

Analisis Perilaku Kembang Susut Tanah Lempung Fakfak yang Distabilisasi dengan Kapur

Analysis of Swelling Behavior of Fakfak Clay Soils Stabilized with Lime

Nurul Muhlisah¹, Jusmawandi², Risma Niswati Tarman³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Fakfak, Jl. Imam Bonjol Atas, Fakfak

Email : nurulumhlishah@polinef.id

Abstrak

Tanah sebagai bahan konstruksi yang mendukung suatu struktur memerlukan sifat dan daya dukung yang baik, namun seringkali tanah lempung memiliki sifat yang bermasalah. Tanah lempung yang memiliki sifat bermasalah adalah tanah lempung ekspansif yang memiliki sifat kembang susut dan dipengaruhi oleh kandungan air. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pencampuran tanah dengan kapur pada perilaku kembang susut tanah. Metode yang digunakan adalah mencampur tanah Lempung Fakfak dengan kapur dengan presentase campuran 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%, masa pemeraman 3 hari. Tanah asli yang digunakan adalah tanah OH atau A-7-5 dengan kadar air rata-rata sebesar 50,51%, berat isi 0,612 gr/cm³, berat jenis 2,3, batas cair sebesar 61,59%, batas plastis 48,86%, dan batas susut 32,94%, dengan indeks plastisitas 12,73%, kategori tanah plastisitas sedang dan sifat kohesif. Pada pencampuran tanah dengan kapur 2%, 4%, 6%, dan 8%, diperoleh hasil bahwa plastisitas tanah menurun seiring bertambahnya kadar kapur, dengan nilai terkecil pada campuran kapur 8% sebesar 1,04%. Batas susut terbesar terdapat pada campuran kapur 2% (33,27%), sedangkan terkecil pada campuran kapur 8% (28,77%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencampuran kapur efektif dalam memperbaiki kondisi tanah, dengan campuran kapur 8% menunjukkan komposisi yang aman terhadap kembang susut tanah dibandingkan dengan tanah asli dan campuran kapur lainnya.

Kata Kunci: kapur; kembang susut; lempung; plastisitas; sifat indeks tanah.

Abstract

Clay soils often exhibit problematic characteristics. Expansive clay, which has swelling and shrinkage properties that are influenced by its moisture content. The study analyze the effect of lime mixing on the swelling and shrinkage behavior of soil. The method used involves mixing Fakfak clay with lime in proportions of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8%, with a curing period of 3 days. The original soil used is classified as OH or A-7-5, with an average moisture content of 50.51%, a bulk density of 0.612 g/cm³, a specific gravity of 2.3, a liquid limit of 61.59%, a plastic limit of 48.86%, and a shrinkage limit of 32.94%, with a plasticity index of 12.73%, classified as medium plasticity and cohesive. The results showed that soil plasticity decreased with increasing lime content, with the lowest value found at 8% lime (1.04%). The largest shrinkage limit was found in the 2% lime mixture (33.27%), while the smallest was in the 8% lime mixture (28.77%). The conclusion lime mixing is effective in improving the soil's condition, with the 8% lime mixture demonstrating a stable composition with respect to the swelling behavior, compared to both the original soil and other lime mixtures.

Keywords: lime; swelling; clay; plasticity; soil index properties.

PENDAHULUAN

Tanah lempung yang memiliki sifat yang bermasalah adalah tanah lempung ekspansif, tanah ini merupakan tanah yang bermasalah, dan sangat dipengaruhi oleh kandungan air yang ada disekitarnya. Sifat utama tanah ini adalah memiliki potensi kembang susut ketika terdapat fluktuasi kadar air yang tinggi, yaitu tanah akan mengembang saat musim hujan dan akan menyusut saat musim kemarau. Jenis tanah yang mudah berubah volumenya ini adalah tanah yang banyak

mengandung lempung, terutama yang mengandung mineral montmorillonite (Hardiyatmo, 2014). Suatu tanah lempung dapat diperkirakan ekspansif apabila memiliki indeks plastisitas (PI) $\geq 20\%$ (Bowles dan Hainim, 1993 dalam Nur dkk, 2019. Menurut Wesley (2017) jenis mineral lempung yang paling sering terdapat di lapangan adalah kaolinite, illite, dan momorillonite dengan besaran butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Mineral lempung inilah yang menghasilkan sifat lempung yang khusus, yaitu kohesi dan plastisitas. Potensi kembang susut pada

tanah lempung ini dapat merusak struktur yang ada di atasnya, kerusakan dapat berupa retakan dan dapat berakibat fatal dan bangunan tidak dapat berfungsi dengan normal. Proses alam turut andil dalam kondisi ini (Surjandari dkk, 2021). Permasalahan utama tanah ekspansif adalah sangat sensitive terhadap perubahan kadar air, karena itu diperlukan stabilisasi tanah yang bertujuan untuk menurunkan sensitifitas tanah terhadap air.

Stabilisasi tanah adalah salah satu cara untuk memperbaiki sifat tanah asli dengan menambahkan bahan tertentu yang mengakibatkan perubahan sifat tanah asli (harianto dan Masri, 2016). Dari sifat teknisnya stabilisasi dibagi menjadi 3 jenis, yaitu stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik, dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi yang murah dan efektif yaitu dengan menambahkan bahan kimia tertentu yang bertujuan untuk mengikat mineral lempung menjadi padat, sehingga dapat mengurangi sifat kembang susut tanah lempung (Yunus dan Irwan, 2018).

Kapur atau kalsium oksida (CaO) dibuat dari batuan karbonat yang dipanaskan pada suhu yang tinggi. Kapur umumnya berasal dari batu kapur (limestone). Kapur merupakan salah satu bahan yang telah banyak dipakai sebagai bahan bangunan dan digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. Pada saat tanah dicampur dengan kapur dan ditambah air, dalam tanah berbutir halus timbul pertukaran kation dengan cepat dan terjadi reaksi penggumpalan yang menghasilkan perubahan struktur, dan membentuk partikel-partikel tanah dengan ukuran yang lebih besar. Pertukaran kation dan flokulasi menyebabkan perbaikan dengan cepat terhadap plastisitas tanah, kemudahan dikerjakan (workability), kekuatan, dan sifat-sifat tegangan-deformasinya (Hardiyatmo, 2014).

Mempelajari perilaku kembang susut tanah lempung Fakfak dengan akurat diharapkan menjadi data base untuk penentuan karakteristik geoteknik tanah lempung di wilayah Fakfak sehingga dapat digunakan langsung dalam perhitungan maupun desain geoteknik untuk tanah lempung sehingga dapat bermanfaat dalam Pembangunan infrastruktur di Kabupaten Fakfak.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Selain itu permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi dan Peck, 1987).

Lempung ekspansif memiliki sifat khusus yaitu kapasitas pertukaran ion yang tinggi yang akan mengakibatkan lempung jenis ini memiliki potensi pengembangan yang cukup tinggi apabila perubahan kadar air. Jika kadar air bertambah, tanah lempung ekspansif akan mengembang disertai dengan kenaikan tekan air pori dan tekanan pengembangannya. Sebaliknya, jika dengan kadar air turun sampai dengan batas susutnya, lempung ekspansif akan mengalami penyusutan yang cukup tinggi. Atau dengan kata lain, lempung ekspansif memiliki kepekaan yang sangat tinggi terhadap penambahan kadar air.

Tanah lempung ekspansif terjadi akibat fenomena *shrink-swell* (kembang- susut) karena perubahan kadar air didalam tanah lempung. *Montmoillon* fe tergolong jenis lempung yang mempunyai potensial pengembang sangat tinggi.

Karakteristik umum dari tanah ekspansif adalah:

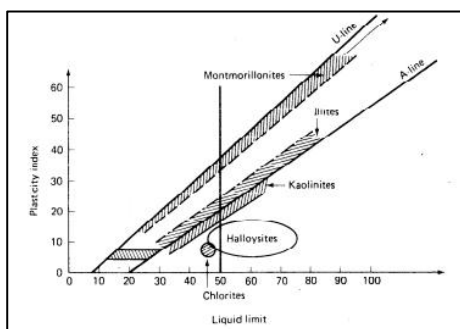
1. Mempunyai harga Indeks Plastisitas (IP) yang tinggi ($> 75\%$)
2. *Cation exchange capacity* umumnya lebih besar dari 80 meq/100 gr.
3. Mempunyai nilai *activity* tinggi (sekitar 6-7)
4. *Specific surface* total 700 m²/gr.
5. *Swelling index* (Cs) relatif tinggi (0,07)
6. *Swelling pressure* yang ditimbulkan sangat tinggi (> 500 kPa)
7. *Peresentase pressure free swelling* $> 250\%$

Atterberg Limit Tanah

Sebagai penilaian awal sifat mekanik pada tanah lempung, maka digunakan batas-batas Atterberg (*Atterberg limit*) untuk mengidentifikasi, mendeskripsikan, dan mengklasifikasikan tanah ini. *Atterberg limit* dikembangkan oleh Albert Atterberg (1911;1916) yang melakukan penelitian tentang sifat konsistensi pada tanah berbutir halus. Selanjutnya Terzaghi (1925) menyatakan bahwa hasil dari *Atterberg limit* tergantung dari faktor fisik yang ditentukan oleh ketahanan dan permeabilitas tanah namun dengan cara yang lebih kompleks. Berbeda dengan tanah granular, pada tanah kohesif sangat dipengaruhi oleh air. Casagrande (1932) mengembangkan standar alat untuk menentukan batas cair (*liquid limit*) dan menemukan bahwa untuk mineral bukan lempung tidak memberikan hasil walaupun ukuran partikelnya di bawah 2 μ m. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Casagrande menunjukkan bahwa *Atterberg limit* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah berbutir halus (Holtz dkk., 2011, dan Mithcell dan Soga, 2005).

Dalam praktik geoteknik pengujian *Atterberg limit* yang sering digunakan mencakup pengujian batas cair tanah (*liquid limit*), batas plastis tanah (*plastic limit*), dan batas susut tanah (*shrinkage limit*). Batas cair (LL) adalah batas kadar air suatu tanah berubah dari keadaan cair (*liquid*) menjadi

plastis (*plastic*). Batas plastis (PL) adalah kadar air dimana tanah mulai retak ketika digulung menjadi kecil atau kadar air batas suatu tanah berubah dari keadaan plastis (*plastic*) menuju *semi solid*, sedangkan batas susut (SL) adalah kadar air dimana volume tanah tidak lagi mengalami perubahan dengan hilangnya air (evaporasi) atau kadar air batas tanah berubah dari keadaan *semi solid* menjadi *brittle solid*. Ilustrasi ketiga Atterberg limit ini dapat dilihat pada gambar II.5 (Holtz dkk., 2011 dan Terzaghi dkk., 1996)..



Gambar 1. Atterberg limit (Holtz dkk., 2011).

Selain ketiga Atterberg limit diatas, Atterberg juga mendefinisikan indeks yang disebut indeks plastisitas (*plasticity index*) yang menjelaskan rentang kadar air apakah tanah tersebut plastis ataukah tidak. Nilai *plasticity index* (PI) diperoleh dari selisih antara batas cair dan batas plastis. *Plasticity index* sangat berguna dalam mengklasifikasi tanah berbutir halus dan banyak sifat teknis tanah yang berkorelasi dengan dengan PI. *Plasticity index* ini diplot terhadap batas cair (*liquid limit*) dalam *plasticity chart*. *Plasticity chart* menunjukkan berbagai zona yang berbeda dan mineral yang berbeda (Holtz dkk., 2011).

Ambang batas tanah plastisitas dapat dilihat pada Tabel 3, dimana batas tanah plastis dan batas cair berbeda, dan batas cair merupakan batas terbesar diantara batas plastis tersebut. Menurut prinsip plastis, semakin jelas nilai numeriknya, semakin jelas pula susutnya selama proses menjadi kering.

Sebagaimana dikemukakan oleh Atterberg dan dikutip oleh Krabs & Walker (1971), plastis di darat diklasifikasikan menjadi delapan kelompok menurut indeks PI (plastisitasnya) yang berkisar antara 0 hingga signifikan 17%. Hal ini terlihat pada Tabel 3

Tabel 1. Batasan mengenai PI, sifat macam tanah dan kohesi

PI (%)	Sifat	Macam tanah	kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	lempung	kohesif

Kapur

Kapur memiliki sifat sebagai bahan ikat yaitu sifat plastis baik (tidak getas), mudah dan cepat mengeras, *workability* baik dan mempunyai daya ikat baik untuk batu dan bata (Tjokrodinuljo,1992). Bahan dasar kapur adalah batu kapur atau dolomit, yang mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO_3). Pengertian kapur sebagai bahan stabilisasi mengacu pada mineral kapur berupa kalsium hidroksida (Ca(OH)_2), kalsium oksida (CaO) dan kalsium karbonat (CaCO_3). Penggunaan yang paling efektif dan aman dalam pelaksanaan konstruksi adalah menggunakan kalsium hidroksida (kapur padam) yang disarankan berupa bubuk, karena sangat penting untuk proses hidrasi dan mengurangi masalah yang timbul, kalsium karbonat kurang efektif dipergunakan untuk bahan campuran, sedangkan kalsium oksida (*quick lime*) lebih baik dalam proses kimianya namun beberapa kelemahan dari kalsium oksida ini dapat mempermudah terjadinya korosi pada peralatan dan sangat berbahaya bagi kulit pelaksana konstruksi (Ingless dan Metcalf,1992).

Karakteristik Batu Kapur (*limestone*) Warna putih, putih kecoklatan, dan ada yang putih keabuan Memiliki bidang belahan yang tidak teratur Tingkat kekerasan 2,7 sampai 3,4 skala mohs Berat jenis batu kapur 2,387 Ton/ meter kubik Sifat batuan ini keras dan ada yang yang berongga.

METODE

Tanah yang diambil sebagai benda uji adalah tanah lempung dalam kondisi terganggu di Kabupaten Fakfak. Secara garis besar tahapan penelitian adalah: perencanaan dan persiapan, survey pemilihan lokasi penelitian, pengambilan sampel di lapangan, pengujian di laboratorium, Analisa data, dan kesimpulan. Pengujian yang dilaksanakan menggunakan tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan kapur. Pengujian pada tanah lempung asli adalah pengujian kadar air, berat

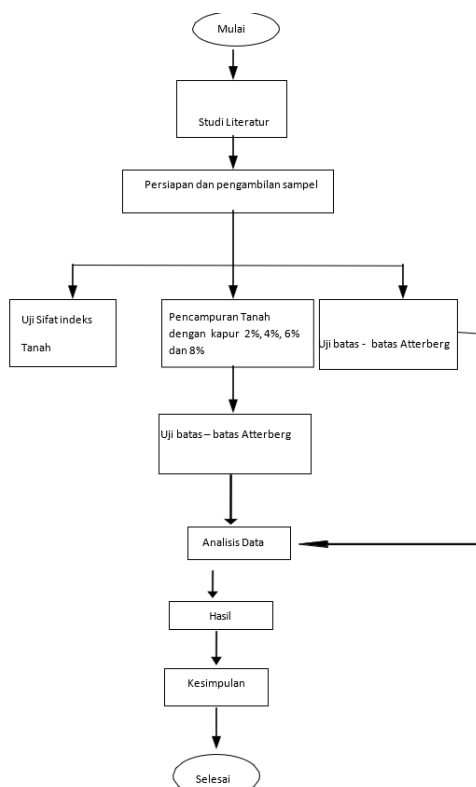
volume, berat jenis, batas-batas Atterberg, gradasi ukuran butiran tanah dan klasifikasi tanah, Selanjutnya dilaksanakan pencampuran tanah asli dengan kapur dengan presentase campuran sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Kapur yang digunakan adalah kapur padam ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Dengan waktu pemeraman 3 (tiga) hari kemudian dilaksanakan pengujian batas-batas atterberg tanah

Pada campuran benda uji di penelitian ini dilakukan pencampuran untuk 5 variasi campuran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2. Analisis utama dalam penelitian ini terdiri dari:

- Pengujian Sifat Indeks Tanah (Kadar air, berat isi, berat jenis, angka pori, porositas) ASTM
- Pengujian Atterberg Limit mengacu pada standar ASTM D4318

Tabel 2. Proporsi campuran benda uji

keterangan	Berat Campuran (kg)	Tanah (kg)	Kapur (%)
Sampel 1	10kg	10kg	0%
Sampel 2	10kg	9,98kg	2%
Sampel 3	10kg	9,96kg	4%
Sampel 4	10kg	9,94kg	6%
Sampel 5	10kg	9,92kg	8%



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sifat Indeks Tanah

Dari pengujian sifat indeks tanah yang dilakukan di laboratorium diperoleh nilai kadar air rata-rata dari tanah asli sebesar 50,51%, dengan berat isi sebesar $0,612 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis tanah diperoleh sebesar 2,3, porositas sebesar 41,31%, dengan angka pori sebesar 70,53% dan derajat kejenuhan sebesar 72,66%. Dari pengujian sifat indeks tanah diperoleh pula jenis tanah asli menurut klasifikasi tanah metode USCS diperoleh tanah berupa OH yaitu lempung organik dengan plastisitas tinggi sedangkan menurut metode AASHTO diperoleh tanah ini berupa tanah A-7-5 yaitu tanah lempung. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Sifat Indeks Tanah Asli

Pengujian	Satuan	Nilai
Kadar Air	%	50,51
Berat Isi	Gr/cm^3	0,613
Berat Jenis	-	2,3
Jenis Tanah (USCS)	-	OH
Jenis Tanah (AASHTO)	-	A-7-5
Porositas	%	41,31
Angka Pori	%	70,53
Derajat Kejenuhan	%	72,66

2. Batas-batas Atterberg Tanah (Plastisitas Tanah)

Adapun hasil pengujian plastisitas tanah asli dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Batas-batas Atterberg Tanah Asli

Parameter	Satuan	Nilai
Batas Cair	%	61,59
Batas Plastis	%	48,86
Batas Susut	%	32,94
Indeks Plastisitas	%	12,73

Pengujian batas atterberg pada tanah asli diperoleh batas cair sebesar 61,59% dan batas plastis sebesar 48,86%, dari kedua pengujian ini diperoleh nilai Indeks plastisitas sebesar 12,73%, dari tabel plastisitas diperoleh tanah ini masih dalam kategori plastisitas sedang namun sudah memiliki sifat tanah kohesif. Dari pengujian batas susut diperoleh nilai batas susut yang masih cukup besar yaitu di 32,94%.

3. Sifat Tanah dengan Campuran Kapur

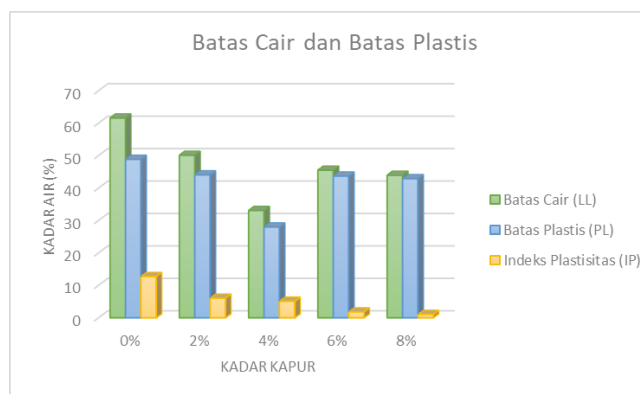
Dari pengujian batas cair dan batas plastis diperoleh nilai plastisitas tanah yang telah dicampur

dengan beberapa kadar kapur seperti yang terlihat pada tabel 5 dan gambar 3.

Tabel 5. Rekapitulasi hasil batas-batas Atterberg pada tanah

Jenis Pengujian	Satuan	Presentase Kapur				
		0%	2%	4%	6%	8%
Kadar Air	%	50,51	2,61	6,35	2,46	5,96
Batas Cair (LL)	%	61,59	50,10	33,08	45,50	43,93
Batas Plastis (PL)	%	48,86	44,06	27,98	43,68	42,90
Indeks Plastisitas (PI)	%	12,73	6,05	5,10	1,82	1,04
Batas Susut	%	32,94	33,27	31,01	32,71	28,77

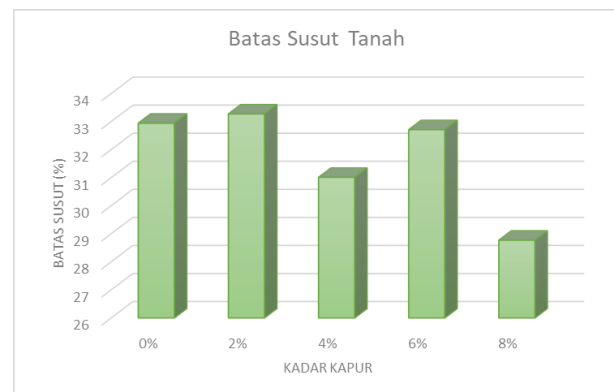
Dari gambar 3 terlihat bahwa nilai batas cair dan batas plastis terbesar ada pada tanah asli dengan kadar kapur 0% yaitu sebesar 61,59% dan 48,86% sedangkan nilai terkecil ada pada campuran 4% kapur yaitu sebesar 33,08% dan 27,98%. Namun untuk mengetahui kondisi plastisitas tanah atau kemampuan tanah untuk berubah bentuk atau volume karena kandungan air maka harus memperhatikan nilai indeks plastisitas.



Gambar 3. Grafik perbandingan batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai plastisitas terbesar ada pada kandungan kapur 0% kemudian berturut-turut plastisitas makin mengecil dengan penambahan kapur hingga mencapai nilai terkecil yaitu pada campuran kapur 8% dengan nilai indeks plastisitas sebesar 1,04%, nilai ini menunjukkan tanah dengan campuran kapur 8% memiliki nilai plastisitas yang sangat rendah. Dengan demikian untuk mendapatkan batas cair dan batas plastis terkecil dapat menggunakan kadar kapur 4% namun untuk mendapatkan nilai plastisitas

yang kecil atau kemampuan untuk kembang susut makin mengecil dapat menambahkan kadar kapur dimana nilai plastisitas terkecil yaitu pada campuran kapur 8%.



Gambar 4. Perbandingan nilai batas susut tanah dengan beberapa campuran kadar kapur

Perbandingan nilai batas susut tanah dapat dilihat pada grafik di atas Dimana terlihat bahwa nilai batas susut berbeda-beda tiap campuran kadar kapur. Nilai batas susut terbesar ada pada tanah dengan campuran kapur 2% yaitu sebesar 33,27%, kemudian menurun pada tanah asli sebesar 32,94%, selanjutnya makin menurun pada kadar 6% yaitu 32,71%, batas susut kemudian semakin kecil pada campuran kapur 4% dengan nilai 31,01% dan nilai batas susut terkecil ada pada campuran kadar kapur 8% yaitu sebesar 28,77%. Dari hasil ini disimpulkan bahwa kadar kapur 8% merupakan campuran kapur terbaik untuk mendapatkan batas susut terkecil. Dari pengujian ini juga terlihat bahwa dengan campuran kadar kapur 8% maka penurunan volume tanah atau penyusutan tidak begitu besar dibandingkan dengan kadar campuran yang lain.

Dari pengujian Atterberg limit diperoleh nilai terbaik campuran kapur ada pada campuran 8%, Dimana pada campuran ini merupakan komposisi yang cukup aman terhadap kembang susut tanah dibandingkan tanah asli.

KESIMPULAN

Sifat indeks tanah diperoleh nilai kadar air rata-rata dari tanah asli sebesar 50,51%, dengan berat isi sebesar 0,612 gr/cm³, berat jenis tanah diperoleh sebesar 2,3, porositas sebesar 41,31%, dengan angka pori sebesar 70,53%. Jenis tanah asli adalah tanah OH atau A-7-5. Selain itu diperoleh nilai batas cair sebesar 61,59% dan batas plastis sebesar 48,86%, batas susut sebesar 32,94%. Indeks plastisitas tanah asli sebesar 12,73%, dari tabel plastisitas diperoleh tanah ini masih dalam kategori plastisitas sedang dengan sifat kohesif.

Pada pencampuran tanah dengan kapur dengan kadar 2%,4%,6%, dan 8% diperoleh Nilai plastisitas tanah terbesar ada pada kandungan kapur 0% kemudian berturut-turut plastisitas makin mengecil mencapai nilai terkecil pada campuran kapur 8% sebesar 1,04%. Nilai batas susut terbesar ada pada tanah dengan campuran kapur 2% yaitu sebesar 33,27%, dan nilai batas susut terkecil ada pada campuran kadar kapur 8% yaitu sebesar 28,77%.

Dari pengujian Atterberg limit diperoleh bahwa campuran kapur cukup efektif untuk memperbaiki kondisi tanah, Dimana nilai terbaik campuran kapur ada pada campuran 8%, pada campuran ini merupakan komposisi yang cukup aman terhadap kembang susut tanah dibandingkan tanah asli dan campuran kadar kapur yang lain.

REFERENSI

- Alatas, I. M., Kamaruddin, S. A., Nazir, R., Irsyam, M., dan Himawan, A. (2015): Shear strength degradation of Semarang-Bawen clay-shale due to weathering process, *Jurnal Teknologi*, **126(1)**, 15–31.
- Das, B.M dan Sobhan K. 2015. *Principles of Geotechnical engineering*. Edisi 8 Amerika Serikat: Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. 1996. *Teknik Pondasi 1*. Jakarta:PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Mekanika Tanah I*. Edisi Ke V Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2014. *Tanah Ekspansif: Permasalahan dan Penanganan*. Edisi Pertama Cetakan Pertama. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harianto T., Masri A., 2016. Karakteristik Mekanis Tanah Kembang Susut Yang Distabilisasi Dengan Limbah Marmer. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016 ISSN: 2459-9727 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*. 25 Mei 2016. Surakarta. Indonesia. 293-300.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., dan Sheahan, T. C. .2011. *An Introduction to Geotechnical Engineering (Second)*. Canada: Pearson Prentice Hall.
- Mithcell, J. K., dan Soga, K. (2005).: *Fundamental of Soil Behaviour*, John Wiley & Son, INC, Canada.
- Nur, A., Utomo, S.H.T., Irawan, M.Z., 2019. Stabilisasi Tanah Ekspansif Menggunakan Kapur Dan Spent Catalyst Untuk Tanah Dasar Perkerasan. *Jurnal Transportasi*. 19 (1) 21-30.
- Refi, A., Elvanisa. 2016. Pengaruh Variasi Abu Cangkang Sawit Terhadap Kembang Susut Tanah Lempung. *Jurnal Teknik Sipil ITP.3* (2). 1-10.
- Surjandari, N.S., Fitri, S.N., Djarwanti, N., Purwana, Y. M., Setiawa B., Indrabaskara, R. H. D. H., Prakosa, B.B. 2021. *Kajian Potensi Kembang Susut Tanah Ekspansif Di Beberapa Wilayah Solo Raya*. Edisi Pertama Cetakan Pertama, Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Terzaghi, K., Peck, R. B., dan Mesri, G. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Canada: John Wiley & Son, INC.
- Wesley, L.D. 2017. *Mekanika Tanah*. Edisi Kedua. Terjemahan. Yogyakarta: Andi
- Yunus, M., Rauf I., 2018. Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Nilai Plastisitas Tanah Lempung Di Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat. *Jurnal Logic*. 18 (1) 2018. 26-31.