



PENGARUH KAPUR SEBAGAI *STABILIZING AGENT* TERHADAP INDEKS PLASTISITAS DAN KUAT GESER LEMPUNG EKSPANSIF MEUNASAH RAYEUK

Teuku Jullis S.^{a,*}, Munirwansyah^b, Renni Anggraini^c

^aMagister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^{b,c}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Corresponding author, email address: t.jullis@mhs.unsyiah.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received 01 September 2018

Received in revised form 02 November 2018

Accepted 08 November 2018

Keywords:

Soil Stabilization, Cationization, Lime, Plasticity Index, Direct Shear

ABSTRACT

Clay soil from Desa Meunasah Rayeuk quarry in Kaway XVI, West Aceh Regency is a land material frequently used for construction of road infrastructure. In this quarry, there are three types of soil based on the color, yellow, red, and gray. The three types of soil have expansive characteristics, so they are not suitable for subgrade. This unoptimal characteristic can be improved through soil stabilization. One of them by utilizing the reaction of cationization between lime $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with the clay soil. Therefore, a research needs to be conducted to find out the characteristics of physical and mechanical properties of the original soil and the effect of cationization of the soil and lime mixture on the soil plasticity index and soil shear strength parameters. Testing is done through mineralogical test and ASTM standard tests that include physical properties, standard compaction, and direct shear strength test. Variations of lime addition are 0%, 3%, 6%, 9%, and 12% of the soil dry weight. The test results show that the addition of lime can reduce the soil plasticity index and increase the shear strength of the soil on some level. At mixing up to 12% lime, the soil plasticity index dropped to 12.93% in yellow clay, 11.12% in red clay, and 16.76% in gray clay. The plasticity index after the addition of 12% lime has not met the minimum plasticity index requirement, ie 11%. The maximum shear strength for yellow clay is obtained at 3% lime, and 6% lime for red and gray clays.

©2018 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Konstruksi jalan raya terdiri dari beberapa lapisan struktur perkerasan. Salah satu lapisan struktur perkerasan adalah tanah dasar. Penggunaan tanah lempung yang memiliki sifat sensitif terhadap perubahan kadar air sebagai material tanah dasar sering kali dihindari dalam pekerjaan konstruksi jalan karena dapat menyebabkan kekuatan dan daya dukung struktur tanah dasar jalan yang lemah. Lapis tanah dasar yang memiliki daya dukung buruk dapat menyebabkan konstruksi jalan cepat rusak, bergelombang, atau retak-retak sehingga menimbulkan biaya konstruksi tambahan yang dikeluarkan untuk memelihara, memperbaiki atau membangun ulang.

Lempung *quarry* Desa Meunasah Rayeuk Kecamatan Kaway XVI Kabupaten Aceh Barat adalah salah satu sumber bahan timbun yang sering digunakan sebagai material konstruksi jalan. Berdasarkan perbedaan warna, terdapat tiga jenis lempung yang berbeda, yaitu lempung berwarna kuning, lempung berwarna merah, dan lempung abu-abu. Ketiga lempung menunjukkan sifat sensitif terhadap perubahan kadar air. Saat basah, tanah terasa licin, lengket dan mengembang. Ketika kering, tanah menjadi keras dan retak-retak. Sifat ekspansif terlihat dari ciri-ciri tersebut.

Pemilihan tanah berbutir halus dan memiliki potensi pengembangan yang tinggi sangat merugikan jika digunakan sebagai bahan tanah timbun tanah dasar. Sifat buruk tanah ekspansif dapat diperbaiki secara kimiawi melalui kationisasi kapur sebagai *stabilizing agent*. Berdasarkan identifikasi indeks plastisitas tanah, pemilihan bahan tambah stabilisasi yang cocok dapat dipilih. Oleh karena latar belakang di atas, maka diperlukan penelitian tentang pengaruh penambahan kapur sebagai bahan tambah stabilisasi lempung Meunasah Rayeuk dalam upaya mereduksi indeks plastisitas tanah dan meningkatkan kuat geser tanah.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Batas-Batas Atterberg

Tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat tergantung kadar air. Atterberg (1911) seperti dikutip Hardiyatmo (2002: 44) mengusulkan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas cair (*liquid limit*), adalah nilai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan plastis atau batas atas dari daerah plastis. Batas plastis (*plastic limit*), yaitu nilai kadar air tanah pada batas antara daerah plastis dan semi padat. Pada kondisi ini, tanah yang dibentuk dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Interval antara kadar air saat kondisi tanah masih bersifat plastis disebut sebagai indeks plastisitas (PI). Semakin tinggi indeks plastisitas tanah, semakin buruk kualitas tanah sebagai material tanah dasar.

2.2 Klasifikasi Tanah

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Pada sistem klasifikasi USCS, tanah dibedakan menurut besaran butiran dan batas *Atterberg* tanah. Tanah dikelompokkan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% butiran lolos saringan no. 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau atau lempung) jika lebih dari 50% butiran lolos saringan no. 200. Pada sistem klasifikasi AASHTO, Tanah dikelompokkan ke dalam delapan kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-8. Tanah berbutir yang lolos saringan no. 200 sebesar 35% atau kurang diklasifikasikan sebagai kelompok A-1, A-2, atau A-3. Jika tanah lolos saringan no. 200 sebesar 35% atau lebih dikelompokkan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, atau A-7. Kelompok tanah A-8 adalah tanah gambut (sangat organik) atau rawang (tipis, sangat berair, mengandung bahan organik yang cukup banyak).

2.3 Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif adalah tanah lempung yang memiliki sifat kembang susut. Wesley (2012: 544) menjelaskan bahwa terdapat dua faktor yang dapat menyebabkan terjadinya tanah ekspansif, yaitu bergantung pada komposisi tanah lempung seperti kandungan mineral tertentu dalam lempung dan faktor lingkungan seperti kondisi iklim. Mineral-mineral lempung yang menyebabkan sifat kembang susut tanah tinggi adalah *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite*. Uji mineralogi menggunakan difraksi sinar-X dan analisis kimia sering dilakukan untuk mengetahui keberadaan dan komposisi mineral lempung dalam tanah.

2.4 Stabilisasi Tanah

Hardiyatmo (2013: 1) menerangkan bahwa stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah dan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Sifat-sifat teknis yang diperbaiki

antara lain seperti kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan, dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air.

Bowles (1993: 202) membagi jenis stabilisasi tanah menjadi salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut ini:

1. Stabilisasi mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis.
2. Stabilisasi dengan bahan pencampur (aditif) misalnya kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir kasar, dan pencampur kimiawi seperti semen, gamping, abu batubara, aspal, limbah pabrik kertas, dan lain-lain.

Menurut Rollings dan Rollings (1996) seperti yang dikutip Hardiyatmo (2013), penambahan kapur dalam tanah berbutir halus dan oleh karena adanya air, maka akan menyebabkan reaksi-reaksi sebagai berikut:

1. Ketika tanah dicampur kapur dan ditambah air, dalam tanah-tanah berbutir halus timbul pertukaran kation dengan cepat (kationisasi) dan reaksi pengumpulan- penggumpalan. Pengumpulan dan penggumpalan menghasilkan perubahan tekstur. Partikel-partikel lempung menggumpal secara bersama-sama, sehingga terbentuklah partikel-partikel tanah dengan ukuran yang lebih besar. Pertukaran kation dan flokulasi menyebabkan perbaikan dengan cepat pada plastisitas tanah, kemudahan dikerjakan (*workability*), kekuatan, dan sifat-sifat tegangan-deformasinya.
2. Reaksi *pozzolanik* tanah-kapur terjadi dalam bentuk variasi bahan perantara sementasi. Hasil reaksinya adalah menambah kekuatan campuran yang telah dipadatkan dan keawetannya. Reaksi *pozzolanik* merupakan reaksi yang bergantung pada waktu dan temperatur. Kekuatan ultimit campuran berkembang secara bertahap, dan dalam beberapa hal dapat berlangsung sampai beberapa tahun. Temperatur yang tinggi lebih mempercepat reaksi.

Beberapa penelitian terkait stabilisasi telah dilakukan. Pada umumnya dilatarbelakangi oleh penggunaan material lempung sebagai bahan tanah dasar konstruksi jalan. Munirwansyah dan Reza (2016) telah melakukan penelitian tentang pengaruh stabilisasi menggunakan kapur padam untuk memperbaiki sifat asli tanah lempung Glee Geunteng. Penambahan kapur dapat mereduksi indeks plastisitas lempung Glee Geunteng sebagai hasil reaksi *pozzolanik* yang terjadi. Munirwansyah dan Reza (2017) juga meneliti pengaruh stabilisasi kapur pada tanah Glee Blang Dalam terhadap indeks plastisitas dan pengembangan tanah. Penambahan kapur dapat mengubah sifat plastisitas dan pengembangan tanah lempung.

2.5 Pemadatan Tanah

Bowles (1993: 204) mengemukakan bahwa pemadatan tanah adalah usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Uji pemadatan dilakukan untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume serta mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan. Pada tahun 1923, R.R. Proctor mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Pada umumnya jenis tanah, terdapat nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji pemadatan Proctor. Prosedur uji pemadatan Proctor dirinci dalam ASTM Test Designation D-698. Setelah uji Proctor Standar, diperoleh grafik hubungan kadar air dan berat volume kering benda uji.

2.6 Kuat Geser Tanah

Hardiyatmo (2002: 283) menjelaskan kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan, maka akan ditahan oleh:

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya dan tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada

bidang gesernya.

Coulomb (1776) seperti yang dikutip Hardiyatmo (2002: 283) telah mendefinisikan bahwa:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad . (1)$$

di mana τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

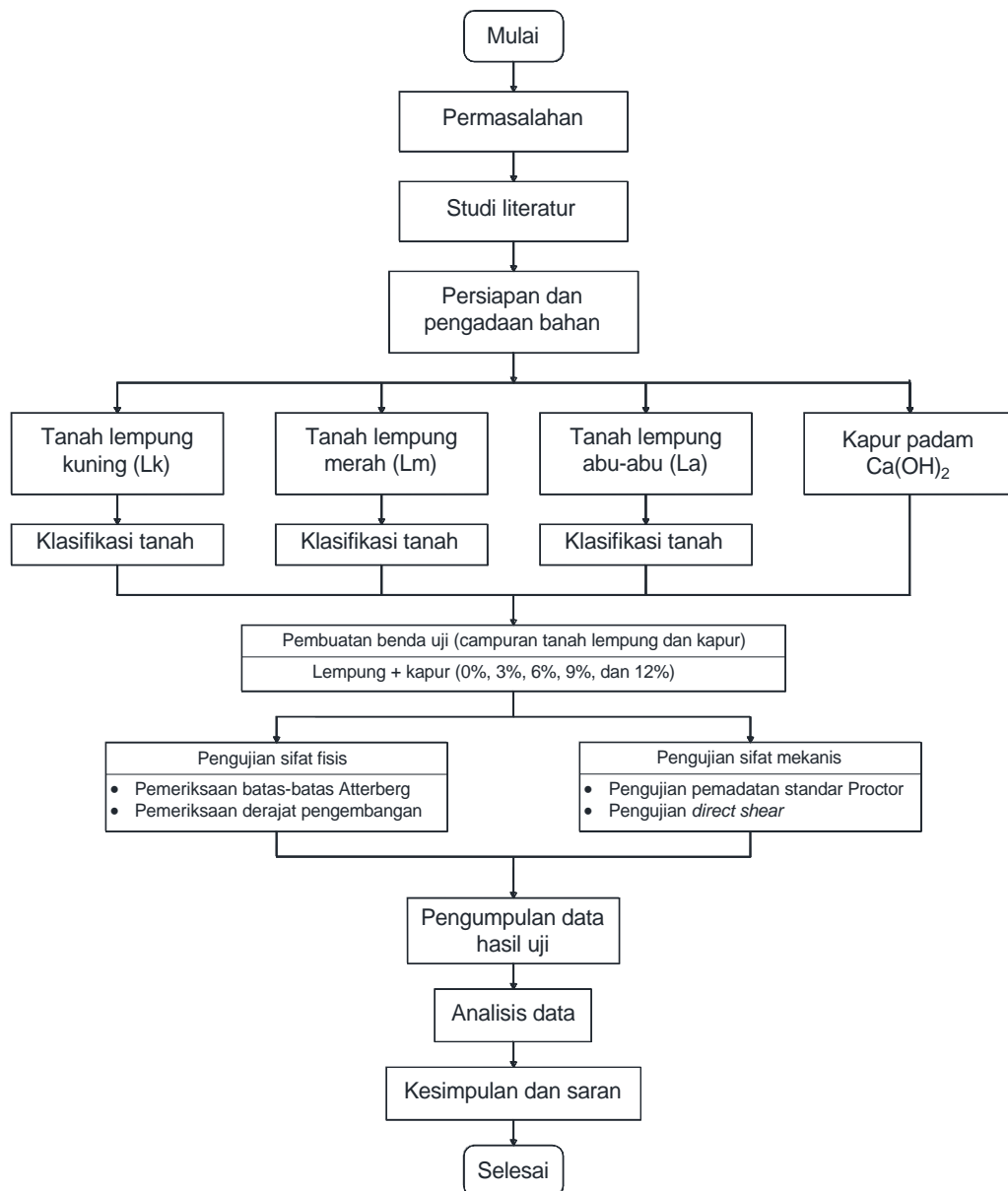
σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

φ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)

Parameter kuat geser tanah dapat ditentukan dengan beberapa pengujian laboratorium. Salah satunya adalah dengan uji geser langsung (*Direct Shear Test*). Uji geser langsung dijelaskan secara rinci dalam ASTM D3080. Wesley (2010: 238) menjelaskan bahwa uji geser langsung adalah uji mengukur kuat geser dengan menggunakan kotak geser.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan kegiatan sesuai dengan bagan alir (Gambar 1).



Gambar 1 Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

4.1 Hasil Pengujian Mineralogi

Hasil uji mineralogi untuk mengetahui senyawa dalam tanah dan komposisi masing-masing mineral dalam tanah diperlihatkan pada Tabel 1. Berdasarkan uji XRD dan analisis kimia, tampak bahwa mineral *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite* tidak terdeteksi dalam lempung Meunasah Rayeuk. Namun, ketiga lempung mengandung unsur Si dan Al yang memiliki sifat reaktif terhadap air.

Tabel 1
 Komposisi mineral dalam lempung Meunasah Rayeuk

Jenis Tanah Lempung	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah
Lempung kuning	<i>Aluminum phosphate</i>	AlPO ₄	72,3%
	<i>Quartz low</i>	SiO ₂	27,7%
Lempung merah	<i>Quartz low</i>	SiO ₂	86,4%
	<i>Aluminum phosphate</i>	AlPO ₄	8,3%
	<i>Iron phosphate hydroxide</i>	Fe ₄ (PO ₄) ₃ (OH) ₃	5,2%
Lempung abu-abu	<i>Quartz low</i>	SiO ₂	48,3%
	<i>Grimaldiite</i>	HCrO ₂	38,0%
	<i>Spangolite</i>	Cu ₆ Al(SO ₄)Cl(OH) ₁₂ (H ₂ O) ₃	13,7%

4.2 Klasifikasi dan Karakteristik Lempung Meunasah Rayeuk.

Berdasarkan pengujian sifat fisis, diperoleh bahwa ketiga lempung Meunasah Rayeuk termasuk ke dalam kelompok tanah A-7-5 menurut klasifikasi AASHTO. Sedangkan menurut klasifikasi USCS, lempung kuning termasuk tanah CH sedangkan lempung merah dan abu-abu termasuk ke dalam kelompok OH/MH. Lempung Meunasah Rayeuk memiliki derajat pengembangan sangat tinggi menurut kriteria Chen (1983) seperti yang dikutip Al-Rawas (2006) karena memiliki batas plastis lebih besar dari 60. Aktivitas lempung kuning adalah 1,30 dan aktivitas lempung abu-abu adalah 2,83. Kedua jenis lempung ini termasuk kategori lempuk aktif.

4.3 Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Sifat Fisis Tanah

Penambahan kapur pada lempung Meunasah Rayeuk dapat mereduksi indeks plastisitas tanah lempung kuning, merah, dan abu-abu seperti diperlihatkan pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4. Akibat penambahan hingga 12% kapur, batas cair lempung menurun dan batas plastis cenderung naik. Hal ini terjadi akibat reaksi kationisasi dan flokulasi yang terjadi. Jika ketiga tanah dibandingkan, perubahan indeks plastisitas lempung kuning tampak lebih reaktif terhadap kapur daripada lempung merah dan lempung abu-abu.

Tabel 2
 Batas-batas Atterberg lempung kuning

Batas-Batas Atterberg	Penambahan Kapur				
	0%	3%	6%	9%	12%
Batas cair (LL)	64,42%	57,62%	53,64%	53,45%	53,29%
Batas plastis (PL)	30,88%	37,55%	38,70%	39,87%	40,36%
Indeks Plastisitas (PI = LL - PL)	33,54%	20,07%	14,94%	13,58%	12,93%

Tabel 3
Batas-batas Atterberg lempung merah

Batas-Batas Atterberg	Penambahan Kapur				
	0%	3%	6%	9%	12%
Batas cair (LL)	67,04%	63,03%	60,14%	57,66%	55,54%
Batas plastis (PL)	38,61%	40,43%	41,70%	43,86%	44,42%
Indeks Plastisitas (PI = LL – PL)	28,43%	22,60%	18,43%	13,81%	11,12%

Tabel 4
Batas-batas Atterberg abu-abu

Batas-Batas Atterberg	Penambahan Kapur				
	0%	3%	6%	9%	12%
Batas cair (LL)	67,88%	65,83%	65,19%	64,90%	63,79%
Batas plastis (PL)	40,97%	44,44%	45,34%	46,02%	47,04%
Indeks Plastisitas (PI = LL – PL)	26,91%	21,39%	19,85%	18,88%	16,76%

4.4 Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Pematatan Tanah

Penambahan kapur pada lempung kuning dapat meningkatkan kadar air optimum dan menurunkan berat volume kering maksimum seperti yang diperlihatkan Tabel 5. Sedangkan pada lempung merah dan abu-abu, nilai kadar air optimum tidak dapat ditentukan akibat kurva pematatan yang diperoleh adalah kurva pematatan yang tidak biasa seperti kurva tipe D hasil penelitian Lee dan Suedkamp (1972). Penentuan kadar air untuk uji kuat geser langsung lempung merah dan abu-abu seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 6 dan ditentukan berdasarkan kondisi basah dan *workability*. Kadar air dari pengujian pematatan digunakan sebagai dasar untuk *design* benda uji kuat geser langsung.

Tabel 5
Kadar air optimum dan berat kering maksimum lempung kuning

Campuran Kapur	Parameter Pematatan	
	Berat Volume Kering Maksimum, γ_{maks} (g/cm ³)	Kadar Air Optimum, w_{opt} (%)
0%	1,510	22,9
3%	1,486	23,6
6%	1,471	24,0
9%	1,468	24,2
12	1,454	24,5

Tabel 6
Kadar air lempung merah dan abu-abu untuk uji kuat geser langsung

Campuran Kapur	Kadar Air Lempung Merah,	Kadar Air Lempung Abu-abu,
	w (%)	w (%)
0%	24,5%	24,3%
3%	25,0%	24,5%
6%	25,0%	24,5%
9%	25,0%	24,5%
12%	25,0%	24,5%

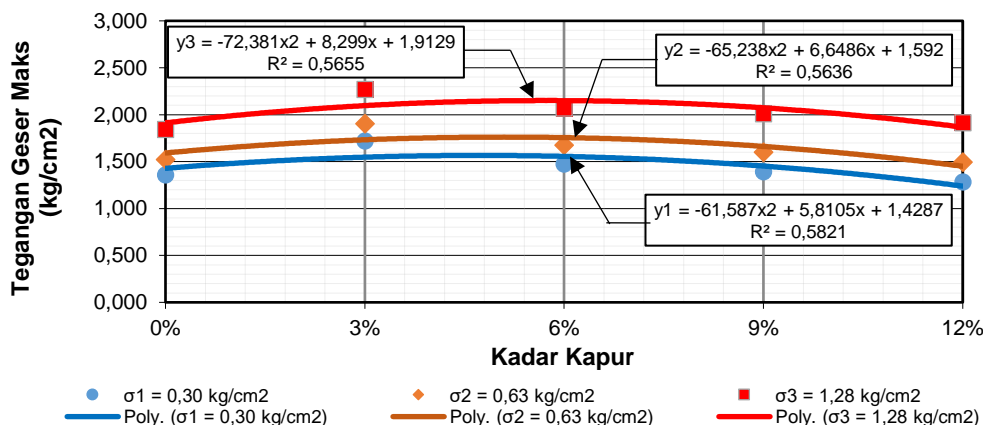
4.5 Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Parameter Kuat Geser

Pengaruh penambahan kapur terhadap tegangan geser diperlihatkan pada Tabel 7. Tegangan geser lempung kuning mencapai maksimum pada penambahan 3% kapur sedangkan pada lempung merah dan abu-abu pada penambahan 6% kapur. Tegangan geser maksimum lempung kuning, lempung merah, dan abu-abu pada tiga tegangan normal yang diuji dapat ditulis dalam persamaan polinomial pangkat dua seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

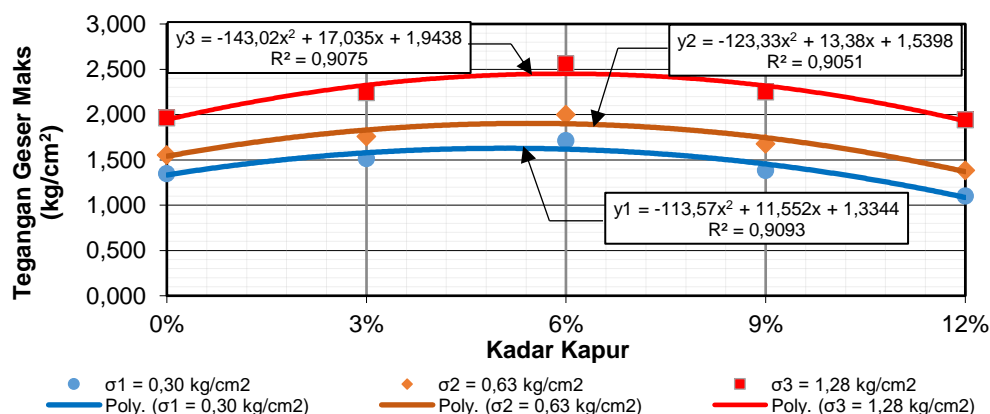
Tabel 7

Pengaruh penambahan kapur terhadap tegangan geser maksimum tanah

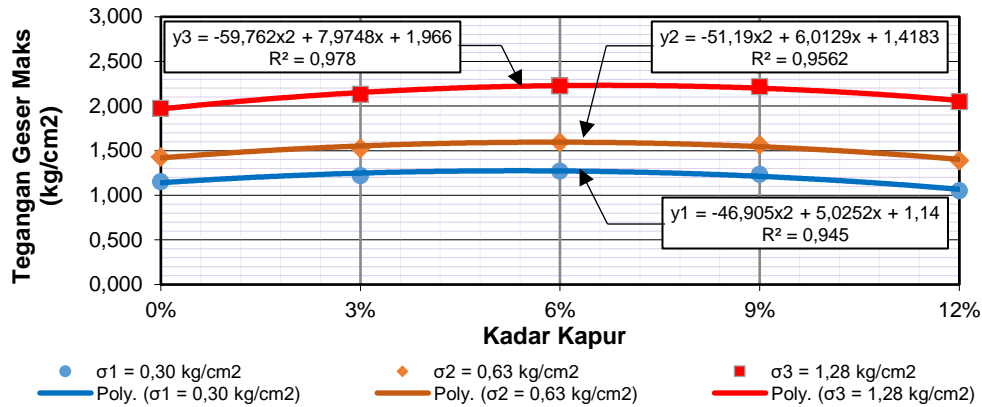
Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)				
	0%	3%	6%	9%	12%
(a) Lempung kuning					
σ ₁ (0,30 kg/cm ²)	1,357	1,719	1,472	1,393	1,283
σ ₂ (0,63 kg/cm ²)	1,520	1,904	1,674	1,600	1,495
σ ₃ (1,28 kg/cm ²)	1,841	2,267	2,071	2,009	1,912
(b) Lempung merah					
σ ₁ (0,30 kg/cm ²)	1,349	1,517	1,716	1,386	1,103
σ ₂ (0,63 kg/cm ²)	1,557	1,762	2,000	1,678	1,386
σ ₃ (1,28 kg/cm ²)	1,966	2,245	2,561	2,253	1,943
(c) Lempung abu-abu					
σ ₁ (0,30 kg/cm ²)	1,153	1,222	1,274	1,237	1,055
σ ₂ (0,63 kg/cm ²)	1,430	1,529	1,595	1,568	1,391
σ ₃ (1,28 kg/cm ²)	1,976	2,132	2,228	2,221	2,052



Gambar 2. Hubungan Penambahan kapur terhadap tegangan geser maksimum lempung kuning



Gambar 3. Hubungan Penambahan kapur terhadap tegangan geser maksimum lempung merah



Gambar 4. Hubungan Penambahan kapur terhadap tegangan geser maksimum lempung abu-abu

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Uji XRD dan analisis kimia menunjukkan bahwa mineral lempung *kaolinite*, *illite* dan *montmorillonite* tidak terdeteksi dalam lempung Meunasah Rayeuk.
2. Tanah lempung Meunasah Rayeuk termasuk dalam kelompok tanah A-7-5 menurut klasifikasi AASHTO. Berdasarkan klasifikasi USCS, lempung kuning tergolong sebagai tanah CH sedangkan lempung merah dan lempung abu-abu adalah tanah OH/MH. Tanah tergolong buruk sebagai bahan tanah timbun tanah dasar.
3. Karakteristik tanah Meunasah Rayeuk adalah tanah dengan potensi pengembangan yang sangat tinggi berdasarkan nilai batas cair yang lebih besar dari 60. Nilai aktivitas lempung kuning dan abu-abu juga menunjukkan sifat lempung yang aktif karena nilai aktivitas yang lebih besar dari 1,25.
4. Penambahan kapur hingga 12% pada lempung kuning mengurangi indeks plastisitas tanah dari 33,54% menjadi 12,93% pada lempung kuning, 28,43% menjadi 11,12% pada lempung merah, dan 26,91% menjadi 16,76% pada lempung abu-abu.
5. Perubahan indeks plastisitas lempung Meunasah Rayeuk masih belum memenuhi persyaratan bahan tanah dasar yang diperlukan, yaitu maksimal 11%.
6. Berdasarkan kriteria Chen (1983), penambahan 3%-12% kapur dapat mengubah potensi pengembangan tanah lempung kuning dari sangat tinggi menjadi tinggi, penambahan 9%-12% kapur dapat mengubah potensi pengembangan lempung merah dari sangat tinggi menjadi tinggi sedangkan penambahan hingga 12% kapur tidak dapat menurunkan potensi pengembangan tanah yang sangat tinggi karena nilai batas cair yang lebih besar dari 60.
7. Tegangan geser maksimum lempung kuning tercapai pada campuran 3% kapur, yaitu 1,719 kg/cm², 1,904 kg/cm², dan 2,267 kg/cm² untuk tegangan normal berturut-turut 0,30 kg/cm², 0,63 kg/cm², dan 1,28 kg/cm². Pada tegangan normal yang sama, tegangan geser maksimum lempung merah dan abu-abu adalah pada campuran 6% kapur, yaitu 1,716 kg/cm², 2,000 kg/cm², dan 2,561 kg/cm² untuk lempung merah dan 1,153 kg/cm², 1,430 kg/cm², 1,976 kg/cm² untuk lempung abu-abu.

5.2 Saran

1. Dalam pelaksanaan di lapangan, tiga jenis lempung dapat bercampur dan digunakan bersamaan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian pengaruh sifat fisis dan mekanis pada kondisi bercampur tersebut.
2. Kurva pemadatan tidak biasa antara campuran kapur dan lempung merah dan lempung abu-abu dapat terjadi akibat distribusi air yang tidak merata jika pemeraman hanya dilakukan selama 24 jam. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambah waktu pemeraman.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Rawas, A. A. (ed.) & Mattheus F.A. Goosen (ed.), 2006, *Expansive Soils*, Taylor & Francis, London, UK.
- Bowles, J. E., 1993, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, diterjemahkan oleh Johan Kelanaputra Hainim, Erlangga, Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2014, *Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Hardiyatmo, C. H., 2002, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
-, 2013, *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Lee, P. Y., Suedkamp, 1972, *Characteristics of Irregularly Shaped Compaction Curves of Soils*, South Dakota State University & Federal Highways Administration,
- Munirwansyah, & Reza, P. M., 2016, *Lime-Clay Stabilization to Modified the Characteristic of Mechanical Properties and Reduce the Swelling Sub Grade*, ICESReD International Proceeding ISSN: 2541-4151, dikutip 22 Februari 2018, tersedia dari:
www.icesred.unsyiah.ac.id/proceedings/7_Munirwansyah_n_Munirwan_2016_63%E2%80%939368.pdf
-, 2017, *Stabilization on Expansive Soil For Road-Subgrade For Geotechnic Disaster Approach*, International Journal of Disaster Management ISSN: 2527-4341 pp. 8-19, dikutip 26 Juni 2018, tersedia dari:
<http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/IJDM/article/view/8022>
- Wesley, L. D., 2010, *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan dan Residu*, diterjemahkan oleh Laurence D. Wesley dan Satyawati Pranyoto, Penerbit ANDI, Yogyakarta