

## PENGARUH STABILISASI TANAH PASIR CANDI PRAMBANAN MENGGUNAKAN TANAH BUTIRAN HALUS DAN KAPUR

Muhammad Annan Prapanca<sup>1</sup> dan Akhmad marzuko<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

<sup>2</sup> Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

### Article Info

Available online

### Keywords:

Proctor Standard, Prambanan Tempe, Internal Friction Angle

### Corresponding Author:

Akhmad Marzuko  
[akhmadmarzuko@uii.ac.id](mailto:akhmadmarzuko@uii.ac.id)

### Abstract

Soil reinforcement carried out at Prambanan Temple was carried out to strengthen the slopes that would be used as rainwater runoff so that erosion did not occur. In this final project, reinforcement was carried out by mixing sandy soil and fine-grained soil with a percentage of the sandy soil of 90%, 80%, 70%, and 10%, 20%, and 30% of fine-grained soil, respectively, which will be tested using standard proctor testing. The percentage of the mixture that has the maximum dry density value ( $\gamma_d$  max) and the largest optimum moisture content ( $W_{opt}$ ) is stabilized using extinguished lime as much as 1%, 2%, and 3% with a ripening age of 1 day, 3 days, and 7 days which will be tested for parameters. The shear strength using direct shear test and UU triaxial. The results of the study showed that the maximum dry density value ( $\gamma_d$  max) with variations in the mixture of sandy soil and fine grained soil 90% & 10%, 80% & 20%, and 70% and 10% respectively was 1.789 gr/cm<sup>3</sup>, 1.756 gr/cm<sup>3</sup>, and 1,612 gr/cm<sup>3</sup> and the optimum moisture content ( $W_{opt}$ ) of 16.51%, 19.545%, and 21.985%, respectively, and the direct shear and triaxial test of UU obtained an increase in the value of the soil shear angle and cohesion with the addition of lime and along the length of curing time.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

## PENDAHULUAN

### Latar belakang

Belum lama ini banyak dilakukan penelitian terkait teknologi dan inovasi milik leluhur nenek moyang untuk mengetahui budaya dan kemajuan peradaban mereka. Sebagai contoh, beton milik peradaban romawi kuno akhir-akhir ini diteliti kembali karena beton tersebut mampu bertahan lebih dari 1.500 tahun. Banyak ilmu pengetahuan milik nenek moyang yang hilang disebabkan mereka

belum menciptakan budaya tulis-menulis (historiografi). Artefak Antikythera belum lama ini dibongkar kegunaannya oleh peneliti dan ilmuwan bahwa artefak tersebut merupakan komputer pertama di dunia yang berfungsi untuk menghitung rotasi dan revolusi planet. (Diolatzis dan Pavlogeorgatos, 2018). Penelitian yang diambil oleh peneliti pada Candi Prambanan, terutama di kompleks Candi Perwara, bertujuan untuk mengetahui teknologi atau ilmu mekanika tanah milik leluhur dalam

menytabilisasikan lereng sehingga ketika terjadi hujan deras lereng dapat terjadi sebagai permukaan runoff arus hujan dan metode kerja yang dilakukan oleh mereka untuk mempertahankan kekuatan lereng sehingga lereng tidak terkikis ketika hujan terjadi.

Penelitian pada kompleks Candi Perwara dapat dikatakan menarik untuk dipelajari lebih lanjut karena ilmu yang akan didapatkan lebih luas dari sudut pandang geoteknik. Untuk mempermudah penelitian, peneliti hanya mengamati dan melakukan riset pada sudut pandang geoteknik saja yaitu, untuk mengetahui persentase tanah campuran pasir dan lempung (gradasi penuh) dengan kapur untuk mengetahui kapasitas kekuatan tanah dalam melawan beban yang diberikan.

Selain itu, penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh tanah campuran pasir dan lempung dengan kapur pada properti tanah. Uji laboratorium dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh persentase tanah campuran yang bervariasi terhadap kuat geser tanah.

Ghobadi dkk (2014) melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapur ditinjau dari nilai *proctor standard* dan triaksial. Hasil penelitian didapatkan Meningkatannya kadar pH akan meningkatkan nilai kohesi dan sudut dalam tanah yaitu 35.17 KPa dan 31 derajat.

Negi dkk (2013) melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung menggunakan bahan tambah kapur yang ditinjau dari nilai CBR. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan yang signifikan pada nilai CBR, dimana tanah memiliki kekuatan antara 4 dan lebih dari 10 persen dari tanah yang tidak distabilisasikan.

Schanz dan Elsway (2017) melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung menggunakan pasir dan kapur yang ditinjau dengan pengujian kompaksi. Hasil Pengujian menunjukkan bahwa meningkatnya kadar kapur akan menurunkan kepadatan maksimum tanah dan meningkatkan kadar air optimum tanah.

Yin dkk (2021) pada riset yang mereka teliti melakukan pengujian stabilisasi tanah lempung menggunakan pasir yang ditinjau dengan pengujian triaksial. Hasil pengujian

sedikit peningkatan kekuatan daya dukung tanah yang terkuras (*drained shear strength*) dengan meningkatnya kadar lempung. Vallejo dan Mawby (2000) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan kapur dan tanah berbutir halus sebagai bahan stabilisasi tanah lempung dengan pengujian Geser Langsung. Hasil tersebut mengindikasikan pada nilai antara 40% dan 75%, terjadi peningkatan kuat geser tanah yang dimana butiran tanah lempung mengisi pori-pori pada butiran tanah pasir.

## TANAH

Tanah dapat didefinisikan sebagai “material tidak terkonsolidasi yang berada di atas batuan padat.” Tanah terbentuk dari proses pelapukan *rock crust* pada matrik tanah. Volume tanah yang berada di lapangan terdiri dari udara, air, dan material padat (tanah). Untuk tujuan rekayasa bangunan, tanah dipadatkan sehingga air dan udara yang mengisi pori-pori tanah dapat dikeluarkan untuk meningkatkan gesekan antar partikel tanah. (Bowles, 1979).

## PLASTISITAS DAN STRUKTUR

### TANAH

Tanah berbutir halus (kohesif) memiliki konduktivitas hidraulik yang tinggi sehingga kondisi tanah dapat berubah-ubah tergantung persentase kadar air yang terdapat pada tanah. Kondisi tersebut menyebabkan volume tanah tidak dalam keadaan “tetap” disebabkan potensi tanah terpapar air cukup besar jika tanah tidak dilindungi oleh bahan adiktif untuk mencegah air memasuki pori-pori tanah (Das, 2010).

### KLASIFIKASI TANAH

Das (2010) membagi sistem klasifikasi menjadi dua kategori yaitu, berdasarkan tekstur tanah dan perilaku tanah untuk tujuan rekayasa. Pada sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah, dasar yang digunakan untuk membedakan tanah satu dengan yang lain

adalah persentase distribusi ukuran partikel. Sistem klasifikasi tersebut membagi tanah menjadi empat jenis yaitu kerikil, pasir, lanau, dan lempung. Sistem tersebut dikembangkan oleh USDA (United States Department of Agriculture). Akan tetapi, sistem klasifikasi tersebut tidak mempertimbangkan plastisitas tanah yang memiliki pengaruh yang besar dalam menentukan karakteristik fisik tanah (terdapat mineral lempung pada tanah). Oleh karena itu, sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah tidak cocok digunakan untuk tujuan rekayasa.

### KOMPAKSI TANAH

Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas dan kekuatan tanah adalah dengan melakukan kompaksi tanah. Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, tanah memiliki tingkat porositas yang berbeda-beda. Sebagai contoh, tanah lempung, memiliki nilai porositas yang tinggi daripada pasir disebabkan perbedaan terhadap tegangan permukaan, kapilaritas dan struktur yang terdapat pada tanah. Partikel tanah lempung yang memiliki ukuran lebih kecil dari 0.004 mm menyebabkan air terikat pada permukaan partikel dan membentuk ikatan terhadap partikel tanah. Afinitas tanah lempung terhadap air yang tinggi jika tidak diminimalisir yang mengisi secara penuh pori-pori yang terdapat pada tanah sehingga menyebabkan ekspansi pada tanah. (Das, 2010)

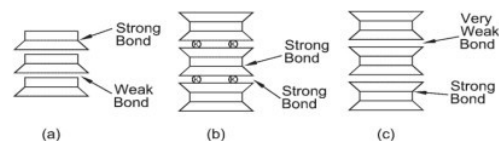
### KUAT GESER TANAH

Kekuatan tanah pada dasarnya dipengaruhi oleh dua parameter yaitu kohesivitas dan sudut gesek internal tanah. Nilai kedua parameter tersebut berbeda-beda untuk setiap jenis tanah. Tanah lempung memiliki tingkat kohesivitas yang tinggi namun sudut gesek internalnya kecil. Sudut gesek internal sendiri dipengaruhi oleh indeks plastisitas tanah. Semakin besar indeks plastisitas tanah maka semakin kecil sudut gesek internal yang terdapat dalam tanah. Hubungan berbanding terbalik tersebut disebabkan karena tanah memiliki kandungan kadar air yang tinggi sehingga indeks plastisitas yang dihasilkan menjadi besar.

Kandungan air yang banyak dalam tanah menyebabkan pori-pori tanah terisi oleh air sehingga memperbesar jarak gesek antar partikel tanah. Selain itu, dengan terisinya pori tanah dengan partikel tanah maka akan meningkatkan kekuatan ikat antar partikel tanah (kohesivitas).

### TANAH EKSPANSIF

Menurut Nelson (2015) sifat ekspansif pada tanah terjadi karena komposisi mineral tanah lempung yang berinteraksi dengan kation disebabkan oleh pengaruh kekuatan elektron dan interaksi kation dengan hidrasi air. Partikel padat tanah lempung, kation, dan ikatan air pada akhirnya membentuk sebuah unit yang dijuluki sebagai micelle. Komposisi mineral tanah lempung dapat dibayangkan sebagai blok-blok lego yang menumpuk satu sama lain. Blok-blok lego tersebut memiliki bentuknya sendiri-sendiri tergantung pada struktur atom yang membentuk partikel lempung. Terdapat dua blok lego dasar yang membentuk mineral lempung yaitu *silicon tetrahedron* dan *aluminio-magnesium octahedron*. Ikatan yang mengikat antar blok lego memiliki kekuatan yang berbeda-beda. Sifat ikatan tersebut akan memengaruhi ukuran partikel mineral lempung. Gambar 1 berikut ini menjelaskan kekuatan ikatan yang berbeda antar mineral kaolite, illite, dan montmorillonite.



Gambar 1 Diagram Skema Struktur (a) Kaolite; (b) Illite; (c) Mntmorillonite (Sumber: Nelson, 2015)

### PERMEABILITAS

Berdasarkan Das (2010), permeabilitas pada tanah terjadi karena adanya interkoneksi antar pori-pori tanah dimana air mengalir dari energi yang besar ke energi yang rendah. Penting untuk diketahui mengenai tingkat permeabilitas pada tanah untuk menganalisis kestabilan pada lereng. Salah satu parameter utama yang mengontrol kecepatan rembesan antara lain konduktivitas hidraulik atau

sebagai mana yang dikenal koefisien permeabilitas.

### STABILISASI TANAH

Dengan seiringnya waktu tanah mengalami perubahan akibat dari cuaca dan beban sementara yang memberikan tekanan pada tanah sehingga volume dan kekuatan tanah berubah. Untuk tujuan konstruksi dan infrastruktur tanah perlu diperbaiki agar memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban rencana. Salah satu cara untuk memperbaiki tanah adalah dengan stabilisasi.

### METODE PENELITIAN

#### *Pengujian Penelitian*

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada beberapa sampel untuk mendapatkan kadar air optimum dan kepadatan maksimum terbesar dengan persentase lempung yang berbeda dicampur dengan pasir untuk pengujian parameter kuat geser tanah yang telah distabilisasi menggunakan kapur dengan kadar yang bervariasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh campuran pasir

dan lempung pada kapur terhadap parameter kuat geser tanah menggunakan pengujian triaksial UU dan geser langsung. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Indonesia. Tanah butiran halus diambil pada Jl. Ngalang Segmen V, kec. Gedang Sari, Kab. Gunung Kidul, DIY, dan Tanah Pasir diambil pada daerah Cangkringan, Sleman, DIY.

Campuran pasir dan lempung berasal dari pemukiman Candi Perwara dan gedangsari untuk diuji gradasinya sehingga diketahui karakteristik mineralnya. Peneliti akan mencari mineral pasir dan yang memiliki karakteristik yang mirip dengan karakteristik tanah pada Candi Perwara untuk diuji terhadap parameter kuat gesernya. Sampel diambil pada kondisi terganggu (disturbed).

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### *Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli*

Rekapitulasi hasil dari pengujian sifat fisik dan mekanik tanah asli dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli

Pengujian		Simbol	Satuan	Hasil
Kadar Air		$w$	%	4.21
Berat Volume		$\gamma$	$\text{g/cm}^3$	1.62
Berat Jenis		$G_s$	$\text{g/cm}^3$	2.67
Analisa Saringan	Pasir	Kerikil	%	6.49
		Pasir	%	82.76
		Merapi	%	8.94
	Butiran Halus	Lempung	%	1.81
		Kerikil	%	0
		Pasir	%	17.63
Atterberg Limit	Batas Susut	$SL$	%	24.43
	Batas Plastis	$PL$	%	56.43
	Batas Cair	$LL$	%	83.12
Proctor Standard	OMC, 90% Pasir & 10% Butiran Halus	$w_{opt}$	$\text{g/cm}^3$	16.51
	OMC, 80% Pasir & 20% Butiran Halus	$w_{opt}$	$\text{g/cm}^3$	19.54
	OMC, 70% Pasir & 30% Butiran Halus	$w_{opt}$	$\text{g/cm}^3$	21.98
	MDD, 90% Pasir & 10% Butiran Halus	$\gamma_{d,max}$	$\text{g/cm}^3$	1.789
	MDD, 80% Pasir & 20% Butiran Halus	$\gamma_{d,max}$	$\text{g/cm}^3$	1.756
	MDD, 70% Pasir & 30% Butiran Halus	$\gamma_{d,max}$	$\text{g/cm}^3$	1.612
	Permeabilitas	$k$	cm/dt	0.00018

**Klasifikasi Tanah**

Berdasarkan pengujian fisik tanah yang telah dilakukan, maka dapat ditentukan klasifikasi tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

**Pengujian Parameter Kuat Geser**

Hasil pengujian geser langsung dan triaksial tanah asli (TA) dengan penambahan bahan stabilisasi berupa kapur padam terhadap nilai

kuat geser dapat dilihat pada Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 2 Hasil Klasifikasi Tanah

Metode	Jenis Tanah	Keterangan
USCS	SW	Well-graded sand atau clean sand, tanah pasir bersih.
USCS	MH	Tanah lanau tak organic atau pasir halus, lanau elastis.

Tabel 3 Pengujian Geser Langsung dengan Bahan Tambah

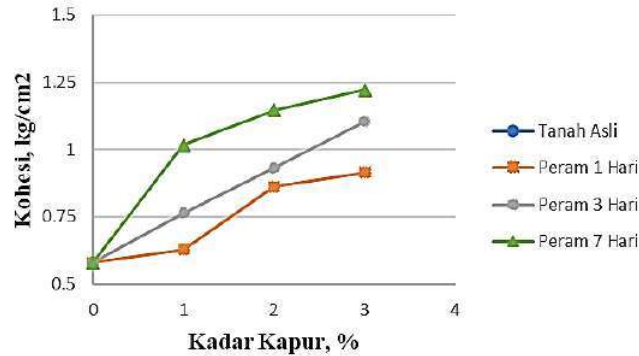
Pemeraman	Variasi	Parameter Kuat Geser Tanah	
		$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
0 Hari	Tanah Asli 90% Pasir & 10% Butiran Halus	0.5815	42.109
	Tanah Asli + 1% Kapur Padam	0.659	46.065
1 Hari	Tanah Asli + 2% Kapur Padam	0.862	48.281
	Tanah Asli + 3% Kapur Padam	0.915	51.102
3 Hari	Tanah Asli + 1% Kapur Padam	0.764	51.525
	Tanah Asli + 2% Kapur Padam	0.932	53.545
	Tanah Asli + 3% Kapur Padam	1.104	54.006
7 Hari	Tanah Asli + 1% Kapur Padam	1.017	52.189
	Tanah Asli + 2% Kapur Padam	1.146	54.155
	Tanah Asli + 3% Kapur Padam	1.222	55.075

Tabel 4 Pengujian Triaksial UU dengan Bahan Tambah

Pemeraman	Variasi	Parameter Kuat Geser Tanah	
		$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
0 Hari	Tanah Asli 90% Pasir & 10% Butiran Halus	1.390	45.594
	Tanah Asli + 1% Kapur Padam	1.980	52.385
1 Hari	Tanah Asli + 2% Kapur Padam	2.141	53.129
	Tanah Asli + 3% Kapur Padam	2.528	53.843
3 Hari	Tanah Asli + 1% Kapur Padam	2.371	53.263
	Tanah Asli + 2% Kapur Padam	2.502	53.692
	Tanah Asli + 3% Kapur Padam	3.242	54.656
7 Hari	Tanah Asli + 1% Kapur Padam	3.189	53.336
	Tanah Asli + 2% Kapur Padam	3.293	54.414
	Tanah Asli + 3% Kapur Padam	3.351	55.303

Kemudian dibuat grafik nilai peningkatan kohesi Geser Langsung dan Triaksial UU

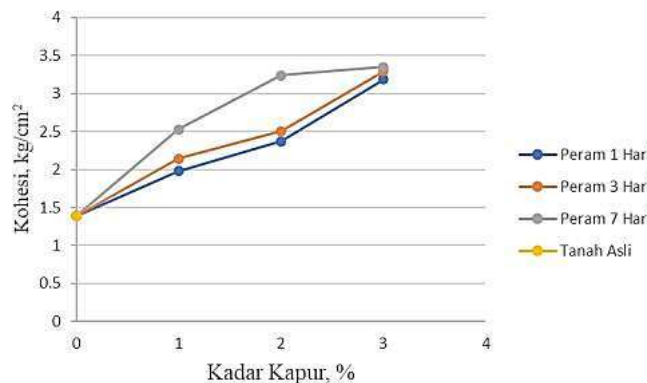
terdapat pada Gambar 2 dan Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 2 Pengaruh Kadar Kapur Terhadap Nilai Kohesi Uji Geser Langsung

Berdasarkan Gambar 2 di atas maka penambahan kapur terhadap tanah asli akan meningkatkan nilai kohesi seiring dengan bertambahnya waktu peram, pada kondisi tanah asli yang diberi kapur sebanyak 1% maka akan terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 8.262%, 48.365%, dan 57.487%, pada penambahan kapur 2% maka terjadi peningkatan kohesi sebesar 31.497%, 60.413%, dan 90.017%, serta pada

penambahan kapur 3% maka terjadi peningkatan kohesi sebesar 75.043%, 97.246%, dan 110.327% semua terhadap tanah asli dengan waktu pemeraman selama 1 hari, 3 hari, dan 7 hari. Dari angka persentase kenaikan nilai kohesi tersebut maka dapat disimpulkan bahwa nilai kohesi paling signifikan mengalami kenaikan ketika kadar kapur yang dicampurkan ke tanah asli sebesar 3% dari setiap pemeraman.



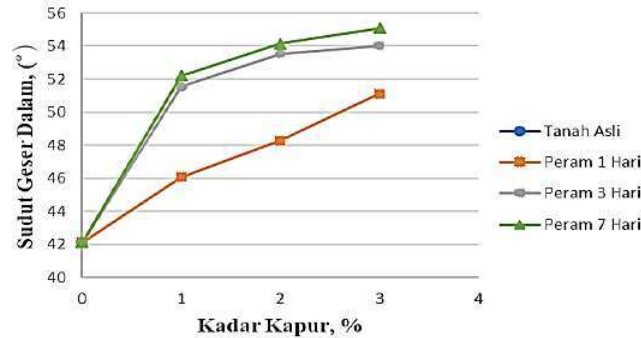
Gambar 3 Pengaruh Kadar Kapur Terhadap Nilai Kohesi Uji Triaksial UU

Berdasarkan Gambar 3 di atas maka penambahan kapur terhadap tanah asli akan meningkatkan nilai kohesi seiring dengan bertambahnya waktu peram, pada kondisi tanah asli yang diberi kapur sebanyak 1% maka akan terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 42.446%, 70.575%, dan 129.434%,

pada penambahan kapur 2% maka terjadi peningkatan kohesi sebesar 54.029%, 80%, dan 136.906%, serta pada penambahan kapur

3% maka terjadi peningkatan kohesi sebesar 81.871%, 133.237%, dan 141.079% semua terhadap tanah asli dengan waktu pemeraman selama 1 hari, 3 hari, dan 7 hari. Dari angka persentase kenaikan nilai kohesi tersebut maka dapat disimpulkan bahwa nilai kohesi paling signifikan mengalami kenaikan ketika kadar kapur yang dicampurkan ke tanah asli sebesar 3% dari setiap pemeraman. Selain itu, dibuat grafik nilai peningkatan sudut geser dalam pada pengujian Geser Langsung dan

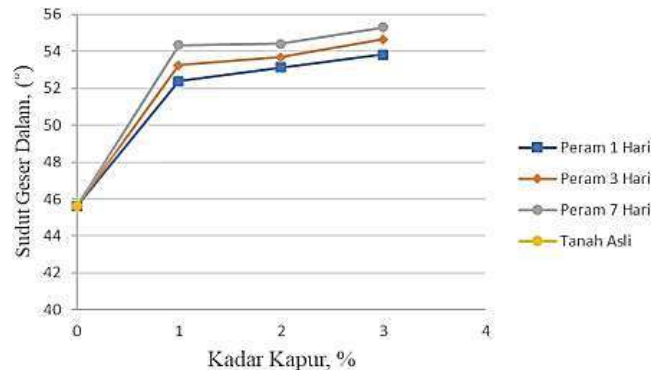
Triaksial UU terdapat pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5 Pengaruh Kadar Kapur Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam Pengujian Geser Langsung

Berdasarkan Gambar 4 di atas, maka diperoleh nilai penambahan kapur padam terhadap parameter kuat geser tanah yaitu sudut geser dalam ( $\phi$ ) terjadi peningkatan 9.395%, 14.657%, dan 21.356% untuk kapur 1%, kemudian untuk kadar kapur 2% terjadi

peningkatan sebesar 22.361%, 27.158%, dan 28.253% serta pada kapur 3% terjadi peningkatan sebesar 23.938%, 28.607%, dan 30.789%.X



Gambar 5 Pengaruh Kadar Kapur Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam Pengujian Triaksial UU

Berdasarkan Gambar 75 diatas, maka dapat dilihat bahwa sudut geser tanah yang distabilisasikan menggunakan kapur mengalami peningkatan dari sudut geser tanah asli. Pada kapur 1% yang di peram selama 1 hari, 3 hari, dan 7 hari mengalami peningkatan sebesar 14.895%, 16.523%, dan 18.092% untuk kadar kapur 2% mengalami peningkatan sebesar 16.820%, 17.761%, dan 19.875% serta dalam keadaan kadar kapur 3% mengalami peningkatan sebesar 19.174%, 19.345%, dan 21.294%.

### KESIMPULAN

Berdasarkan dengan uji analisa saringan, maka sampel tanah yang diambil dari Cangkringan, Sleman dan Jl. Sambipitu, Gedangsari, Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, berdasarkan metode USCS sampel tanah tersebut berupa high-plasticity silt (MH) atau lanau tak organik untuk butiran halus dan pasir bersih (clean sands) karena memiliki nilai  $C_u$  diatas 6 serta  $C_c$  diantara 1 dan 3 untuk butiran kasar.

Berdasarkan pengujian Proctor Standard yang menggunakan variasi campuran pasir dan

butiran halus didapatkan nilai *maximum dry desity*, MDD dan optimum *moisture content*, OMC terbaik pada variasi campuran pasir 90% dan butiran halus 10%. Pada variasi campuran pasir 80% dan butiran halus 20% terjadi penurunan MDD sebesar 1.844% namun sebaliknya nilai OMC semakin meningkat. Pada campuran pasir 70% dan butiran halus 30% MDD menurun sebesar 9.893% dan OMC meningkat sebesar 33.162%. Maka, dapat disimpulkan dengan berkurangnya pasir dan meningkatnya persentase butiran halus nilai MDD menurun dan OMC meningkat.

Pada a campuran pasir 90% dan butiran halus 10% yang diberi bahan stabilisasi berupa kapur padam karena memiliki nilai MDD terbesar dan OMC terbaik, hasil dari analisa data menunjukkan peningkatan kuat geser tanah pada pengujian geser langsung dan triaksial UU yang diuji pada laboratorium mekanika tanah seiring dengan bertambahnya waktu pemeraman. peningkatan signifikan terjadi pada pemeraman 7 hari.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Advanced Engineering Geology & Geotechnics. 2004. *Correlations Between Soil Plasticity and Shear Parameter*. USDA. GE 441.
- American Society for Testing and Materials. 1989. *Standard Test Method of Test for Shrinkage Limit of Soil*. ASTM designation: D 424-74, Philadelphia. PA.
- Bowles. J.E. 1979. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. Mcgraw-Hill.
- Burmister, D. M. 1949. *Principles and Techniques of Soil Identification*. Proceedings, Annual Highway Research Board Meeting, National Research Council. Washington D.C., Vol. 29, 402-434.
- Das, B.M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning, Stamford.
- Diolatzis, Ioannis S., Pavlogeorgatos, Gerasimos. 2018. *Deepening to Antikythera Mechanism Via Its Interactivity*. Elsevier. Digital Applicationin Archeology and Cultural Heritage. Mytilene.
- Duncan, Michael J., Wright, Stephen G., Brandon, Thomas L. 2014. *Soil Strength and Slope Stability*. Wiley. New Jersey.
- Frank, H.S., Wen, W.Y. 1957. *Structural Aspects of Ion-Solvent Interaction in Aqueous Solutions: A Suggested Picture of Water Structures*. Faraday Society Discussions 24, 133-140.
- Ghobadi, M.H., Abdilor, Y., Babazadeh, R. 2013. *Stabilization of Clay Soils Using Lime and Effect of pH variations on Shear Strength Parameters*. Springer. Bull Eng. Geo. Environ. 73, 611-79. Verlag Berlin Heidelberg.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I. Dalam: Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah II. Dalam: Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Macfarlane, Jackson. Vanario, Tiziana. Monteiro, Paulo J. M. 2021. *Multiscale imaging, strength and permeability measurement: understanding the durability of Roman marine concrete*. Elsevier: Construction and Building Materials. California.
- Negi, Ankit Singh et al. 2013. *Soil Stabilization Using Lime*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2, 448-453.
- Nelson, John D. et al. 2015. *Foundation Engineering for Expansive Soils*. Wiley. New Jersey.
- Schanz, Tom. Elsayy, Mohamd B. D. 2015. *Swelling Characteristics and Shear Strength of Highly Expansive Clay-Lime Mixtures: A Comparative Study*. Arab J Geosci 8, 7919-7927.
- Sweeney, D. A. et al. 1988. *Effect of Lime on Highly Plastic Clay with Special Effect on Aging*. Transportation Research Record No. 1190, Artificial



Ground Freezing and Soil Stabilization.

- Terzaghi, Karl. Peck, Ralph B. Mesri, Gholamreza. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley-IntersciencePublication.
- Tian, Weijing. Tong, Fuguo. 2018. *The Effect of Suction on Shear Strength of Silty Clay*. In: Hu, L., Gu, X., Tao, J., Zhou, A. (eds) *Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference: Multi-physics Processes in Soil Mechanics and Advances in Geotechnical Testing*. GSIC 2018. Springer, Singapore.
- Vallejo, Luis. Mawby, Roger. 2000. *Porosity influences the shear strength of granular material-clay mixtures*. *Engineering Geology*. 58. 125-136.
- Yin, K. et al. 2021. *A Review of Sand-Clay Mixture and Soil-Structure Interface Direct Shear Test*. *Geotechnics*. 1. 260-306.