



Kajian Penambahan Kapur dan Serbuk Marmer Terhadap Kuat Tekan Tanah Lempung

*Aazokhi Waruwu, Aaron Nicholas Priyo, Raymond
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan, Tangerang
*)azokhiw@gmail.com

Received: 28 Juli 2024 Revised: 20 Desember 2024 Accepted: 23 Desember 2024

Abstract

The design of roads and other constructions requires attention to the subgrade. In Indonesia, clay soils are quite common and tend to have low bearing capacity. To increase the bearing capacity of clay soils, it is necessary to carry out soil improvement and stabilization measures. Soil stabilization can be done by adding stabilizing materials such as lime and marble powder. Before stabilizing the soil, it is necessary to test soil characteristics such as testing water content, unit weight, Atterberg limit, specific gravity, sieve analysis and hydrometer. This research was carried out to obtain the most optimum composition of the stabilization mixture. This research used lime additives with compositions of 1.5% and 3%, respectively, marble powder was added with compositions of 3%, 6% and 9%. After that, a compaction test is carried out to determine the optimum water content and maximum dry weight. After getting the results from the compaction test, the soil bearing capacity can be analyzed using the Unconfined Compression Test. The test results showed that the addition of 3% lime and 9% marble powder resulted in a significant increase in compressive strength and shear strength values in clay soil. Closed-molded test specimens show an increasing trend in compressive strength values better than open-molded specimens.

Keywords: Clay soil, lime, marble powder, unconfined compression test, soil stabilization

Abstrak

Perancangan konstruksi jalan dan konstruksi lainnya memerlukan perhatian pada tanah dasar. Di negara Indonesia, tanah jenis lempung cukup sering ditemukan dan cenderung memiliki daya dukung yang rendah. Untuk meningkatkan daya dukung tanah lempung, perlu dilakukan tindakan perbaikan dan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan penambahan bahan stabilisasi seperti kapur dan serbuk marmer. Sebelum dilakukan stabilisasi pada tanah, perlu dilakukan pengujian karakteristik tanah seperti pengujian kadar air, berat isi, batas Atterberg, berat jenis, analisis saringan, dan hidrometer. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan komposisi campuran bahan stabilisasi yang paling optimum. Penelitian ini menggunakan bahan tambah kapur dengan komposisi 1,5% dan 3%, masing-masing ditambahkan serbuk marmer dengan komposisi 3%, 6%, dan 9%. Setelah itu, dilakukan uji kompaksi untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Setelah mendapatkan hasil dari uji kompaksi, maka daya dukung tanah dapat dianalisis dengan pengujian unconfined compression test. Hasil pengujian menunjukkan penambahan 3% kapur dan 9% serbuk marmer menghasilkan peningkatan nilai kuat tekan dan kuat geser secara signifikan pada tanah lempung. Benda uji yang diperam secara tertutup menunjukkan trend peningkatan nilai kuat tekan lebih baik dibandingkan benda uji yang diperam terbuka.

Kata kunci: Tanah lempung, kapur, serbuk marmer, unconfined compression test, stabilisasi tanah

Pendahuluan

Tanah lempung merupakan salah satu tanah dengan jenis tekstur yang halus dengan ukuran partikel kurang dari dua mikrometer (Naibaho & Waruwu, 2021), Tanah lempung memiliki karakteristik

mudah mengembang dan kohesif pada saat kondisi basah serta mudah retak pada saat kondisi kering (Harahap *et al.*, 2020). Tanah lempung umum ditemukan di negara Indonesia dan salah satu karakteristik tanah lempung di Indonesia adalah memiliki tingkat plastisitas yang tinggi dan

konsistensi yang sangat lunak, sehingga tanah lempung dianggap memiliki daya dukung yang rendah. Selain daya dukung, tanah lempung mempunyai plastisitas tinggi, kadar air tinggi, angka pori tinggi, dan indeks pemampatan yang tinggi (Waruwu *et al.*, 2023a).

Tanah lempung yang bersifat lunak merupakan tanah yang menjadi masalah apabila digunakan sebagai tanah dasar pada pembangunan infrastruktur (Naibaho & Waruwu, 2021). Tanah lempung dikategorikan ke dalam jenis tanah kohesif. Tanah lempung mengandung mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan kuat geser yang rendah. Di dalam konstruksi pembangunan, nilai CBR dan kuat geser pada tanah dasar sangat berpengaruh dalam perencanaan suatu bangunan (Landangkasiang *et al.*, 2020). Oleh karena itu, stabilisasi dan perbaikan tanah dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kekuatan dan kapasitas daya dukung tanah lempung.

Stabilisasi tanah melibatkan pengaturan ulang partikel-partikel tanah agar saling mengikat satu sama lain. Menurut (Abdurrozak & Mufti, 2017), tanah yang perlu distabilisasi sebelum proyek pembangunan dimulai adalah tanah yang memiliki indeks inkonsistensi serta indeks permeabilitas yang terlalu tinggi ataupun sifat-sifat lain yang bertentangan dengan kriteria yang diinginkan.

Salah satu metode perbaikan tanah yang efektif digunakan untuk memperkuat tanah lempung lunak adalah stabilisasi tanah dengan tambahan bahan kimiawi yang memanfaatkan bahan alam. Menurut (Kusuma *et al.*, 2016) bahan aditif seperti kapur, semen, abu terbang, dan abu cangkang sawit dapat menjadi alternatif dalam stabilisasi tanah. Namun, kombinasi bahan alam antara kapur dengan serbuk marmer dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kekuatan dan kapasitas daya dukung dari tanah lempung lunak. Kapur memiliki sifat ikat yang cukup tinggi sehingga sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam stabilisasi tanah lempung, khususnya tanah lempung lunak. Kapur memiliki kandungan yang berbeda-beda, contohnya kapur yang sering digunakan adalah kapur jenis kembang yang mengandung kalium oksida (C_aO), sementara kapur jenis padam yang mengandung kalsium hidroksida ($C_a(OH)_2$) (Suaryana & Fransisko, 2018). Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2007), kapur jenis padam sering digunakan dalam stabilisasi tanah. Perbaikan dengan stabilisasi lebih cocok digunakan untuk tanah dasar jalan. Apabila tanah lempung yang diperbaiki cukup tebal, maka solusi penggunaan sistem perkuatan tiang-tiang menjadi pilihan yang perlu dipertimbangkan (Waruwu *et al.*, 2023b).

Serbuk marmer yang digunakan dalam stabilisasi tanah merupakan limbah dari industri yang memproduksi batu marmer. Serbuk marmer sisa hasil produksi batu marmer memiliki berbagai senyawa, yaitu 56,69% CaO (Kalsium Oksida), 41,92% $CaCO_3$ (Kalsium Karbonat), 1,73% MgO (Magnesium Oksida), 1,76% $MgCO_3$ (Magnesium Karbonat), 1,62% SiO_2 (Silikon Dioksida), dan 0,37% Al_2O_3 (Aluminium Oksida) + Fe_2O_3 (Besi Oksida). Kandungan ini menunjukkan bahwa serbuk marmer memiliki kadar zat kapur yang tinggi, terutama CaO (Kalsium Oksida) dan $CaCO_3$ (Kalsium Karbonat). Oleh karena itu, serbuk marmer bisa digunakan dalam stabilisasi tanah karena memiliki zat kapur yang tinggi sehingga dapat memberikan sifat ikatan yang mirip dengan kapur (Utami, 2010).

Berdasarkan penelitian (Riwayati & Yuniar, 2018) yang menggunakan kapur sebagai salah satu bahan stabilisasi tanah, ditemukan bahwa tambahan kapur pada tanah asli dapat meningkatkan daya dukung tanah. Hal ini dilihat dari hasil pengujian CBR, yang ditunjukkan terjadinya peningkatan nilai CBR pada tanah. Selanjutnya, juga dilakukan pengujian kuat tekan bebas yang dilakukan oleh (Setyono *et al.*, 2018), ditemukan bahwa tanah asli yang menggunakan variasi penambahan serbuk marmer hingga 25% menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan bebas selaras dengan bertambahnya serbuk marmer. Peningkatan ini mencapai puncaknya yaitu pada penambahan kadar serbuk marmer sebanyak 25%, menghasilkan nilai q_u sebesar 1,734 kg/cm^2 dari nilai q_u tanah asli yang sebelumnya hanya sebesar 0,866 kg/cm^2 . Hasil ini menunjukkan bahwa serbuk marmer dapat berperan sebagai bahan sementasi yang bekerja sebagai daya ikat antar butiran tanah.

Sedangkan pada penelitian (Celline *et al.*, 2024) menggunakan variasi tingkat penggunaan serbuk marmer sebesar 6%, 9% dan 12% yang diperam selama tujuh hari. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa serbuk marmer dengan tingkat kadar 6% lebih memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan daya dukung tanah. Jika dibandingkan dengan tingkat kadar 9% dan 12%, mengalami penurunan.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang memadukan bahan kimiawi seperti kapur dan serbuk marmer yang dilakukan pemeraman dalam waktu tujuh hari baik secara terbuka maupun tertutup. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran serbuk marmer dengan kapur terhadap daya dukung dan karakteristik tanah. Tujuan lain dari penelitian ini adalah mendapatkan kadar campuran yang optimum dari kombinasi kapur dengan serbuk marmer; dan mengetahui

peningkatan pada kuat tekan tanah stabilisasi. Penelitian ini diharapkan memberikan solusi alternatif melalui penggunaan kombinasi bahan kapur dengan marmer dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung.

Metode

Sebelum dilakukan penelitian, terdapat hal yang perlu diperhatikan yaitu mempersiapkan bahan-bahan yang diperlukan termasuk pengambilan sampel tanah, serbuk marmer (SM) dan kapur (K) yang akan digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk proses pengujian stabilisasi tanah. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik tanah dasar dengan melakukan pengujian terhadap tanah sebelum ditambahkan serbuk marmer dan kapur. Penelitian dilakukan dengan pengujian berat jenis tanah, analisis saringan, hidrometer, kadar air, berat isi tanah dan *Atterberg*. Pengujian awal dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah yang berada di bawah Program Studi Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.

Beberapa alat bantu dalam melakukan pengujian dibutuhkan untuk mendukung dan mendapatkan data-data yang diperlukan. Berat kering tanah memerlukan oven dan timbangan. Pengujian karakteristik tanah juga diperlukan data mengenai ukuran partikel, berat jenis, batas cair, dan kompaksi. Sehingga diperlukan peralatan seperti saringan, botol piknometer, *Mold*, *Hammer*, *Hydraulic Pump*, *Casagrande* dan alat uji *Unconfined Compression Test* (UCT).

Sampel tanah lempung diambil dari proyek apartemen Meikarta, Cikarang, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat (Gambar 1) dan untuk pemilihan bahan tambah kapur dan serbuk marmer diperoleh dari sumber yang berbeda. Bahan tambah kapur diperoleh melalui aplikasi toko bangunan, sedangkan bahan tambah serbuk marmer didapatkan dari sisa produksi pabrik batu marmer yaitu PT Jaya Abadi Granita, yang terletak di Jalan Raya Serang KM 69 Serang, Banten. Kandungan kimia serbuk marmer sebagian besar terdiri dari 68,9% CaO, 14,6% SiO₂, 6% Fe₂O₃, 4,4 MgO, dan 3,9 Al₂O₃ (Waruwu *et al.*, 2024). Kapur yang digunakan merupakan kapur padam dengan kandungan kimia Ca (OH)₂ (Departemen Pekerjaan Umum, 2007).

Penelitian ini menjelaskan sifat-sifat tanah yang melibatkan uji kekuatan tekan bebas pada tanah yang ditambahkan dan yang tidak ditambahkan bahan stabilisasi. Digunakan kadar SM dengan tingkat variasi berbeda yaitu 0%, 3%, 6%, dan 9% dan kadar K dengan tingkat variasi 1,5% dan 3%

(Gambar 3). Stabilisasi tanah menggunakan dua material seperti ini mengacu pada penelitian (Suaryana & Fransisko, 2018). Jumlah penambahan serbuk marmer yang digunakan sama dengan penelitian (Celline *et al.*, 2024). Penggunaan material kapur untuk modifikasi disarankan 1-3% (Hardiyatmo, 2010).



Gambar 1. Sumber tanah lempung



Gambar 2. Sumber bahan tambah serbuk marmer



Gambar 3. Bahan tambah kapur dan serbuk marmer

Setelah itu, sampel tanah dilakukan pemeraman terbuka dan tertutup dalam waktu tujuh hari (Gambar 4). Menurut (Celline *et al.*, 2024), tujuh hari merupakan waktu pemeraman paling efektif untuk meningkatkan daya dukung tanah. Istilah pemeraman pada penelitian ini adalah proses pencampuran tanah dengan bahan stabilisasi dan air, kemudian dibiarkan dalam beberapa waktu sebelum diuji. Pemeraman benda uji untuk tanah yang distabilisasi umumnya dilakukan dengan dibungkus dan disimpan dalam lemari selama 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari (Departemen Pekerjaan Umum, 2007). Pemeraman terbuka dilakukan dengan cara meletakkan sampel tanah

pada suhu ruangan tanpa adanya penutup. Sedangkan pada pemeraman tertutup, sampel tanah diletakkan pada suhu ruangan namun terdapat plastik sebagai penutup sampel. Pemeraman terbuka dilakukan untuk mengaktualisasi kondisi pada lapangan. Jumlah benda uji dalam penelitian ini terdiri dari sembilan benda uji masing-masing untuk pemeraman tertutup dan terbuka.



Gambar 4. Pemeraman terbuka dan tertutup

Setelah itu, dilakukan analisis perubahan daya dukung tanah akibat penambahan serbuk marmer dan kapur sebagai material stabilisasi. Pengujian akan dilakukan menggunakan pengujian *Unconfined Compression Test* (UCT). Dalam pengujian ini, parameter daya dukung tanah yang digunakan adalah kuat tekan bebas (q_u) dan kohesi *undrained* (c_u).

Hasil dan Pembahasan

Hasil uji karakteristik tanah lempung lunak

Hasil dari uji karakteristik tanah asli yang meliputi pengujian kadar air, berat jenis, batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan pengujian analisis saringan dan hidrometer memberikan hasil uji lolos saringan No. 200 sebesar 74,74% (Tabel 1). Dengan merujuk pada klasifikasi USCS dan AASHTO, tanah yang digunakan termasuk dalam klasifikasi tanah lempung. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Dari hasil pengujian batas-batas *atterberg*, tanah lempung yang digunakan termasuk dalam klasifikasi tanah lempung kohesif dengan kemampuan pengembangan sedang, dikarenakan nilai dari *liquid limit* (LL) yang melebihi 50% dan nilai *plasticity index* (PI) sebesar 35%.

Tabel 1. Sifat-sifat tanah lempung

Pengujian	Satuan	Nilai
Kadar air (w)	%	15,55
Berat volume tanah (γ)	gr/cm ³	1,53
Lolos saringan No. 200	%	74,74
Berat jenis (G_s)	-	2,64
Batas cair (LL)	%	56,79
Batas plastis (PL)	%	21,28
Indeks plastisitas (PI)	%	35,51

Hasil uji kompaksi

Uji kompaksi pada tanah asli yang dilakukan untuk mendapatkan kadar air optimum dan berat isi kering. Pengujian dilakukan pada pencampuran 1,5% K dan 3% K dengan 0% SM, 3% SM, 6% SM, dan 9% SM. Hasil kadar air optimum dan berat isi kering pada setiap variasi stabilisasi tanah ditunjukkan seperti pada Tabel 2. Tanah asli tanpa campuran bahan stabilisasi digunakan sebagai acuan dalam penentuan perbaikan tanah. dan dapat dilihat bahwa penambahan 1,5% K menghasilkan peningkatan kepadatan yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan 3% K.

Tabel 2. Kadar air optimum dan berat isi optimum

Sampel	Kadar air optimum (%)	Berat isi kering (gr/cm ³)
Tanah asli	23,0	1,53
1,5% K + 0% SM	23,7	1,51
1,5% K + 3% SM	22,7	1,56
1,5% K + 6% SM	21,6	1,58
1,5% K + 9% SM	20,7	1,59
3% K + 0% SM	25,6	1,54
3% K + 3% SM	23,8	1,56
3% K + 6% SM	22,0	1,565
3% K + 9% SM	20,2	1,55

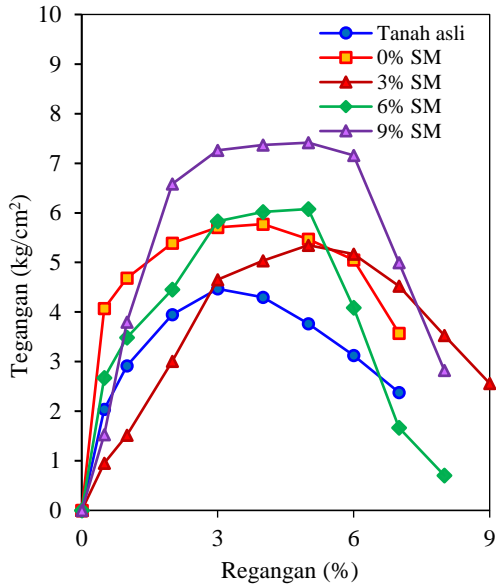
Hasil uji kuat tekan pada pemeraman tertutup

Hasil uji kuat tekan pada sampel tanah yang diperam secara tertutup selama tujuh hari ditunjukkan seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6. Hasil uji kuat tekan sampel tanah yang dicampurkan 1,5% K dengan variasi kadar serbuk marmer yaitu 0% SM, 3% SM, 6%, dan 9% SM seperti pada Gambar 5. Sedangkan pada pencampuran sampel tanah pada komposisi 3% K dengan 0% SM dan 3% SM, ditunjukkan pada Gambar 6.

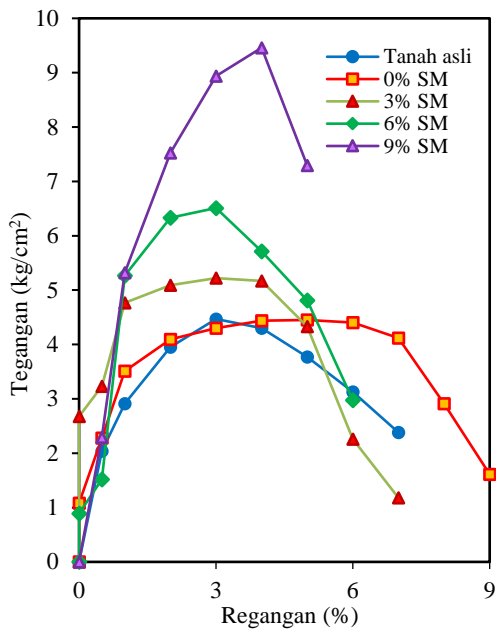
Hasil uji kuat tekan pada pemeraman terbuka

Pada pengujian ini, menggunakan tanah yang diperam secara terbuka untuk mengaktualisasi kondisi pada lapangan. Hasil uji kuat tekan pada sampel tanah yang dicampurkan 1,5% K dengan 0%

SM, 3% SM, 6% SM, dan 9% SM ditunjukkan pada Gambar 7. Sedangkan hasil uji kuat tekan pada sampel tanah dengan 3% K dengan 0% SM, 3% SM, 6% SM, dan 9% SM ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 5. Hasil uji kuat tekan pada campuran 1,5% K (tertutup)

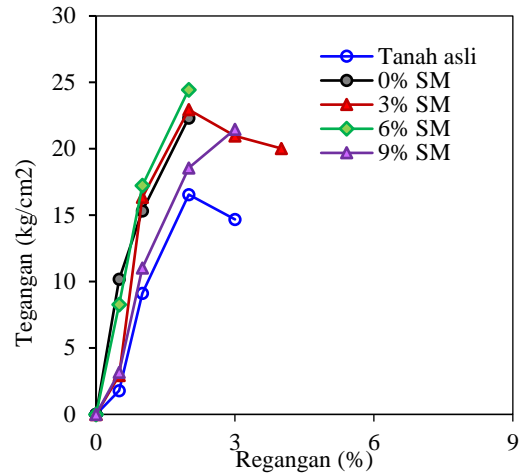


Gambar 6. Hasil uji kuat tekan pada campuran 3% K (tertutup)

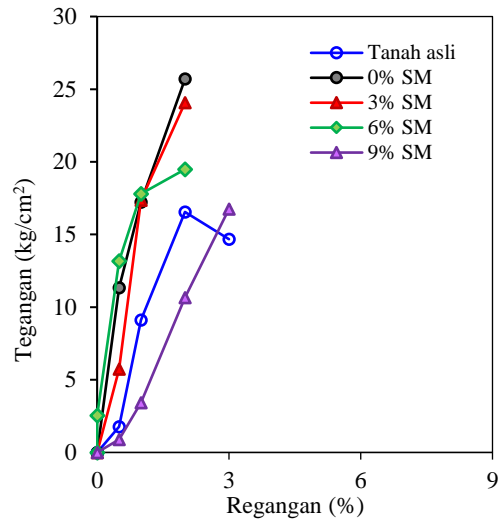
Kuat tekan pada pemeraman tertutup dan terbuka

Pada Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan perbandingan 1,5% K dan 3% K dengan variasi serbuk marmer yang telah dilakukan pemeraman tertutup dan terbuka selama tujuh hari. Hasil dari pengujian menunjukkan peningkatan signifikan

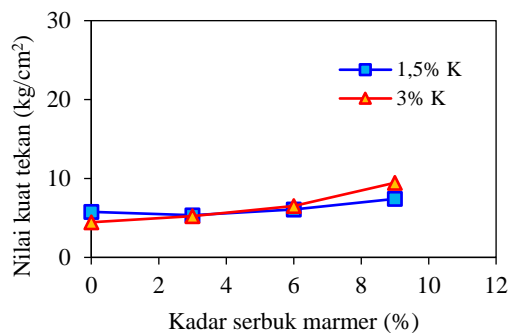
pada nilai kuat tekan tanah (q_u) dan kohesi *undrained* (c_u) untuk tanah dengan campuran 3% K dan 9% SM yang diperam secara tertutup. Peningkatan q_u dan c_u , mengindikasikan bahwa penggunaan serbuk marmer sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan daya dukung tanah.



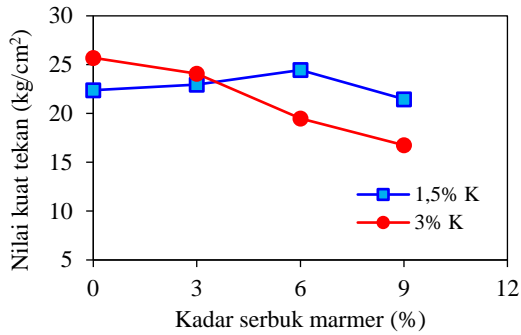
Gambar 7. Hasil uji kuat tekan pada campuran 1,5% K (terbuka)



Gambar 8. Hasil uji kuat tekan pada campuran 3% K (terbuka)

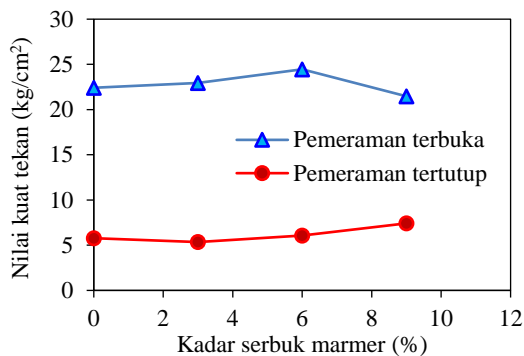


Gambar 9. Nilai kuat tekan pada setiap variasi stabilisasi tanah (tertutup)

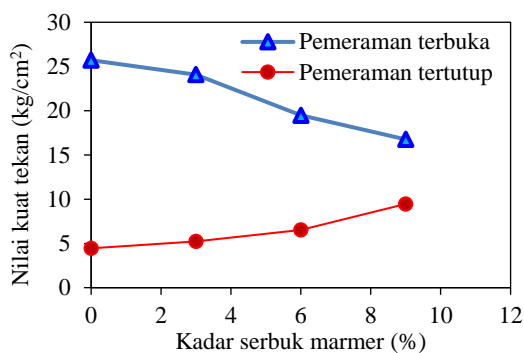


Gambar 10. Nilai kuat tekan pada setiap variasi stabilisasi tanah (terbuka)

Pada Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan perbandingan antara 1,5% K dan 3% K dengan berbagai variasi kadar serbuk marmer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeraman terbuka menghasilkan penurunan terhadap kuat tekan tanah sejalan dengan penambahan kadar kapur dan serbuk marmer. Pada pengujian pemeraman terbuka dan pemeraman tertutup, terdapat perbedaan signifikan pada hasil nilai kuat tekan (q_u). Perbedaan nilai kuat tekan pada pemeraman terbuka dan pemeraman tertutup.



Gambar 11. Kuat tekan pada campuran 1,5% K



Gambar 12. Kohesi undrained campuran 3% K

Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil pemeraman terbuka menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan pemeraman tertutup. Namun seiring dengan penambahan kapur dan serbuk marmer, akan membuat kuat tekan dari tanah

menurun. Sedangkan pada pemeraman tertutup berlaku sebaliknya. Hal ini terjadi dikarenakan reaksi kimia pada kapur dan serbuk marmer yang membutuhkan kadar air pada saat proses stabilisasi. Sehingga kadar air pada saat proses stabilisasi akan sangat menentukan nilai kuat tekan.

Penambahan 1,5% K dan 3% K menunjukkan peningkatan kuat tekan pada pemeraman terbuka dan tertutup. Peningkatan tertinggi untuk pemeraman tertutup didapatkan pada 9% SM. Penambahan 1,5% K dan 3% K menghasilkan masing-masing 65,95% dan 115 % dibandingkan tanah asli tanpa campuran bahan stabilisasi. Peningkatan tertinggi untuk pemeraman terbuka didapatkan pada 1,5% K + 6% SM sebesar 47,73% dan 3% K + 0% SM sebesar 55% dibandingkan tanah asli tanpa campuran bahan stabilisasi. Ada kecenderungan peningkatan kuat tekan pada pemeraman tertutup seiring dengan penambahan SM, sedangkan pada pemeraman terbuka terjadi sebaliknya terutama pada 3% K.

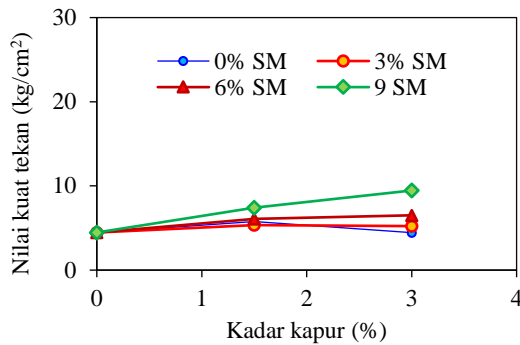
Kombinasi kapur dan serbuk marmer

Upaya perbaikan tanah telah banyak dilakukan, namun perlu pengembangan pada pemanfaatan limbah yang berpotensi dalam meningkatkan karakteristik tanah. Pemanfaatan limbah serbuk marmer terbukti dapat meningkatkan nilai kuat tekan tanah dengan penambahan sekitar 6-9% (Celline *et al.*, 2024). Nilai yang didapat selain pada campuran tidak memberikan hasil yang lebih baik. Penelitian lain menyatakan bahwa penggunaan kapur dapat membantu peningkatan kuat tekan pada tanah lempung.

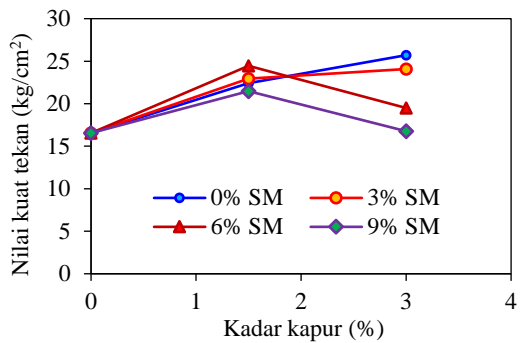
Hasil yang baik dalam peningkatan kuat tekan didapatkan pada 6% kapur (Sianturi *et al.*, 2022). Kebaruan yang dilakukan pada penelitian ini berupa kombinasi campuran serbuk marmer dan kapur yang optimum dalam meningkatkan kuat tekan. Sistem pemeraman juga memberikan pengaruh dalam peningkatan kuat tekan tanah, sehingga penelitian ini juga memberikan perhatian pada sistem pemeraman tanah stabilisasi.

Pengaruh peningkatan kadar kapur dengan kombinasi serbuk marmer terhadap kuat tekan tanah pada pemeraman tertutup dapat dilihat pada Gambar 13. Sedangkan pengaruh peningkatan kadar kapur dengan kombinasi serbuk marmer terhadap kuat tekan tanah pada pemeraman terbuka dapat dilihat pada Gambar 14. Apabila dilihat dari metode pemeraman, kuat tekan tanah yang diperam dengan cara terbuka tetap lebih tinggi daripada tanah yang diperam tertutup. Ini disebabkan karena tanah yang diperam terbuka lebih cepat mengeras, sehingga kuat tekannya lebih tinggi.

Pengaruh kapur pada tanah yang diperam tertutup memperlihatkan nilai kuat yang tinggi pada kombinasi 9% serbuk marmer dan diikuti oleh kuat tekan pada kombinasi 6% serbuk marmer. Ada kecenderungan peningkatan kuat tekan pada campuran ini dibandingkan dengan campuran lainnya. Hal sebaliknya ditunjukkan pada metode pemeraman terbuka, nilai kuat yang tinggi diperoleh pada kombinasi 0% serbuk marmer dan diikuti oleh kuat tekan pada kombinasi 3% serbuk marmer. Campuran lainnya menunjukkan penurunan kuat tekan pada campuran 3% kapur.



Gambar 13. Pengaruh kapur pada pemeraman tertutup

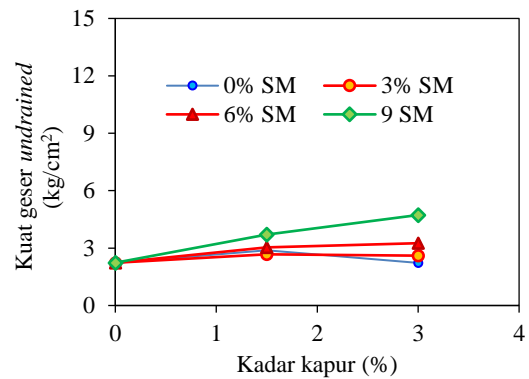


Gambar 14. Pengaruh kapur pada pemeraman terbuka

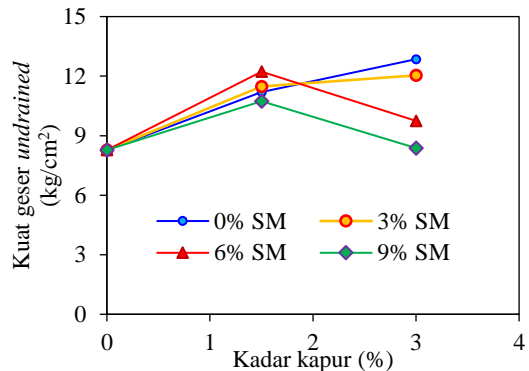
Pengaruh kapur terhadap kuat geser *undrained* tanah dengan kombinasi serbuk marmer pada pemeraman tertutup dapat dilihat pada Gambar 15. Sedangkan pengaruh kapur terhadap kuat geser *undrained* tanah dengan kombinasi serbuk marmer pada pemeraman terbuka dapat dilihat pada Gambar 16. Nilai-nilai ini diperoleh dari nilai kuat tekan masing-masing benda uji dibagi dua. Nilai kuat geser *undrained* tanah umumnya dapat digunakan untuk menganalisis daya dukung tanah. Nilai kuat geser *undrained* tanah memberikan dampak pada nilai daya dukung tanah yang semakin tinggi.

Peningkatan kuat tekan (q_u) tertinggi terjadi pada sampel tanah yang diperam selama tujuh hari secara tertutup. Kapur memberikan dampak yang berarti dalam perbaikan tanah, material ini jauh lebih baik

dibandingkan dengan penggunaan limbah abu vulkanik (Waruwu *et al.*, 2022). Berbeda halnya dengan sampel tanah yang diperam secara terbuka, terjadinya penurunan kuat tekan (q_u) pada sampel tanah seiring penambahan kadar kapur dan serbuk marmer. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada saat pemeraman secara terbuka, sampel tanah mulai kehilangan kadar airnya yang disebabkan oleh faktor penguapan. Proses stabilisasi dengan kapur dan serbuk marmer membutuhkan air sebagai pengikat pada sampel tanah, sehingga ketika sampel tanah mulai kehilangan kadar airnya, proses stabilisasi tidak dapat berjalan dengan baik.



Gambar 15. Kuat geser *undrained* akibat pengaruh kapur pada pemeraman tertutup



Gambar 16. Kuat geser *undrained* akibat pengaruh kapur pada pemeraman terbuka

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada stabilisasi tanah lempung, diperoleh peningkatan kuat tekan dan nilai kohesi *undrained*. Dihasilkan peningkatan kuat tekan (q_u) tertinggi yaitu 9,46 kg/cm² atau nilai kuat geser (c_u) sekitar 4,73 kg/cm² pada tanah lempung dengan campuran 3% kadar kapur dan 9% kadar serbuk marmer. Nilai ini jauh lebih tinggi daripada tanah lempung dari hasil penelitian (Naibaho & Waruwu, 2021).

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kapur dan serbuk marmer dapat mengubah kadar

air dan berat isi kering tanah. Penambahan kapur dan serbuk marmer menyebabkan pengurangan kadar air optimum dan peningkatan berat isi kering pada tanah lempung. Penambahan bahan stabilisasi juga menurunkan indeks plastisitas pada tanah lempung. Penelitian ini memberikan beberapa rekomendasi untuk penelitian dan aplikasi lapangan. Pertama, kadar air harus diperiksa dengan cepat untuk mencegah penguapan. Kedua, memastikan distribusi air yang merata saat pemeraman dengan menggunakan kain basah dan plastik. Ketiga, campuran 3% kapur dan 9% serbuk marmer adalah campuran paling optimal untuk meningkatkan daya dukung tanah di lapangan. Keempat, gunakan durasi pemeraman tertutup yang lebih lama agar serbuk marmer, kapur dan tanah dapat bereaksi lebih baik dan memberikan hasil yang maksimal.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Laboratorium Mekanika Tanah, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan sebagai tempat pelaksanaan penelitian dan PT Jaya Abadi Granita yang menyediakan serbuk marmer untuk penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian internal UPH, No. 180/LPPM-UPH/VII/2023.

Daftar Pustaka

- Abdurrozzak, M. R., & Mufti, D. N. (2017). Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi Dan Kapur Pada Subgrade Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknisia*, 22(2), 416–424.
- Celline, F., Sinaga, R., Gandawijaya, D. G., & Waruwu, A. (2024). Study of the Bearing Capacity of Stabilized Clay with Marble Ash. *Jurnal Saintis*, 24(1), 11–20.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2007). Pedoman Perencanaan Stabilisasi Tanah dengan Bahan Serbuk Pengikat untuk Konstruksi Jalan. In *Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Harahap, E. H. M., Suria, A., & Lydia, E. N. (2020). Perbandingan Daya Dukung Tanah Lempung dalam Kondisi Kering Optimum dan Basah Optimum Sebagai Subgrade untuk Kontruksi Jalan. *Jurnal Media Teknik SipilT*, 1(1), 7–13.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Gadjah Mada University Press.
- Kusuma, R. I., Mina, E., & Rahman, T. (2016). Stabilisasi Tanah dengan Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 97–106.
- Landangkasiang, F. N., Sompie, O. B. A., & Sumampouw, J. E. R. (2020). Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum. *Jurnal Sipil Statik*, 8(2), 197–204.
- Naibaho, A. G., & Waruwu, A. (2021). Kajian Kapasitas Kelompok Tiang pada Tanah Lunak Menggunakan Skala Kecil Laboratorium. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(2), 179–186.
- Riwayati, R. S., & Yuniar, R. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Kapur untuk Lapisan Tanah Dasar Konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, 8(2), 104–111.
- Setyono, E., Sunarto, & Gumilang, A. M. (2018). Pengaruh Penggunaan Bahan Serbuk Marmer Pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif. *Media Teknik Sipil*, 16(2), 99–107.
- Sianturi, N. M., Kamarudin, M. K. A., Damanik, D. R. S., Purba, V. E., & Saragih, D. S. (2022). Perilaku Mekanis Tanah Lunak yang Distabilisasi dengan Kapur dan Abu Vulkanik. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 28(1), 118–127.
- Suaryana, N., & Fransisko, S. (2018). Stabilisasi Dua Tahap Menggunakan Kapur dan Semen untuk Memperbaiki Daya Dukung Tanah Ekspansif. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 35(1), 31–39.
- Utami, S. (2010). Pemanfaatan Limbah Marmer untuk Pembuatan Paving Stone. *Neutron*, 10(2), 54–59.
- Waruwu, A., Darmawandi, A., Halawa, T., & Muammar. (2022). Perbandingan Abu Vulkanik dan Kapur Sebagai Material Stabilisasi Tanah Lempung. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 5(1), 8–15.
- Waruwu, A., Pangemanan, I., Yunita, Y., Calvin, F., & Lujaya, J. (2024). Uji CBR (California Bearing Ratio) pada Tanah Lempung Stabilisasi Abu Marmer dan Biogrouting. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 30(1), 47–55.
- Waruwu, A., Telaumbanua, D. P. T., & Waruwu, T. O. (2023a). Estimating Consolidation Settlement Using the Physical Properties of Clay Soil Under Embankment. *International Review of Civil Engineering*, 14(6), 570–579.
- Waruwu, A., Susanti, R. D., Simbolon, D. S., & Asfira, D. W. (2023b). Single Pile Capacity on Clay Soil Based on Results of Physical Model Test. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 29(1), 32–39.