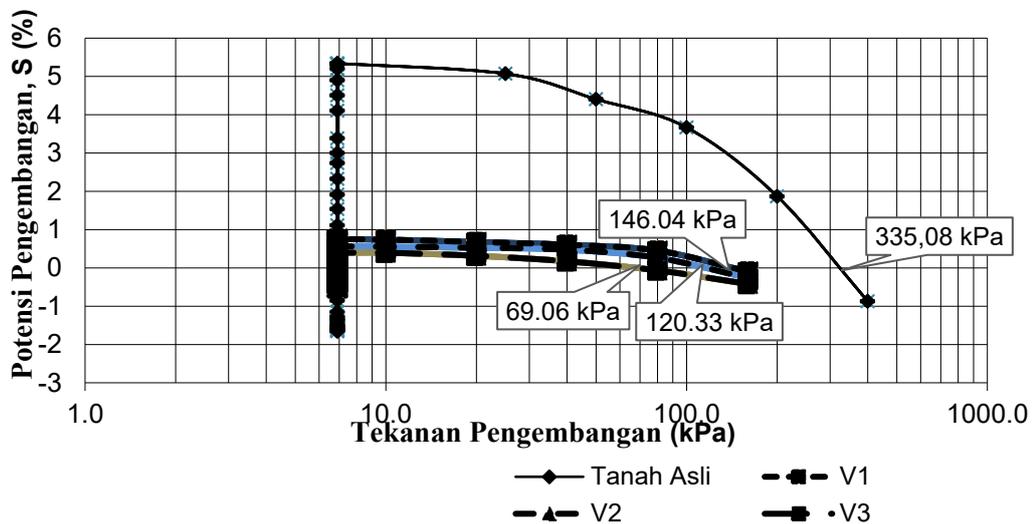
Berdasarkan Tabel. 4, maka tanah lempung ekspansif Desa Oebelo dapat diklasifikasikan berdasarkan sistem USCS, dimana berdasarkan nilai batas cair sebesar 74,33% dan nilai indeks plastisitas tanah sebesar 44,83% maka tanah tergolong dalam lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH). Selain itu, dalam klasifikasi AASHTO tanah tergolong kelompok A-7-6 (53) dengan tanah berlempung sebagai jenis material yang paling dominan, dan dikategorikan sebagai tanah dasar (*subgrade*) yang jelek. Berdasarkan nilai potensi pengembangan tanah ($S = 6,10\%$), tanah lempung Bobonaro Desa Oebelo dikategorikan kedalam tanah dengan derajat ekspansif tinggi (Seed, dkk 1962 dalam Hardiyatmo, 2002). Berdasarkan hal tersebut maka dapat dipastikan bahwa kerusakan yang terjadi pada Jl. Timor Raya Kilometer 21 Desa Oebelo, Kabupaten Kupang disebabkan oleh perilaku kembang susut tanah lempung ekspansif yang menjadi tanah dasar pada jalan tersebut akibat fluktuasi kadar air selama musim hujan dan musim kemarau.

Berdasarkan Tabel 4. Setelah tanah distabilisasi menggunakan kapur, nilai berat jenis spesifik tanah, batas cair tanah, batas plastis tanah, nilai indeks plastisitas tanah, butiran lolos ayakan no 200, nilai kadar air optimum, dan nilai potensi dan tekanan pengembangan tanah mengalami penurunan seiring dengan penambahan persentase kapur 3%, 6%, dan 9% kapur. Besar penurunan yang terjadi berturut-turut pada nilai berat jenis spesifik tanah yaitu 4,46 %, 7,81%, dan 11,15 % terhadap nilai berat jenis spesifik tanah asli. Besar penurunan yang terjadi berturut-turut pada nilai batas cair tanah yaitu 11,97%, 16,24% dan 17,99% terhadap nilai batas cair tanah asli. Besar penurunan yang terjadi berturut-turut pada nilai batas plastis tanah yaitu 5,63%, 9,32%, dan 12,54% terhadap nilai batas plastis tanah asli. Besar penurunan yang terjadi berturut-turut pada nilai indeks plastisitas tanah yaitu 16,1%, 20,8%, dan 21,6% terhadap nilai indeks plastisitas tanah asli. Besar penurunan yang terjadi berturut-turut pada persentase lolos ayakan no. 200 yaitu 3,84%, 5,7%, dan 5,8% terhadap persentase lolos ayakan no. 200 tanah asli. Besar penurunan yang terjadi berturut-turut pada nilai kadar air optimum yaitu 2,81%, 12,85%, dan 14,50% terhadap nilai kadar air optimum tanah asli. Hal tersebut disebabkan karena sifat kapur yang dapat memancarkan panas akibat proses hidrasi dan adanya reaksi kimia antara kapur dan tanah membentuk gel kalsium silikat yang merekatkan partikel tanah. Gel kalsium silikat bereaksi dengan melapisi dan merekatkan partikel lempung serta menutup pori-pori tanah, yang menyebabkan air sulit teradsorpsi sehingga dapat menurunkan nilai batas cair, batas plastis, dan nilai kadar air optimum tanah, memperkecil nilai indeks plastisitas tanah, serta mengurangi persentase partikel yang lolos saringan no.200 karena perubahan ukuran partikel tanah menjadi lebih besar akibat penambahan kapur. Perubahan ini juga mengakibatkan penurunan kohesi partikel tanah (Ranggaesa, dkk , 2017). Sedangkan untuk nilai batas susut dan berat volume kering maksimum mengalami peningkatan dengan besar peningkatan yang terjadi berturut-turut pada nilai batas susut yaitu 3,9 kali, 4,6 kali, dan 4,9 kali terhadap nilai batas susut tanah asli. Besar peningkatan yang terjadi berturut-turut pada nilai berat volume kering maksimum tanah yaitu 1,30 gr/cm³, 1,35 gr/cm³, dan 1,37 gr/cm³ terhadap nilai berat volume kering maksimum tanah asli. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi *pozzolanic*, yang meningkatkan adhesi antara butiran tanah dan kapur yang menjadikan tanah yang lebih padat dan kokoh. Keadaan inilah yang menyebabkan peningkatan nilai berat volume kering maksimum yang signifikan (Ranggaesa, dkk, 2017).



Gambar 1. Pengaruh penambahan variasi kapur 3%, 6%, dan 9% terhadap nilai potensi pengembangan tanah asli

Berdasarkan Gambar 1, tanah asli memiliki nilai potensi pengembangan sebesar 6,10 %. Seiring dengan peningkatan variasi kapur 3%, 6% dan 9% dengan pemeraman selama 7 hari terjadi penurunan nilai potensi pengembangan dengan besar penurunan berturut-turut 87,70%, 90,72%, dan 93,52 terhadap nilai potensi pengembangan tanah asli. Hal terjadi karena adanya flokulasi setelah penambahan kapur dan pertukaran kation. Pertukaran kation yang terjadi melibatkan ion kalsium yang berasal dari terurainya Ca(OH)_2 yang bereaksi dengan air dan kation monovalen natrium, mengakibatkan terbentuknya reaksi pozzolan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat yang dapat melapisi dan mengikat partikel lempung menjadi partikel yang lebih besar serta mengisi rongga tanah, yang menyebabkan air sulit teradsorpsi sehingga dapat menurunkan nilai potensi pengembangan tanah. Semakin besar ukuran partikel, maka luas permukaan spesifik semakin kecil, sehingga proses penyerapan air pun berkurang (Hardiyati, 2003).



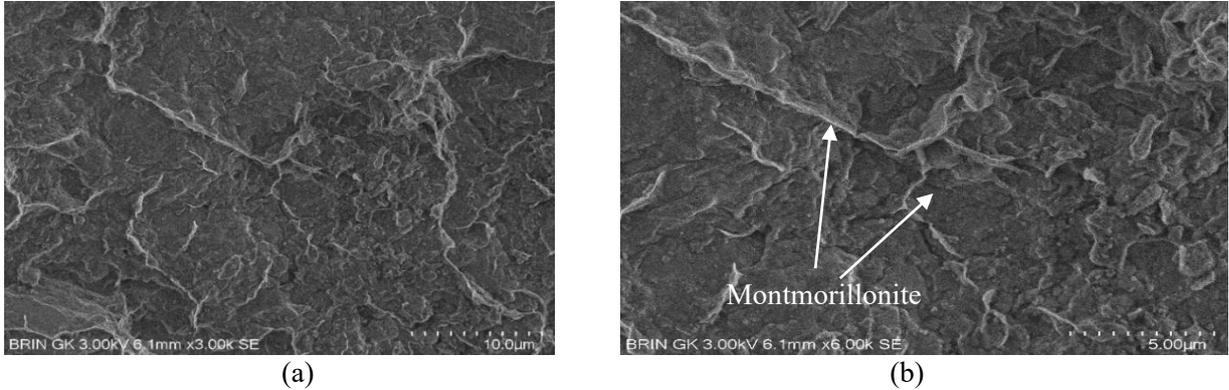
Gambar 2. Pengaruh penambahan variasi kapur 3%, 6%, dan 9% terhadap nilai tekanan pengembangan tanah asli

Berdasarkan Gambar 2, besarnya nilai tekanan pengembangan tanah asli sebesar 335,08 kPa. Seiring dengan penambahan kapur 3%, 6%, dan 9% tekanan yang diberikan mengalami penurunan sebesar 146,04 kPa, 120, 33 kPa, dan 60,06 kPa. Hal ini sebanding dengan nilai potensi pengembangan tanah, dimana jika suatu tanah memiliki potensi pengembangan yang besar maka tekanan yang diberikan ke tanah untuk kembali ke tinggi awal (h_0) juga besar, begitupun sebaliknya, jika suatu tanah memiliki

potensi pengembangan yang semakin kecil maka tekanan yang diberikan ke tanah untuk kembali ke tinggi awal (h_0) juga semakin kecil.

3.2 Hasil Pengujian Sifat Mikrostruktur

3.2.1 Hasil Pengujian SEM Tanah Asli



Gambar 3. Hasil pengujian SEM tanah asli (a) 3.000x, (b) 6.000x,

Berdasarkan Gambar 2. hasil pengujian menunjukkan adanya serpihan tanah lempung montmorillonite yang banyak, yang ditandai dengan lapisan tanah yang berlapis dan bertumpuk. Semakin diperbesar gambarnya, maka terlihat pori-pori dan retakan yang jelas antara partikel tanah. Hal ini yang menyebabkan tanah mengalami perubahan volume yang sangat signifikan. Ketika tanah mengadsorpsi air, partikel-partikel tanah akan membengkak menyebabkan tanah mengembang, dan sebaliknya ketika kehilangan air tanah akan menyusut (Das, 1995).

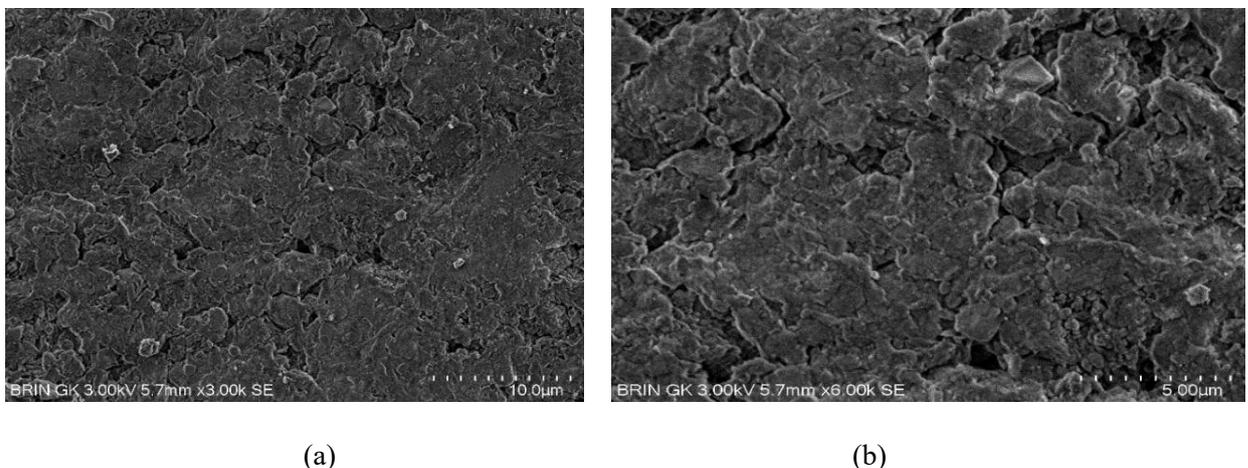
3.2.2. Hasil Pengujian XRD Tanah Asli

Tabel 5. Komposisi Mineral Lempung Ekspansif

Jenis Mineral	Kandungan Mineral (%)
<i>Quartz alpha</i>	44,0
<i>Monmorillonite</i>	45,4
<i>Calcite</i>	10,0

Menurut Seed dkk, tanah yang diklasifikasikan sebagai tanah lempung ekspansif dengan potensi pengembangan yang sangat tinggi, jika persentase lempung *montmorillonite* > 35% dari total komposisi mineralnya. (Sudjianto, 2009).

3.2.3 Hasil Pengujian SEM Tanah Yang Distabilisasi



Gambar 4. Hasil pengujian SEM tanah yang distabilisasi (a) 3.000x, (b) 6.000x,

Berdasarkan Gambar 4.13 Hasil pengujian SEM tanah yang distabilisasi menunjukkan perbedaan dengan struktur SEM tanah asli. Pada Gambar 4.13, menunjukkan bahwa berkurangnya struktur yang berlapis, menyebabkan tanah yang semakin padat, dan berkurangnya rongga tanah. Hal ini diakibatkan oleh adanya flokulasi antara partikel tanah lempung ekspansif dan kapur membentuk reaksi pozzolan yang memiliki ikatan antara kapur (CaO) yang bereaksi dengan komponen silika (SiO₂) dan alumina (AlO₂) dalam tanah lempung ekspansif menghasilkan senyawa kalsium-silikat hidrat (C-S-H) dan senyawa kalsium aluminat hidrat (C-S-A-H) membentuk pasta semen (hydrate gel) yang memiliki sifat perekat sehingga mampu mengikat partikel- partikel tanah, yang membuat tanah yang sebelumnya memiliki struktur yang berlapis dengan flokulan antara partikel tanah lempung ekspansif, menjadi struktur yang kristal dan padat. (Zhou, dkk, 2019 : 13)

3.2.4 Hasil Pengujian XRD Tanah Yang Distabilisasi

Tabel 6. Komposisi Mineral Lempung Ekspansif Yang Telah Distabilisasi

Jenis Mineral	Kandungan Mineral (%)
<i>Quartz alpha</i>	39,0
<i>Monmorillonite</i>	39,9
<i>Calcite</i>	13,2
<i>portlandite</i>	7,8

Dari Tabel 6. dapat dilihat bahwa untuk kandungan mineral montmorillonite mengalami penurunan dari tanah asli ke tanah yang telah distabilisasi. Hal ini disebabkan oleh Kapur (CaO) bereaksi dengan komponen silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) dalam tanah lempung ekspansif menghasilkan senyawa kalsium-silikat hidrat (C-S-H) dan senyawa kalsium-aluminat hidrat (C-S-A-H) yang memiliki sifat perekat, yang menyebabkan tanah menjadi padat. Selain itu, adanya proses hidrasi kapur yang disebabkan karena adanya reaksi kapur (CaO) dengan air (H₂O) membentuk kalsium-hidroksida (Ca(OH)₂) atau membentuk kandungan mineral portlandite berupa pembentukan senyawa kalsium karbonat (batu kapur) di sekitar butiran-butiran tanah yang membantu mengikat partikel-partikel tanah bersama-sama, meningkatkan stabilitas tanah, dan mengurangi erosi tanah, serta membantu mengendalikan potensi pengembangan tanah lempung ekspansif dan meningkatkan kekuatan tanah. (Zhou, dkk, 2019)

3.3 Identifikasi Tanah Ekspansif Secara Tidak langsung dan Langsung

3.3.1 Identifikasi Secara Tidak Langsung

a. Nilai Indeks Plastisitas dan Batas Susut

Berdasarkan Tabel 4 tanah asli dan yang distabilisasi menggunakan kapur sebesar 3%, 6%, dan 9% tergolong dalam tanah lempung kohesif dengan sifat plastisitas tinggi karena memiliki nilai indeks plastisitas lebih besar dari 17%, serta tergolong dalam derajat mengembang dengan kategori kritis karena memiliki nilai batas susut lebih kecil dari 10%, namun setelah distabilisasi menggunakan kapur sebesar 3%, 6%, dan 9% dengan nilai batas susut berturut-turut 28,85 %, 35,91 %, 38,39 % tergolong dalam kategori tidak kritis (>12%).

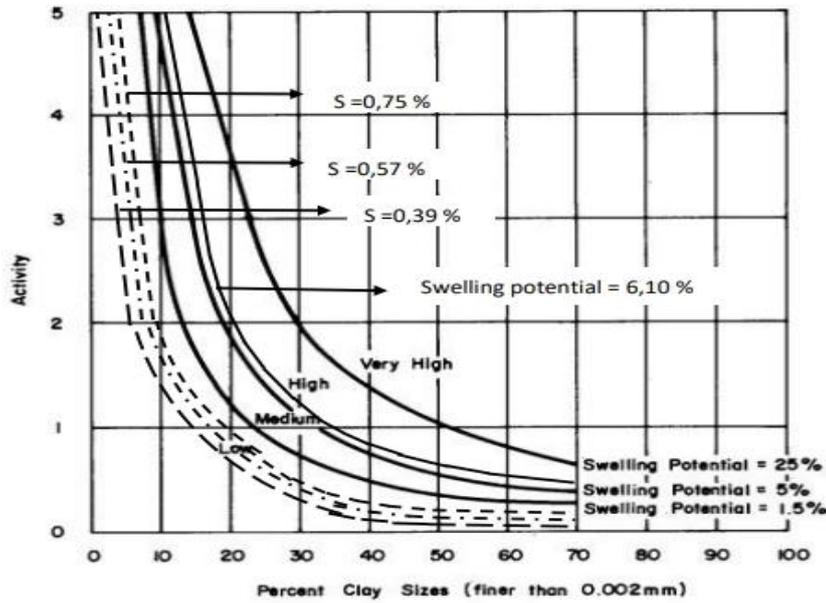
b. Tingkat keaktifan

Berdasarkan Tabel 4 menurut Skempton (1953) dalam (Pd T-10-2005-B) Tanah asli, Penambahan 3% kapur dan 6% kapur memiliki tingkat keaktifan yang aktif, karena nilai tingkat keaktifan lebih besar dari 1,25 sehingga tergolong dalam potensi pengembangan tanah yang tinggi. Sedangkan pada penambahan 9% kapur memiliki tingkat keaktifan normal karena nilai tingkat keaktifan diantara 0,71-1,25 sehingga tergolong dalam potensi pengembangan tanah yang sedang.

c. Kandungan Mineral

Pengujian hasil XRD tanah asli dan tanah yang distabilisasi pada Tabel 5 dan Tabel 6, menunjukkan bahwa kandungan mineral montmorillonite tanah asli sebesar 45,4 % mengalami penurunan menjadi 39,9 % setelah distabilisasi menggunakan kapur. Penurunan ini menunjukkan pengaruh positif terhadap kestabilan tanah, karena semakin kecil nilai kandungan mineral montmorillonite dalam tanah, tanah menjadi semakin baik sebagai dasar dari sebuah konstruksi.

3.3.2 Identifikasi Secara Langsung



Berdasarkan hasil pengujian, tanah asli memiliki nilai potensi pengembangan sebesar 6,10%, sedangkan untuk tanah yang telah distabilisasi dengan penambahan variasi kapur 3%, 6%, dan 9% menunjukkan nilai berturut-turut 0,75%, 0,57% dan 0,39% (dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 1). Berdasarkan Tabel 4 (Seed dkk, 1962 dalam Hardiyatmo, 2002) dan Gambar 3 tanah asli tergolong dalam derajat ekspansif yang tinggi dengan potensi pengembangan berada pada rentang 5,0- 25 %. Namun, setelah tanah distabilisasi menggunakan kapur dengan persentase kapur 3%, 6% dan 9%, tanah tergolong dalam derajat ekspansif yang rendah dengan potensi pengembangan berada pada rentang 0- 1,5%. Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi tanah lempung Bobonaro menggunakan kapur dapat mengurangi potensi dan tekanan pengembangan tanah. Hal ini dapat mengurangi kerusakan pada jalan yang disebabkan oleh potensi dan tekanan pengembangan pada tanah dasar, sehingga kerusakan tersebut dapat diminimalisir.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif dari Desa Oebelo, dengan penambahan variasi kapur sebanyak 3%, 6%, dan 9% terhadap berat kering tanah asli, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan kapur terhadap sifat fisik-mekanik tanah adalah :
 - Tanah asli dan tanah yang distabilisasi diklasifikasikan sebagai lempung non-organik dengan plastisitas tinggi (CH) menurut sistem klasifikasi USCS dan sebagai tanah berlempung dalam kelompok A-7-6 menurut sistem klasifikasi AASHTO.
 - Stabilisasi tanah mengakibatkan penurunan nilai berat jenis tanah, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, dan persentase lolos ayakan no. 200, kadar air optimum, potensi dan tekanan pengembangan tanah, serta peningkatan nilai batas susut dan berat volume kering maksimum seiring dengan penambahan kapur 3%, 6%, dan 9%.
2. Pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan kapur terhadap sifat mikrostruktur tanah adalah :
 - Pada pengujian SEM menunjukkan bahwa tanah asli memiliki struktur bersisik dan flokulan dengan pori-pori dan retakan yang jelas. Setelah distabilisasi menggunakan 9% kapur terjadi perubahan struktur dengan pori-pori dan retakan terisi partikel kapur dan beberapa produk hidrasi.

- - Pengaruh pengujian XRD bahwa tanah asli, memiliki 3 kandungan mineral utama yaitu Montmorillonite sebagai kandungan mineral paling dominan sebesar 45,4 %, Quartz alpha, calcite. Sedangkan tanah yang distabilisasi menggunakan 9% kapur, memiliki 4 kandungan mineral utama yaitu montmorillonite sebagai kandungan mineral paling dominan sebesar 39,9 %, Quartz alpha, calcite, portlandite.
3. Pengaruh tingkat potensi pengembangan tanah terdiri dari :
- Berdasarkan identifikasi secara tidak langsung, tanah asli tergolong dalam lempung kohesif dengan sifat plastisitas tinggi dan derajat mengembang kategori kritis serta potensi pengembangan tinggi, dengan kandungan mineral montmorillonite 45,4 %. Setelah distabilisasi menggunakan kapur 3%, 6%, dan 9% tanah mengalami perubahan menjadi kategori tidak kritis dengan potensi pengembangan sedang sampai rendah, dan kandungan mineral montmorillonite turun menjadi 39,9%.
 - Berdasarkan identifikasi secara langsung tanah melalui pengujian potensi pengembangan tanah, tanah asli tergolong dalam potensi pengembangan tanah yang tinggi (6,102 %). Setelah penambahan kapur 3%, 6% dan 9%, tanah tergolong dalam derajat ekspansif rendah dengan nilai potensi pengembangan berturut-turut sebesar 0,75%, 0,56% dan 0,39%.
- Hal ini menunjukkan dampak yang positif terhadap kestabilan suatu tanah dalam meningkatkan daya dukung tanah sebagai tanah dasar dalam suatu konstruksi, dan yang menjadi rekomendasi untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif di Desa Oebelo yaitu pada variasi 3 dengan penambahan 9% kapur pada tanah karena memiliki nilai potensi dan tekanan pengembangan paling kecil.

Daftar Pustaka

- Aryanto, Muhardi, Suhendra, & Amalia, K. R. 2021. "Stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan kapur tohor." *Jurnal Talenta Sipil* 4 (1) : 38–43.
- ASTM International. 1996. *Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils (ASTM D4546-96)*. United States.
- ASTM Internasional. 1998. *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass (ASTM D 2216)*. United State.
- ASTM Internasional. 2000. *Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristic of Soil Using Standard Effort (ASTM D 698)*. United State.
- ASTM Internasional. 2000. *Standard Test Method Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils (ASTM D 4318)*. United State.
- ASTM Internasional. 2002. *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils (ASTM D 442)*. United State.
- ASTM Internasional. 2002. *Standard Test Method for Spesific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer (ASTM D 854)*. United State.
- Bella, R. A., Bunganaen, W., & Sogen, P. M. 2015. Identifikasi Kerusakan Konstruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif di Desa Oebelo. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 4 (2) : 195-208.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsi-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta : Erlangga.
- Fernandez, G. J. W. 2017. Kajian Karakteristik Lempung Bobonaro di Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Jalan dan Jembatan*. 24(1) : 1-17
- Hangge, E. E. 2017. Pengaruh Kadar Air pada Potensi Pengembangan Lempung Oebelo. *Prosiding Seminar Nasional Teknik FST Undana 2017*. 4-05 November 2017. Kupang, Indonesia. 415-422.
- Hangge, E. E., Bela, Romiyati A., & Ullu, Martha C. 2021. Pengaruh Stabilisasi Tanah lempung Ekspansif Menggunakan Kapur, Fly Ash, dan Bottom Ash Terhadap Kapasitas Dukung Tanah. *Jurnal Teknik Sipil*. 1(1) : 89-102.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta : Gajah mada University Press.
- Pd T-10-2005-B. 2005. *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*. Departemen Pekerjaan Umum.

- Ranggaesa, R. Abeng., Zaika, Yulvi.,Suroso. 2017. Pengaruh Kapur Terhadap Kekuatan dan Pengembangan (Swelling) Pada Tanah lempung Ekspansif Bojonegoro. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*. 4(1) :1-7.
- Sudjianto, A.T., Suryolelono, K.B., Rifa'i, A., Mochtar, I.B. 2009. Behavior of Expansive Clay of Ngawi Region (East java) Under Water. *Civil Engineering Dimension*. 11(2) :100-105.
- Zhou, Sheng-quan., Zhou, Da-wei., Zhang, Young-fei., & Wang, Wei-jian. 2019. Study on Physical-Mechanical properties And Microstructure of Ekspansive Soil Stabilized with Fly Ash and Lime. *Advances in Civil Engineering*. 2019 (1) : 1-15.