

Analisis Tingkat Kepadatan Tanah dengan Stabilisasi Kapur terhadap Kuat Geser Langsung

Zulfikar Ahmad ^{1*}, Lambang Basri Said ², Andi Alifuddin ³

1*) Magister Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar,

Zulfikarahmad06@gmail.com

2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

Soil shear strength parameters can provide information about the strength of a soil mass to resist shear stresses that occur due to a load that placed on it, for example, as in highway pavements. There are still various problems related to the performance of lime in soil stabilization, with that researchers conducted experimental tests with soil stabilization with lime on the density and shear strength values directly on the soil. The purpose of this study was to analyze the relationship between density level and direct shear strength parameter values, namely γ_{dry} , cohesion and shear angle (ϕ) after being limed. The analytical method used is to compare the original soil value and the value with additional lime variations. The results showed that the density of soil with lime stabilization on the value of direct shear strength showed that the value of lime application of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% as a stabilizing agent, could increase the density and direct shear strength of the soil, and obtained optimal results in the composition of 10% lime mixed into natural soil.

Keywords: Direct Shear Strength, Lime Stabilization, Soil Density.

Abstrak

Parameter kuat geser tanah dapat memberikan informasi tentang kekuatan suatu masa tanah untuk melawan tegangan geser yang terjadi akibat adanya beban, yang di letakan di atasnya misalnya seperti pada perkerasan jalan raya. Masih adanya berbagai masalah berkaitan dengan kinerja kapur pada stabilisasi tanah, dengan itu peneliti melakukan pengujian eksperimental dengan stabilisasi tanah dengan kapur terhadap nilai kepadatan dan kuat geser langsung pada tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan tingkat kepadatan dan nilai parameter kuat geser langsung, yaitu γ_{dry} , kohesi dan sudut geser (ϕ) setelah diberi kapur. Metode analisis yang digunakan adalah membandingkan antara nilai tanah asli dan nilai dengan tambahan variasi kapur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan tanah dengan stabilisasi kapur terhadap nilai kuat geser langsung menunjukkan bahwa nilai pemberian kapur 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% sebagai bahan stabilisasi, dapat meningkatkan kepadatan dan kuat geser langsung tanah, dan di peroleh hasil yang optimal pada komposisi pemberian kapur 10% yang dicampurkan kedalam tanah natural.

Kata Kunci: Kepadatan Tanah, Kuat Geser Langsung, Stabilisasi Kapur

1. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan prasarana angkutan darat yang sangat penting dalam memperlancar kegiatan hubungan perekonomian, baik antara suatu kota dengan kota lainnya, antara kota dengan desa, antara suatu desa dengan desa lainnya. Kondisi jalan yang baik memudahkan mobilitas penduduk dalam mengadakan hubungan perekonomian dan kegiatan social lainnya. Sedangkan jika terjadi kerusakan jalan akan berakibat bukan hanya terhalangnya kegiatan ekonomi dan social namun dapat terjadi kecelakaan. Kerusakan jalan yang terjadi di berbagai daerah saat ini merupakan permasalahan yang sangat kompleks dan kerugian yang diderita sungguh sangat besar, terutama bagi pengguna jalan, seperti terjadinya waktu tempuh yang lama, kemacetan, kecelakaan, lalu lintas, dan lain-lain.

Secara umum penyebab kerusakan jalan ada berbagai sebab yakni unsur rancangan jalan yang telah di lewati, genangan air pada permukaan jalan yang tidak dapat mengalir akibat drainase yang kurang baik, beban lalu lintas berulang yang berlebihan (overload) yang menyebabkan umur pakai jalan lebih pendek dan tidak adanya drainase jalan tersebut sehingga tergenang air yang menyebabkan terjadinya pelapukan dan perlepasan butir sehingga jalanan mengalami kerusakan.

Ketahanan dari suatu konstruksi bangunan tanah seperti jalan, bendungan, tanggul dan gedung ditentukan oleh sifat kepadatan dan kekuatan tanah. Menurut (Terzaghi & Peck, 2012) mengungkapkan bahwa tanah yang di padatkan bertujuan untuk menaikkan kekuatannya, memperkecil kompresibilitas dan daya rembesan air. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah tersebut.

Permasalahan utama pada pembangunan infrastruktur jalan adalah kondisi tanah pada lokasi yang terkadang kurang mendukung, hal ini disebabkan oleh kondisi tanah pada beberapa daerah yang banyak mengandung bahan organik, dan dapat dikenali melalui pemeriksaan visual. Hamparan tanah organik/tanah jelek cenderung tersebar di dataran rendah di wilayah pantai, danau, dataran antar gunung dan muara-muara sungai yang merupakan wilayah konsentrasi aktivitas manusia yang strategis di mana sebagian besar kota di dunia pun dibangun di dataran rendah karena alasan alami seperti adanya fasilitas pelabuhan laut, sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai transportasi, kondisi tanah yang relatif lebih subur, dimungkinkannya membangun landasan pacu untuk bandar udara, dan berbagai kondisi alam lainnya yang mendukung aktivitas manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, oleh karena itu berbagai infrastruktur jalan lebih banyak di bangunan di posisi tanah yang jelek.

Tanah di dataran rendah umumnya terdiri dari sedimentasi halus atau tanah aluvial, terbentuk dari lumpur sungai yang mengendap sebagai tanah lunak yang rentan terhadap pengaruh air. Jika ingin membangun infrastruktur jalan dengan spesifikasi tertentu sesuai dengan kebutuhan rencana layanan jalan akan dihadapkan pada 2 (dua) alternatif, yaitu mengeluarkan tanah jelek kemudian mengganti dengan tanah yang baik sesuai standar yang di inginkan atau memperbaiki kondisi tanah yang ada sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan yaitu dengan melakukan stabilisasi tanah. (Hasan et al., 2021).

Stabilisasi tanah menggunakan bahan stabilisator telah banyak dilakukan dan dikembangkan, baik yang telah diaplikasikan dalam pembangunan infrastruktur teknik sipil maupun hasil penelitian ilmiah yang belum teraplikasi. Bahan-bahan yang telah lama digunakan adalah semen portland, kapur, dan bitumen. Stabilisasi dengan semen cocok untuk tanah non kohesif, sedangkan kapur cocok untuk tanah kohesif (Sofwan, 2018).

Kapur adalah batu gamping yang dipanaskan dengan suhu tertentu. Kapur tohor yang dimaksud dibuat dari batuan karbonat (CaCO_3) yang dipanaskan dengan suhu $1200^\circ\text{--}1500^\circ\text{C}$ kemudian didinginkan tanpa penyiraman (menjadi CaO), digiling dan disaring lolos saringan 200. Secara kimiawi batu gamping terbentuk dari kalsium karbonat dan mineral lain yang menyertainya. Proses fisika, kimia, dan geologi yang menyertai pembentukannya menjadikan berbagai variasi karakteristik batu gamping di alam. Batu gamping (limestone) yang digunakan dalam penelitian ini adalah CaCO_3 yang mengandung lebih dari 80% kalsium.

Tanah memiliki sifat kuat geser, Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Parameter kuat geser terdiri atas 2 pada tanah, yaitu (c') kohesi dan (ϕ) sudut geser. Nilai kuat geser tanah merupakan salah satu parameter penting yang di butuhkan dalam perencanaan sebuah struktur, hal ini di sebabkan karena parameter kuat geser tanah dapat memberikan informasi tentang kekuatan suatu masa tanah untuk melawan tegangan geser yang terjadi akibat adanya beban, yang di letakan di atasnya misalnya seperti pada perkerasan jalan raya.

Masih adanya berbagai masalah berkaitan dengan kinerja kapur pada stabilisasi tanah, dengan itu peneliti melakukan pengujian eksperimental dengan stabilisasi tanah dengan kapur terhadap nilai kepadatan dan kuat geser langsung pada tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan tingkat kepadatan dan nilai parameter kuat geser langsung, yaitu γ_{dry} , kohesi dan sudut geser (ϕ) setelah diberi kapur.

2. METODE

A. Persiapan

Lokasi Penelitian ini adalah:

- Lokasi pengambilan sampel tanah di Desa Belabori, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Tanah yang digunakan yaitu tanah dengan sampel terganggu (Disturbed).
- Lokasi pengambilan kapur tohor (CaO) di ambil dari kawasan Kars Maros - Pangkep Sulawesi Selatan yang dipanaskan menjadi kapur tohor (CaO) .
- Uji fisis dan mekanis tanah, pembuatan benda uji dan uji mekanis benda uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Muslim Indonesia di Makassar Provinsi Sulawesi Selatan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat kuat geser (direct shear), alat pemadatan (compaction), alat atterberg limit test, alat kadar air (moisture content test), alat berat jenis (specific gravity), alat berat volume (unit weight), dan alat analisa saringan (sieve analysis & hydrometer analysis). Sementara untuk bahan penelitian terdiri dari sampel tanah terganggu (disturbed) dan kapur tohor (cao)

Untuk melakukan penklasifikasian tanah, informasi tentang batas cair (Liquid limit), batas plastis (Plastic Limit) dan gradasi tanah (Sieve Analysis & Hydrometer Analysis) dibutuhkan. Dalam USCS setiap tanah dinamakan dalam dua huruf simbol kelompok dan nama kelompok. Tiga jenis tanah dan sumber kelompok yang termasuk dalam setiap jenis tanah adalah

- Kerikil (Gravel) – GP, GW, GM dan GC
- Pasir (Sand) – SP, SW, SM, dan SC
- Lempung (Silt) dan Lempung (Clay) – ML, CL, CH, MH, OH, dan OL

B. Pembuatan Benda Uji

Sampel yang telah diambil kemudian diuji sifat fisis naturalnya untuk mendapatkan data properti tanah sesuai dengan metode pengujian tiap percobaan. Setelah itu dimasukkan kedalam kantong plastik dan didiamkan selama 24 jam untuk dilakukan pemeraman.

Tabel 1 Variasi pemberian bahan pada sampel compaction

Pengujian (<i>Compaction</i>)				
No. Sampel	Tanah Asli (%)	Kadar Kapur (%)	Jumlah Sampel	Keterangan
Sampel 1	100	0	3 x 1 = 3 Buah	Tanah Natural
Sampel 2	95	5	3 x 1 = 3 Buah	Tanah + Kapur 5%
Sampel 3	90	10	3 x 1 = 3 Buah	Tanah + Kapur 10%
Sampel 4	85	15	3 x 1 = 3 Buah	Tanah + Kapur 15%
Jumlah Total		14 Buah Benda Uji		

Tabel 2 Variasi pemberian bahan pada sampel *direct shear*

Pengujian (<i>Direct Shear</i>)				
No. Sampel	Tanah Asli (%)	Kadar Kapur (%)	Jumlah Sampel	Keterangan
Sampel 1	100	0	3 x 3 = 9 Buah	Tanah Natural
Sampel 2	95	5	3 x 3 = 9 Buah	Tanah + Kapur 5%
Sampel 3	90	10	3 x 3 = 9 Buah	Tanah + Kapur 10%
Sampel 4	85	15	3 x 3 = 9 Buah	Tanah + Kapur 15%
Jumlah Total		36 Buah Benda Uji		

C. Pengujian Benda Uji

Tanah yang telah dikeringkan sebelumnya, dicampur kapur dengan persentase yang telah direncanakan, Sampel yang telah diperam selama 24 jam dimasukkan ke dalam mold secara berlapis yang terdiri dari 3 lapisan. Setelah dilakukan pemadatan dan ditimbang, tanah dikeluarkan menggunakan dongkrak. Kemudian tanah dicetak ke dalam cincin Direct Shear dari satu arah, tiap lapisan hingga penuh dan diratakan dengan menggunakan spatula. Selanjutnya tanah yang berada dalam cincin Direct Shear dikeluarkan menggunakan ekstruder dan ditimbang. Setelah itu dilakukan pengujian kuat geser langsung yang bertujuan untuk mengetahui kuat geser tanah dalam keadaan buatan (remolding). Benda uji pada mesin Direct Shear diatur agar mengalami penekanan yang sempurna. Penekanan dan pembacaan pada dial deformasi dilakukan pada interval 0,25. Jadi, dari tiap pergerakan 0,25, 0,5, 0,75, 1 dan 1,25 dan seterusnya hingga benda uji mengalami keruntuhan yang ditandai dengan turunnya pembacaan pada dial deformasi atau pembacaan konstan sebanyak 3 kali kemudian pembacaan dihentikan. (Head, 2011)

Data yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

- Data Awal; data awal merupakan data pendukung untuk penelitian yang meliputi:
 1. kadar air (moisture content)
 2. berat volume (unit weight)
 3. berat jenis (specific gravity)
 4. batas konsistensi (atterberg limit)
 5. analisa butiran (sieve analysis) dan (hydrometer analysis)
- Data Utama; data utama merupakan data pengujian yang hasilnya merupakan tujuan dari penelitian ini yaitu pengujian pemadatan (compaction test), dan pengujian kuat geser langsung (direct shear test).

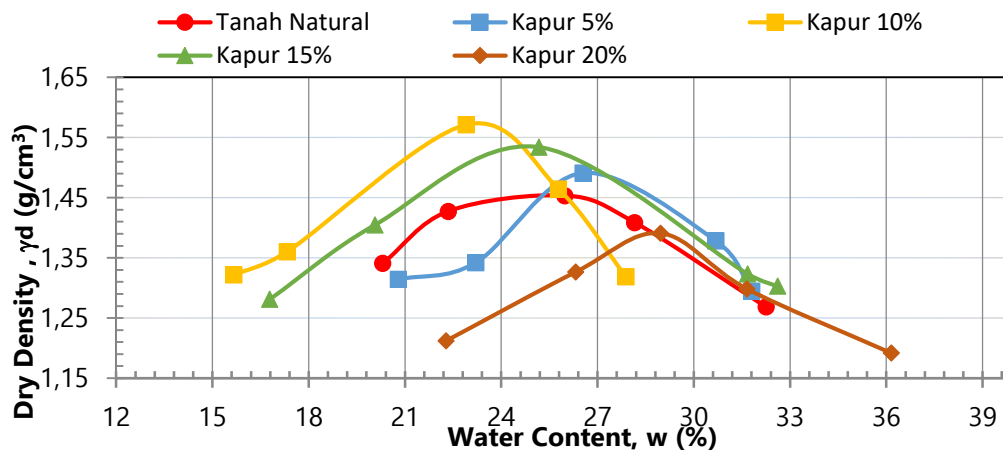
D. Metode Analisis Data

Setelah seluruh data diperoleh, baik dari pengujian index properties, pengujian batas Atterberg untuk tanah yang sudah dicampur stabilisator, percobaan pemadatan (compaction), uji kuat geser langsung (direct shear) kemudian dilakukan pengumpulan data yang diperoleh. Setelah data dikumpulkan, lalu dilakukan analisa data dari hasil pengujian yang diperoleh.

3. PEMBAHASAN

A. Pengaruh Stabilisasi Tanah dengan Kapur Tohor terhadap Nilai Kepadatan Tanah

Pengujian pemadatan dilakukan dengan menggunakan metode *standard proctor* ASTM D689. Setelah dilakukan pemeraman singkat dan pengujian kepadatan tanah maka dibuat grafik perbandingan antara berat isi tanah kering (*dry density*) dengan kadar air dan diperoleh hasil kepadatan tanah maksimum pada kadar air optimum dengan variasi pemberian kapur 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.

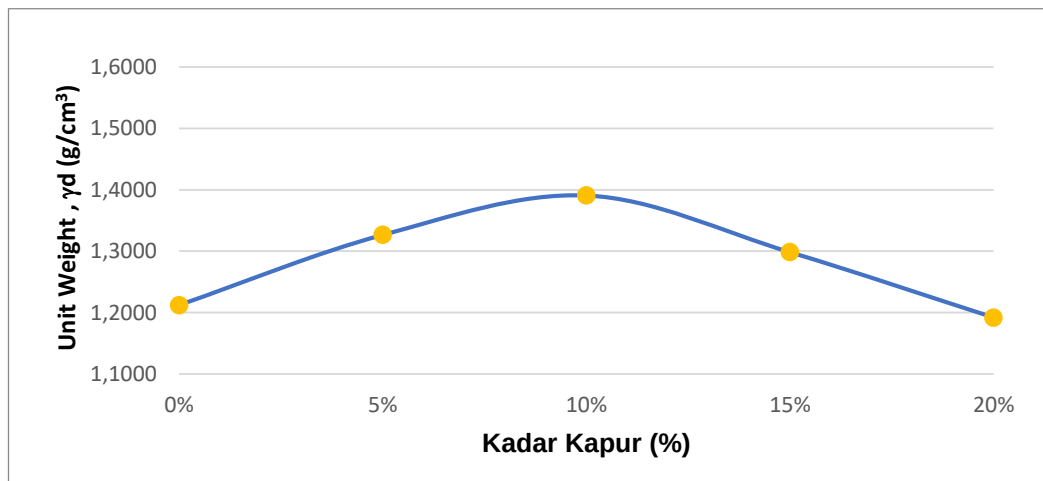


Gambar 1 Hubungan dry density dengan water content (%) terhadap pemberian kapur

Pada **Gambar 1** diperoleh kadar air optimum, dan kepadatan maksimum (γ_{dry} maksimum) dari beberapa pemberian variasi kapur, maka dapat ditentukan parameter kepadatan yaitu γ_{dry} optimum berada pada variasi pemberian kapur 10% dengan kadar air 22.91% dan γ_{dry} 1,571 g/cm³. Peningkatan γ_{dry} tanah dengan adanya pemberian kapur ini menunjukkan kedudukan butiran akan lebih rapat dan padat sehingga kemampuannya akan meningkat, akan tetapi dengan meningkatnya pemberian kapur dari 15% - 20% mengalami penurunan tingkat kepadatan dengan nilai γ_{dry} 1,534 g/cm³ dan 1,390 g/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kapur terhadap kepadatan tanah akan menurun jika kadar yang di berikan melebihi dari batas konsistensi tanah tersebut. Selanjutnya di lakukan pengujian kuat geser langsung dengan menggunakan alat *direct shear* dengan *standard* ASTM D3080.

Diperoleh nilai kohesi 0,295 kg/cm² pada tanah natural tanpa kapur, dan terjadi peningkatan nilai kohesi pada tanah dengan pemberian kapur 10% dengan nilai 0,581 kg/cm² kemudian nilai kohesi turun pada pemberian kapur 15% - 20% dengan nilai 0,471 kg/cm² dan 0,167 kg/cm². Hal ini menunjukkan bahwa tanah dengan pemberian kapur diatas 10% mengalami kurangnya kemampuan saling ikat antara butir – butir tanah dan kapur. Nilai sudut geser dalam (ϕ) yang diperoleh pada tanah natural tanpa kapur sebesar 49.17° dan terjadi peningkatan pada pemberian kapur 10% pada tanah dengan nilai sudut geser dalam 59,93° dan terjadi penurunan pada pemberian kapur 15% - 20% pada tanah dengan nilai 55,14° dan 30,06°, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kapur terhadap sudut geser dalam akan meningkat pada kondisi optimum dan terjadi penurunan jika melebihi batas konsistensi tanah tersebut.

Dari hasil pengujian kepadatan terhadap tanah natural dengan pemberian variasi kapur sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, hasil yang diperoleh nilai γ_{dry} maksimum pada masing – masing variasi yaitu 1,453 g/cm³, 1,491 g/cm³, 1,571 g/cm³, 1,534 g/cm³, 1,390 g/cm³. Jika keduanya dihubungkan akan diperoleh hasil sebagai berikut:

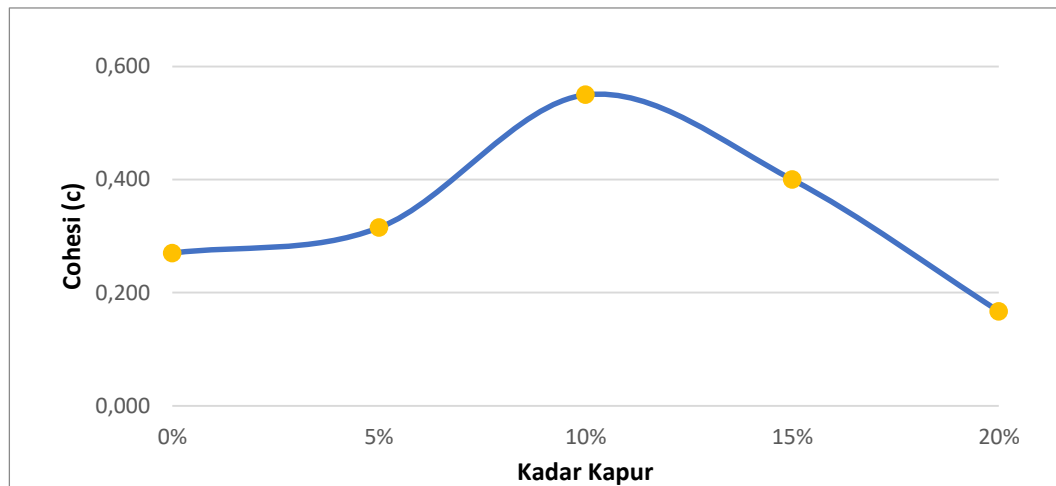


Gambar 2 Grafik hubungan γ_{dry} maksimum terhadap persentase pemberian kapur

Pada **Gaabar 2** dapat diamati terjadi perubahan terhadap γ_{dry} dari tanah sebelum diberikan kapur dan sesudah, terjadi lonjakan tinggi hingga persentase pemberian kapur 10% dengan nilai 1.571 g/cm³ dan kemudian mengalami penurunan nilai kerapatan kering (γ_{dry}) pada persentase pemberian kapur 15% – 20%, hal ini disebabkan oleh perubahan konsistensi tanah yang mengakibatkan turunnya nilai kepadatan tanah akibat pemberian kapur berlebih sehingga mempengaruhi kepadatan tanah pada pemberian kapur diatas kadar 10%.

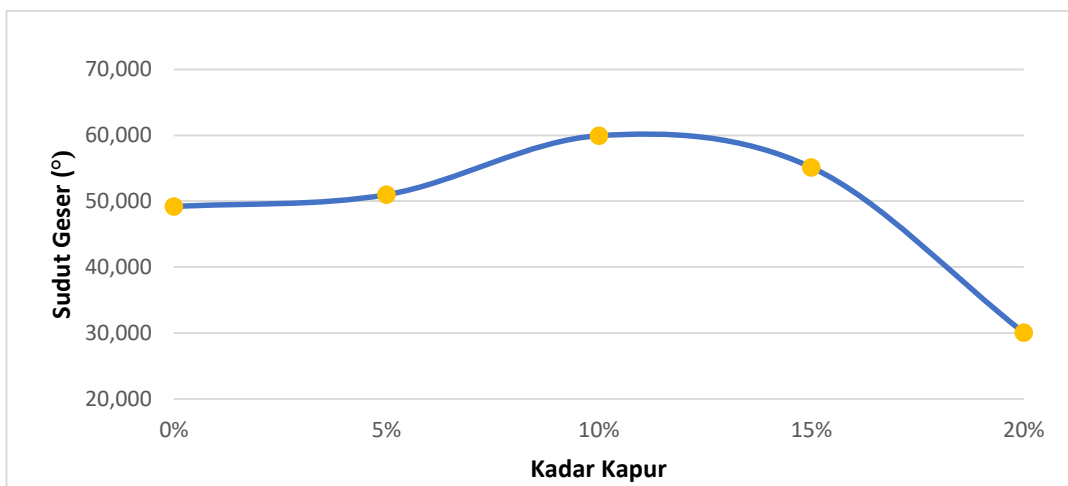
B. Pengaruh Stabilisasi Tanah dengan Kapur Tohor terhadap Parameter Kuat Geser Langsung

Dari hasil pengujian kuat geser langsung (*direct shear*) didapatkan dua parameter yaitu cohesi (c) dan Sudut geser (°). Pengujian *direct shear* terhadap tanah natural dengan pemberian variasi kapur 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Pada tabel 4.2 didapatkan nilai cohesi dengan perbandingan mak 0,295 kg/cm², 0,302 kg/cm², 0,581 kg/cm², 0,471 kg/cm², 0,167 kg/cm². Jika keduanya dihubungnakan akan diperoleh hasil pada Gambar 3 sebagai berikut.



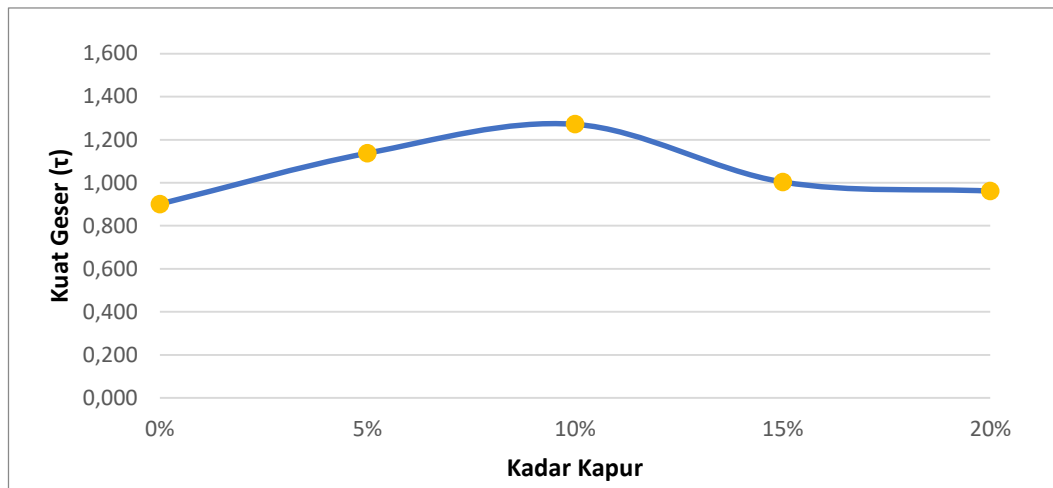
Gambar 3 Grafik hubungan cohesi terhadap persentase pemberian kapur

Pada **Gambar 3** dapat diamati terjadi perubahan terhadap nilai cohesi dari tanah sebelum diberikan kapur dan sesudah, terjadi lonjakan tinggi hingga persentase pemberian kapur 10% memiliki nilai cohesi maksimum dengan nilai 0,581 Kg/cm² dan kemudian mengalami penurunan nilai cohesi pada persentase pemberian kapur 15% – 20%, hal ini disebabkan oleh perubahan konsistensi tanah yang mengakibatkan kurangnya kemampuan mengikat butir antar butir, karena kapur pada tanah mengalami proses penyerapan air dan karakteristik plasisitas pun berubah menjadi susut, sehingga menyebabkan tanah tidak mampu mempertahankan kemampuan cohesinya.



Gambar 4 Grafik hubungan sudut geser terhadap persentase pemberian kapur

Pada **Gambar 4** dapat diamati terjadi perubahan terhadap nilai sudut geser dari tanah sebelum diberikan kapur dan sesudah, terjadi sangat kecil, peningkatan sudut geser tertinggi berada pada persentase pemberian kapur 10% kemudian nilai sudut geser turun pada variasi kapur 15% - 20%, hal ini disebabkan oleh pengaruh pemberian kapur terhadap tanah dan menunjukkan bahwa partikel kapur lebih besar menerima gesekan antar partikel tanah akibat lambatnya proses hidrasi dari kapur sehingga belum maksimalnya proses pengikatan antara tanah dan kapur.



Gambar 5 Grafik hubungan kuat geser terhadap persentase pemberian kapur

Pada **Gambar 5** dapat diamati terjadi perubahan terhadap nilai kuat geser dari tanah sebelum diberikan kapur dan sesudah, terjadi kenaikan nilai kuat geser tanah, peningkatan kuat geser tertinggi berada pada persentase pemberian kapur 10% kemudian nilai kuat geser turun pada variasi kapur 15% - 20%, hal ini disebabkan oleh pengaruh besarnya hidrasi dari kapur terhadap tanah sehingga memperbesar porositas pada tanah dan mengakibatkan kurangnya kekuatan terhadap gesekan dalam tanah.

Dari beberapa pengujian sampel benda uji yang telah dilaksanakan menggunakan instrument penelitian laboratorium yang terukur mengacu pada American Standar Testing and Material (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia. diperoleh beberapa poin dalam perubahan perilaku tanah objek penelitian setelah ditambahkan bahan stabilisasi dengan kapur tohor dengan perbandingan komposisi yang di variasikan, terlihat jelas berdasarkan hasil uji kompaksi dan kuat geser langsung yang dilakukan, terjadi perubahan perilaku tanah yang menunjukkan peningkatan daya dukung kuat geser langsung. Pengujian kompaksi berdasarkan ASTM D689 dimaksudkan untuk mengetahui nilai kepadatan maksimum terhadap kadar air optimum, dan pengujian direct shear berdasarkan ASTM D3080 dimaksudkan untuk mendapatkan kuat geser langsung tanah. Kepadatan dan kuat geser meningkat hingga pemberian kapur 10% pada tanah natural dengan pemeraman singkat selama 1 hari. Laju peningkatan kepadatan dan kuat geser langsung sangat tinggi pada pemberian kapur 10% dan kemudian mengalami penurunan tingkat kepadatan dan kuat geser langsung pada pemberian variasi kapur 15% dan 20%.

Diamati dari hasil pengujian fisis pemberian kapur diatas 10% mengalami perubahan sifat fisis yang merubah perilaku pada tanah menjadi menurunnya tingkat kepadatan dan kekuatan geser langsung. Terhadap hasil tersebut kadar optimum untuk pemberian kapur yaitu 10% untuk nilai kepadatan dan kuat geser langsung yang optimal.

Sifat – sifat kapur tohor mampu menyimpan air lebih lama dalam hal ini kapur mampu melepaskan air lebih lambat sehingga dapat mempengaruhi waktu ikat antara kapur dan butiran tanah.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian analisis kepadatan tanah dengan stabilisasi kapur terhadap nilai kuat geser langsung menunjukkan bahwa nilai pemberian kapur 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% sebagai bahan stabilisasi, dapat meningkatkan kepadatan dan kuat geser langsung tanah, dan di peroleh hasil yang optimal pada komposisi

pemberian kapur 10% yang dicampurkan kedalam tanah natural memperoleh nilai $\square$ dry maksimum sebesar 1,571 g/cm³, dan nilai parameter kuat geser yaitu, kohesi sebesar 0,581 kg/cm², sudut geser sebesar 59,93° dan nilai kuat geser sebesar 1,272 kN/m². Dengan demikian kuat geser langsung dapat meningkat seiring bertambah nilai kepadatan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Afrin, H. (2017). A Review on Different Types Soil Stabilization Techniques. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 3(2), 19. <https://doi.org/10.11648/j.ijtet.20170302.12>
- Al-Joulani, N. (2012). Effect of stone powder and lime on strength, compaction and CBR properties of fine soils. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 6(1), 1–16.
- Andavan, S., & Maneesh Kumar, B. (2020). Case study on soil stabilization by using bitumen emulsions - A review. *Materials Today: Proceedings*, 22(xxxx), 1200–1202. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.121>
- Andavan, S., & Pagadala, V. K. (2020). Experimental study on addition of lime and fly ash for the soil stabilization. *Materials Today: Proceedings*, 22(xxxx), 1065–1069. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.300>
- Andi Amri, S., Kerusakan, T., Berdasarkan, J., Road, D., & Index, C. (2021). Studi Komparasi Tingkat Kerusakan Jalan Berdasarkan Data Road Asset Management System, Surface Distress Index dan Pavement Condition Index. 6(1), 75–83.
- ARIIZUMI, A. (2010). Reaction of Hydrated Lime with Clay Minerals in Soil Stabilization. *Nendo Kagaku*, 6(2), 74–80. https://doi.org/10.11362/jcssjnendokagaku1961.6.2-3_74
- BRANDL, H. (2013). ALTERATION OF SOIL PARAMETERS BY STABILIZATION WITH LIME. <https://trid.trb.org/view/187515>
- Cai, Y., Shi, B., Ng, C. W. W., & Tang, C. sheng. (2006). Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil. *Engineering Geology*, 87(3–4), 230–240. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.07.007>
- Choobbasti, A. J., Ghodrat, H., Vahdatirad, M. J., Firouzian, S., Barari, A., Torabi, M., & Bagherian, A. (2010). Influence of using rice husk ash in soil stabilization method with lime. *Frontiers of Earth Science in China*, 4(4), 471–480. <https://doi.org/10.1007/s11707-010-0138-x>
- Cuisinier, O., Le Borgne, T., & Deneele, D. (2011). Quantification of the effects of nitrates, phosphates and chlorides on soil stabilization with lime and cement. *Transportation*, 117(Transportation (Amst)). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795210002334>
- Di Sante, M. (2020). On the Compaction Characteristics of Soil-Lime Mixtures. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(2), 2335–2344. <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01110-w>
- Furlan, A. P., Razakamanantsoa, A., Ranaivomanana, H., Levacher, D., & Katsumi, T. (2018). Shear strength performance of marine sediments stabilized using cement, lime and fly ash. *Construction and Building Materials*, 184, 454–463. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.231>
- Gan, J. K. M., Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (2010). Determination of the shear strength parameters of an unsaturated soil using the direct shear test. *Canadian Geotechnical Journal*, 25(3), 500–510. <https://doi.org/10.1139/t88-055>
- Ghasemzadeh, H., & Tabaiyan, M. (2017). The Effect of Diesel Fuel Pollution on the Efficiency of Soil Stabilization Method. *Geotechnical and Geological Engineering*, 35(1), 475–484. <https://doi.org/10.1007/s10706-016-0121-8>
- Ghobadi, M. H., Abdilor, Y., & Babazadeh, R. (2014). Stabilization of clay soils using lime and effect of pH variations on shear strength parameters. *Bulletin of Engineering*

- Geology and the Environment, 73(2), 611–619. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0563-7>
- Haras, M., E, T. A., & Legrans, R. R. I. (2017). PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR TERHADAP KUAT GESER TANAH LEMPUNG Melisa Haras , Turangan A . E ., Roski R . I . Legrans. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi ABSTRAK, 15(67), 77–86.
- Harichane, K., Ghrici, M., & Kenai, S. (2012). Effect of the combination of lime and natural pozzolana on the compaction and strength of soft clayey soils: A preliminary study. Environmental Earth Sciences, 66(8), 2197–2205. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1441-x>
- Hasan, M. T., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2021). Stabilisasi Subgrade dengan Kapur Tohor dan Aktivator untuk Struktur Perkerasan Jalan. 6(3), 175–185.
- Head, K. H. (2010). Manual soil testing Vol. 3. Jhon Wiley & Sond Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England.
- Head, K. H. (2011). Manual of soil laboratory testing, volume 2. Permeability, shear strength and compressibility tests. In Manual of soil laboratory testing, volume 2. Permeability, shear strength and compressibility tests. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)90001-2)
- Hotineanu, A., Bouasker, M., Aldaood, A., & Al-Mukhtar, M. (2015). Effect of freeze-thaw cycling on the mechanical properties of lime-stabilized expansive clays. Cold Regions Science and Technology, 119, 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.08.008>
- Hussain, M., & Dash, S. K. (2016). The influence of lime on the compaction behaviour of soils. Environmental Geotechnics, 3(5), 346–352. <https://doi.org/10.1680/envgeo.14.00015>
- Ingles, O. G., & Metcalf, J. B. (2012). SOIL STABILIZATION PRINCIPLES AND PRACTICE. Transportation. <https://trid.trb.org/view/137528>
- Khemissa, M., & Mahamedi, A. (2014). Cement and lime mixture stabilization of an expansive overconsolidated clay. Applied Clay Science, 95, 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.03.017>
- Khodaparast, M., Rajabi, A. M., & Mohammadi, M. (2021). Mechanical properties of silty clay soil treated with a mixture of lime and zinc oxide nanoparticles. Construction and Building Materials, 281, 122548. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122548>
- Kiruthiha, K., Loshini, G., Thivya, M., & Kumar, M. V. (2015). Strengthening of Flexible Pavement using Egg Shell as a Filler. International Journal of Engineering Trends and Technology, 21(10), 483–486. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v21p294>
- Maaitah, O. N. (2012). Soil Stabilization by Chemical Agent. Geotechnical and Geological Engineering, 30(6), 1345–1356. <https://doi.org/10.1007/s10706-012-9549-7>
- Masued, G. G. (2019). Investigating the Ability of Using Eggshell Powder as a Filler in Hot Mix Asphalt Mixture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 518(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/2/022047>
- Mohd Zambri, N., & Md Ghazaly, Z. (2018). Peat Soil Stabilization using Lime and Cement. E3S Web of Conferences, 34, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183401034>
- Negi, A. S., Faizan, M., Siddharth, D. P., & Singh, R. (2013). SOIL STABILIZATION USING LIME. Geotechnical and Geological Engineering, 2(issue 2).
- Sadrjamali, M., Athar, S., & Negahdar, A. (2015). Modifying Soil Shear Strength Parameters Using Additives in Laboratory Condition. Current World Environment, 10(Special-Issue1), 120–130. <https://doi.org/10.12944/cwe.10.special-issue1.17>
- Soedarmo, G. D., & Purnomo, S. J. E. (2016). MEKANIKA TANAH 1 (1st ed., Vol. 4, Issue 1). Kanusius.

- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (2012). *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, 2, 1–373.
- Usace. (2012). *Laboratory soils testing*. USACE Engineer Manual, November 1970, 407.
- Widhiarto, H., Andriawan, A. H., & Matulessy, A. (2015). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Menggunakan Campuran Abu-Sekam Dan Kapur. *Jurnal Pengabdian LPPM UNTAG Surabaya*, 01(02), 135–140.