

Pengaruh penggunaan semen dan Rotec terhadap parameter kuat geser tanah lanau dengan uji triaxial

Masyhta Syah Rani¹, Anisa Nur Amalina^{1*}, dan Yuli Fajarwati²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

cohesion
shear angle
stabilization
Rotec
Soil-cement

Corresponding Author:

Anisa Nur Amalina
anisa.amalina@uii.ac.id

Abstract

Selecting the right type of soil is very important in building construction planning to ensure stability and adequate bearing capacity. High-plasticity (MH) silt soils can expand when wet and contract when dry, which can cause soil settlement and damage to structures above them. This research aims to determine the effect of adding cement and Rotec as stabilizing materials on shear strength parameters. The tests carried out are in the form of soil property tests and Triaxial UU (Unconsolidated Undrained) tests.

The results of this research show that the test soil is categorized as elastic silt soil (silt with sand) based on the USCS classification and soil with moderate to poor properties based on the AASHTO classification. Based on UU Triaxial testing, the cohesion value (c) of the original soil was found to be 0.655 kg/cm^2 with an internal friction angle (ϕ) of 28.080° . The largest cohesion value (c) is found in the variation of adding 1% Rotec + 1.5% cement for 14 days of curing, namely 0.811 kg/cm^2 with an internal shear angle (ϕ) value of 32.639° . This shows that the use of cement and Rotec can increase soil shear strength parameters.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Pemilihan jenis tanah yang tepat sangat penting dalam perencanaan konstruksi bangunan untuk memastikan kestabilan dan daya dukung yang memadai. Tanah memiliki karakteristik yang beragam, baik fisik maupun mekanik. Tanah lempung, misalnya, terdiri dari partikel-partikel kecil yang berasal dari pelapukan batuan dan memiliki sifat plastis serta permeabilitas yang rendah (Terzaghi & Peck, 1987). Jika tanah di lapangan memiliki sifat yang tidak sesuai dengan spesifikasi atau tidak diinginkan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan (Bowles, 1986).

Tanah lanau dengan plastisitas tinggi (MH) dapat mengembang saat basah dan menyusut

saat kering, yang dapat menyebabkan penurunan tanah dan kerusakan struktur di atasnya. Sifat plastisitas tinggi ini membuat tanah lanau kurang stabil dan lebih rentan terhadap pergeseran dan retak, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan penurunan tanah yang tidak merata dan kegagalan struktur bangunan. Penurunan ini dapat memperburuk stabilitas fondasi bangunan dan menimbulkan biaya perbaikan yang tinggi (Budhu, 2011; Das, 2017). Stabilisasi tanah secara kimiawi dengan bahan tambahan seperti semen atau kapur sering kali diperlukan untuk meningkatkan daya dukung dan stabilitas tanah lanau dengan plastisitas tinggi (Chen & Wang, 2020). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi tanah dengan bahan tambahan seperti semen

dan abu terbang dapat meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah secara signifikan (Elkady & Tharwat, 2020; Wang & Chen, 2020).

Stabilisasi tanah menggunakan semen sudah banyak diaplikasikan di lapangan. Penggunaan bahan kimia tambahan juga banyak diaplikasikan untuk meningkatkan kekuatan tanah sesuai spesifikasi atau target. Rotec merupakan salah satu bahan kimia yang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. Beberapa penelitian menggunakan 2% sampai 5% Rotec dari berat tanah (Putra, 2023; Sari, 2017; Keisworini, 2022).

Penelitian ini akan melihat pengaruh bahan kimia semen dan Rotec terhadap kenaikan parameter kuat geser tanah lanau plastisitas tinggi (MH). Pengujian kuat geser akan dilakukan dengan uji Triaxial pada beberapa persentase campuran bahan kimia.

Landasan Teori

Semen

Semen adalah suatu bahan pengikat hidraulis jika dicampur dengan air sehingga menjadi sebuah pasta semen kemudian mengeras menjadi suatu benda yang kuat dan keras. Semen banyak digunakan dalam pencampuran uji stabilitas tanah karena memiliki sifat perekat yang dapat mengikat butiran satu dengan butiran lainnya. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 15-2049-2004, semen *portland* merupakan semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (*Clinker*) *portland*, yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO.SiO}_2$), bersifat hidrolisis dan digiling bersama dengan bahan tambahan dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Rotec

Rotec merupakan zat adiktif berbentuk serbuk yang terdiri dari mineral anorganik yang berfungsi untuk memadatkan (solidifikasi) dan menstabilkan (*stabilizer*) tanah secara fisik-kimia. Rotec bekerja pada saat terjadi pengikatan partikel tanah yang terlapis air tidak mampu menempel secara maksimal

dengan semen. Rotec akan menguraikan air di dalam tanah dan melapisi partikel-partikel tanah, sehingga tanah dapat menyatu sempurna dengan semen (Cahaya Inti, 2015).

Proctor modified

Pengujian *Modified* Proctor adalah metode untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan tujuan mencapai kepadatan maksimum. Energi pemadatan yang digunakan dalam metode *Modified* Proctor adalah 2.700 kJ/m^3 . Pengujian ini penting untuk menentukan kepadatan maksimum yang dapat dicapai dan kadar air optimum, yang keduanya berpengaruh besar terhadap stabilitas dan daya dukung tanah (Das, 2017).

Triaxial unconsolidated undrained (Triaxial UU)

Pengujian Triaxial Unconsolidated Undrained (UU) adalah metode standar yang digunakan untuk menentukan parameter kuat geser tanah lanau dengan plastisitas tinggi (MH). Dalam pengujian ini, sampel tanah ditempatkan dalam sel triaxial dan diberi tekanan konfining tanpa konsolidasi dan tanpa drainasi.

Parameter kuat geser yang diperoleh dari pengujian ini meliputi kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Persamaan kuat geser tanah dapat dilihat pada Persamaan 1. Nilai τ adalah tegangan geser, c adalah kohesi, σ adalah tegangan normal, dan ϕ adalah sudut geser dalam.

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

Hasil pengujian ini penting untuk memahami perilaku tanah dalam kondisi jenuh dan memberikan data yang diperlukan untuk desain fondasi dan struktur lainnya (Head & Epps, 2011; Das, 2017).

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan pengujian laboratorium. Pengambilan sampel penelitian dilakukan di Daerah Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. Sampel tersebut diuji untuk menentukan nilai parameter kuat geser melalui berbagai pengujian fisik dan mekanik, termasuk uji

kadar air, berat jenis, berat volume, analisis granular, batas-batas Atterberg, dan pemadatan tanah.

Setelah karakteristik dasar tanah asli diketahui, dilakukan pengujian tanah yang dicampur dengan bahan stabilisasi. Bahan tambahan seperti Rotec, semen, atau kombinasi keduanya digunakan dengan beberapa variasi campuran.

Semen yang digunakan dalam penelitian berupa Semen Portland Komposit (PCC). Bahan kimia Rotec yang digunakan berasal dari PT. Cahaya Inti Solusindo.

Persentase campuran bahan kimia dihitung berdasarkan berat tanah yang diuji. Persentase Rotec menjadi variabel tetap dengan persentase semen berubah. Variasi campuran dan waktu pemeraman yang dilakukan dalam pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi waktu pemeraman dan persentase campuran bahan kimia

Waktu pemeraman	Campuran bahan kimia
1 Hari	Tanah + Rotec 1%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%
7 Hari	Tanah + Rotec 1%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%
14 Hari	Tanah + Semen 1%
	Tanah + Semen 1,5%
	Tanah + Semen 2%
	Tanah + Rotec 1%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%

Hasil dan Pembahasan

Indeks properti dan sifat teknis tanah asli

Pengujian pada tanah asli dilakukan untuk mengetahui indeks properti dan sifat teknis pada tanah asli. Hasil pengujian pada Tabel 2 akan dijadikan acuan dalam pengujian *modified* Proctor.

Tabel 2. Hasil pengujian indeks properti dan sifat teknis tanah asli

Parameter	Nilai	Satuan
Kadar air (w)	6,38	%
Berat volume tanah (γ_b)	1,5	gr/cm ³
Berat jenis (G_s)	2,67	
LL	54,89	%
PL	44,44	%
SL	46,83	%
PI	10,45	%
Gravel	0	%
Sand	27,53	%
Silt	23	%
Clay	49,49	%

Kadar air (w) tanah sebesar 6,38% menunjukkan bahwa tanah ini memiliki kelembaban yang relatif rendah (Holtz & Kovacs, 1981). Berat volume tanah (γ_b) sebesar 1,5 gr/cm³ dan berat jenis (G_s) sebesar 2,67 mengindikasikan bahwa tanah ini cukup padat (Das, 2006).

Menurut klasifikasi Atterberg, tanah dengan nilai LL di atas 50% termasuk dalam kategori tanah berplastisitas tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tanah ini cenderung memiliki sifat plastis yang signifikan, yang mempengaruhi kekuatannya saat kondisi lembab (Holtz & Kovacs, 1981).

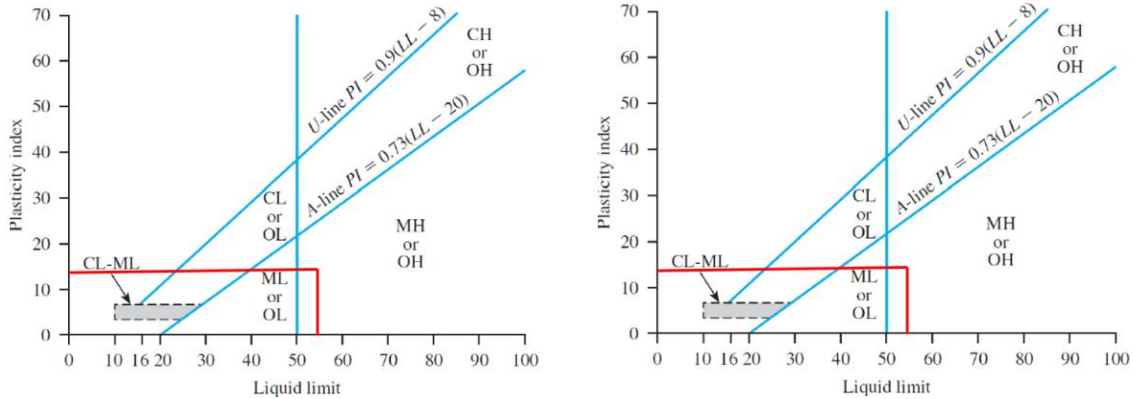
Persentase fines sebesar 72,49% menunjukkan bahwa tanah ini berpotensi memiliki perilaku ekspansif (Das, 2006). Namun, nilai PI sebesar 10,45%, sehingga termasuk tanah dengan potensi ekspansivitas rendah menurut kriteria Skempton (Holtz & Kovacs, 1981).

Klasifikasi tanah asli

Klasifikasi tanah berdasarkan USCS dapat dilakukan dengan beberapa parameter yang telah didapatkan sebelumnya. Pada pengujian analisis butiran tanah, persentase tanah lolos saringan no.200 sebesar 72,49% dan nilai batas cair sebesar 54,89%. Berdasarkan kedua parameter tersebut, tanah asli termasuk dalam divisi utama tanah berbutir halus dengan 50% atau lebih lolos saringan no.200 (0,075mm) dan kategori lanau dan lempung dengan batas cair > 50%.

Pada pengujian batas Atterberg, hasil pengujian diplot pada grafik USCS untuk menentukan klasifikasi tanah. Berdasarkan analisis saringan tersebut, tanah asli masuk dalam klasifikasi tanah berbutir halus dengan <50% lolos saringan no.200, organik, dengan <15% plus No.200, masuk ke dalam

kelompok MH yaitu tanah lanau elastis (silt with sand). Plot klasifikasi berdasarkan USCS dapat dilihat pada **Error! Not a valid bookmark self-reference.1**. Garis merah menunjukkan klasifikasi dari pengujian tanah eksisting



Gambar 1. Grafik klasifikasi tanah asli berdasarkan USCS

Berdasarkan hasil pengujian batas Atterberg, sampel tanah memenuhi syarat dalam klasifikasi kelompok A-7, yang memerlukan batas cair minimal 41% dan indeks plastisitas minimal 10%. Nilai Index Group (GI) dihitung menggunakan persentase lolos saringan nomor 200 (72,475%), batas cair (54,895%), dan indeks plastisitas (10,57%). Perhitungan GI menghasilkan nilai sebesar 20,220. Semakin tinggi nilai GI, semakin kurang cocok tanah untuk penggunaan tertentu.

Pada pengujian batas Atterberg menunjukkan bahwa tanah masuk dalam klasifikasi kelompok A-7-5 yang mensyaratkan batas plastis lebih besar dari 30%. Dengan hasil tersebut, sampel tanah asli mempunyai tipe material pokok tanah berlempung dengan penilaian umum sebagai tanah dasar yang tergolong sedang sampai buruk. Klasifikasi tanah asli menurut AASHTO dapat dilihat pada Gambar 2.

General classification	Silt-clay materials (More than 35% of total sample passing No. 200 sieve)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
Group classification				A-7-5 ^a A-7-6 ^b
Sieve analysis (% passing)				
No. 10 sieve				
No. 40 sieve				
No. 200 sieve	36 min	36 min	36 min	36 min
For fraction passing				
No. 40 sieve				
Liquid limit (LL)	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index (PI)	10 max	10 max	11 min	11 min
Usual types of material	Mostly silty soil		Mostly clayey soil	
Subgrade rating	Fair to poor			

^aIf $PI \leq LL - 30$, the classification is A-7-5.

^bIf $PI > LL - 30$, the classification is A-7-6.

Gambar 2. Klasifikasi tanah asli berdasarkan AASHTO

Pengaruh bahan stabilisasi terhadap parameter kuat geser

Stabilisasi tanah asli dilakukan dengan semen dan Rotec pada beberapa variasi. Stabilisasi tersebut memberikan pengaruh terhadap parameter kuat geser tanah.

1. Kohesi (c)

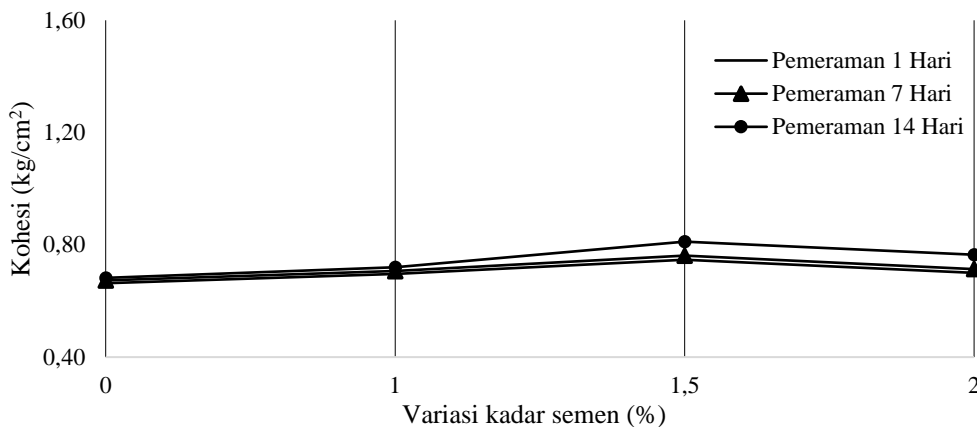
Pengaruh penambahan bahan stabilisasi berupa semen dan Rotec terhadap parameter nilai kohesi dapat dilihat pada Gambar , Gambar , dan Gambar . Variasi masa pemeraman dilakukan untuk

memberikan waktu yang berbeda pada setiap sampel untuk terjadinya reaksi kimia antara tanah, semen dan Rotec.

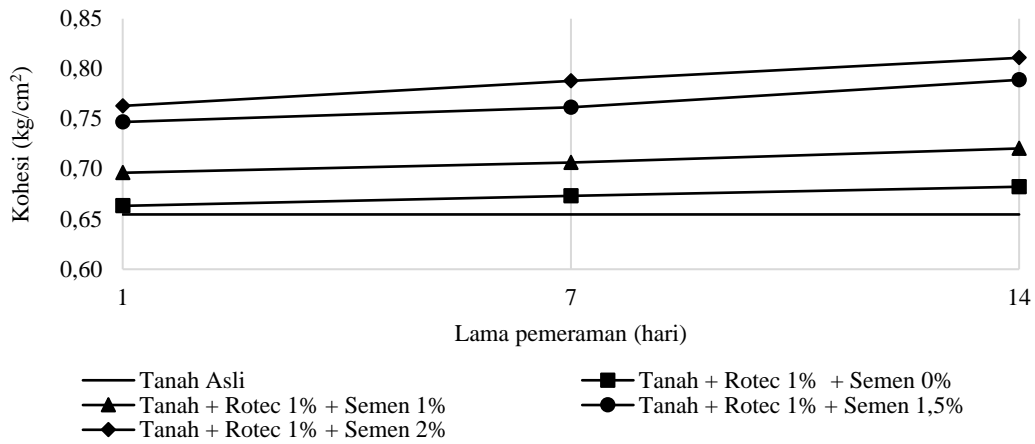
Hasil pengujian menunjukkan lama pemeraman dan penambahan persentase semen akan meningkatkan nilai kohesi tanah dapat dilihat pada Tabel 3. Ketika semen dicampur dengan tanah dan air, terjadi reaksi hidrasi yang menghasilkan yang mengikat partikel tanah bersamanya dan meningkatkan kekuatan tanah.

Tabel 3. Pengaruh penambahan semen dan rotec terhadap nilai kohesi

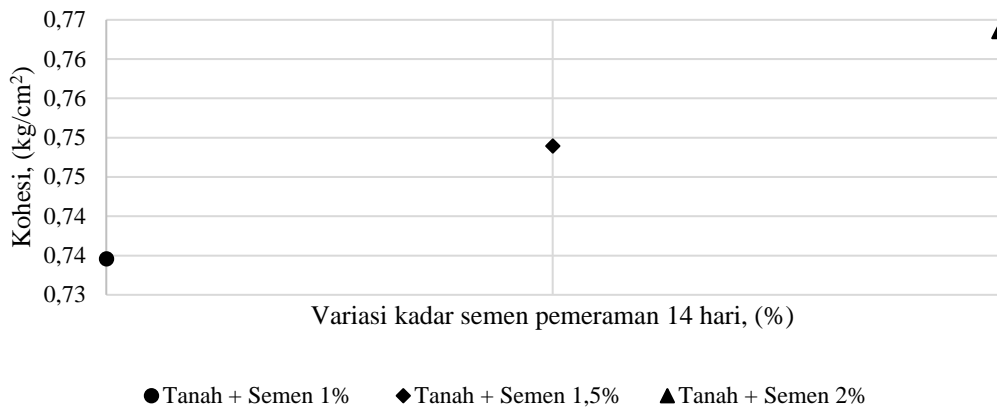
Pemeraman	Variasi	Kohesi (kg/cm ²)	Persen kenaikan
-	Tanah Asli	0,655	0
1 Hari	Tanah + Rotec 1% + Semen 0%	0,663	1,31
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%	0,696	6,35
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%	0,747	14,09
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%	0,763	16,55
	Tanah + Rotec 1%	0,673	2,85
7 Hari	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%	0,707	7,93
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%	0,762	16,34
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%	0,788	20,37
	Tanah + Semen 1%	0,735	12,21
14 Hari	Tanah + Semen 1,5%	0,749	14,40
	Tanah + Semen 2%	0,764	16,63
	Tanah + Rotec 1%	0,682	4,22
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%	0,721	10,06
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%	0,789	20,52
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%	0,811	23,88



Gambar 3. Pengaruh penambahan variasi kadar semen dan Rotec pada tanah asli terhadap nilai kohesi



Gambar 4. Grafik pengaruh lama pemeraman terhadap kohesi



Gambar 5. Grafik pengaruh variasi kadar semen pemeraman 14 hari terhadap kohesi

Penambahan 1% Rotec dan variasi semen dengan persentase tertentu secara bersamaan dapat meningkatkan nilai kohesi tanah asli seiring dengan bertambahnya persentase semen. Peningkatan terbesar terdapat pada variasi penambahan 1% Rotec dan variasi semen 2% dengan lama pemeraman 14 hari yaitu meningkat sebesar 23,82% dari nilai kohesi tanah asli yang mulanya sebesar 0,655 kg/cm² menjadi 0,811 kg/cm².

Pemeraman selama 14 hari memungkinkan reaksi kimia antara semen dan air berlangsung optimal, menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat (Ibraim dkk., 2018). Hal ini juga didukung oleh penelitian Wang dkk. (2020) yang

menemukan bahwa penambahan 2% semen pada tanah lanau secara signifikan meningkatkan nilai kohesi tanah setelah 14 hari pemeraman karena terbentuknya ikatan kuat antara partikel tanah dan produk hidrasi semen.

2. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Pengaruh penambahan bahan stabilisasi berupa semen dan Rotec terhadap parameter nilai sudut geser dalam dapat dilihat pada Gambar dan Gambar 6.

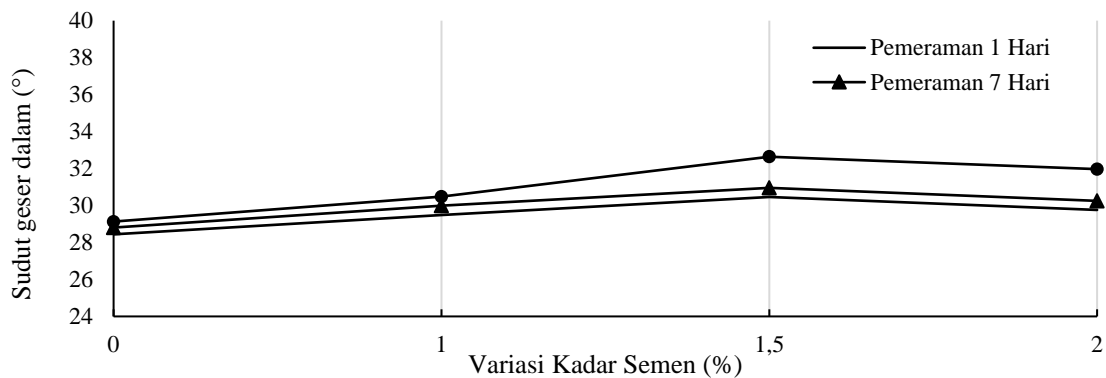
Berdasarkan Gambar 6, penambahan persentase semen cenderung meningkatkan nilai sudut geser dalam tanah asli. Peningkatan terbesar terdapat pada variasi penambahan 1% Rotec + 1,5% semen dengan lama pemeraman 14 hari.

Lama pemeraman mempengaruhi nilai sudut geser dalam tanah. Semakin lama pemeraman maka nilai sudut geser dalam tanah akan semakin tinggi. Peningkatan sudut geser dalam tanah terbesar terjadi

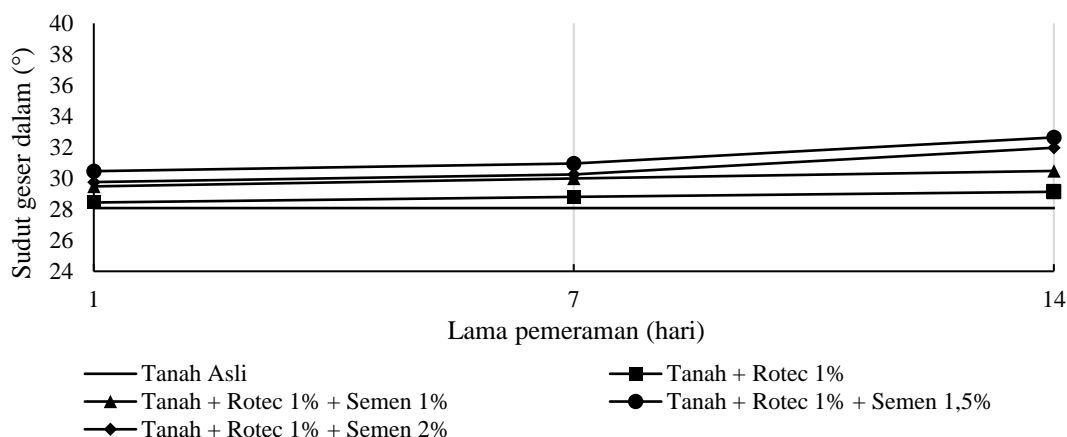
pada lama pemeraman 14 hari untuk semua variasi sampel yang mengandung Rotec 1% dan semen 1,5%.

Tabel 4. Pengaruh penambahan semen dan rotect terhadap nilai sudut geser dalam tanah

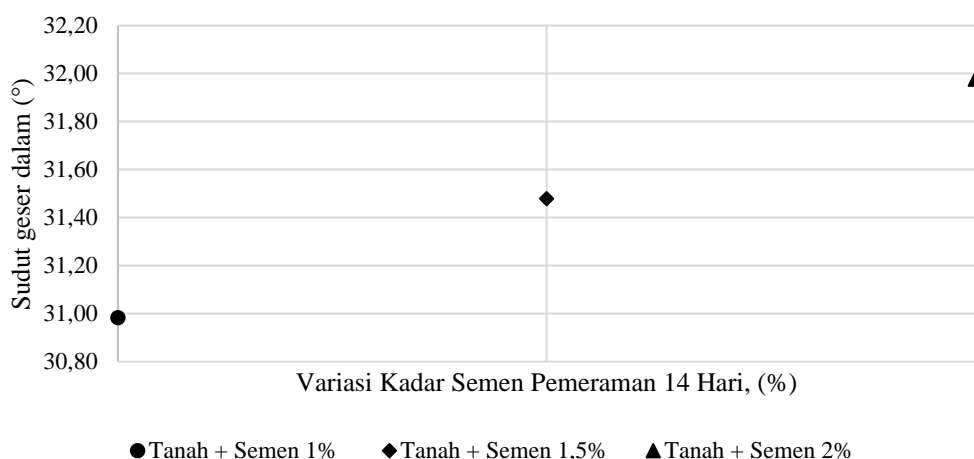
Pemeraman	Variasi	Sudut geser dalam	Persen kenaikan
-	Tanah Asli	28,080	0
1 Hari	Tanah + Rotec 1% + Semen 0%	28,441	1,29
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%	29,480	4,99
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%	30,461	8,48
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%	30,901	10,05
7 Hari	Tanah + Rotec 1%	28,806	2,59
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%	29,985	6,78
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%	30,955	10,24
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%	31,523	12,26
14 Hari	Tanah + Rotec 1%	29,131	3,74
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1%	30,476	8,53
	Tanah + Rotec 1% + Semen 1,5%	31,770	13,14
	Tanah + Rotec 1% + Semen 2%	32,521	15,82



Gambar 6. Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Kadar Semen dan Rotect Pada Tanah Asli Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam



Gambar 7. Grafik Pengaruh Lama Pemeraman Terhadap Sudut Geser Dalam Tanah



Gambar 8. Grafik Pengaruh Variasi Kadar Semen Pemeraman 14 Hari Terhadap Sudut Geser Dalam Tanah

Setelah stabilisasi tanah dengan semen dan Rotec, terjadi perubahan perilaku kegagalan spesimen tanah yang diuji dengan triaxial UU. Sampel tanah asli dan setelah distabilisasi dapat dilihat pada Gambar 7. Terdapat perubahan bentuk sampel ketika telah dilakukan pengujian dimaksud dengan ditandainya keruntuhan pada salah satu bidang pada sampel tanah tersebut akibat pengaruh pembebanan secara aksial dan lateral secara bersamaan.

Penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi dengan semen meningkatkan sudut geser dalam dan kohesi tanah, sehingga memperbaiki sifat mekanik tanah secara

keseluruhan. Akibat penambahan semen, tanah menjadi lebih kaku dan kuat, yang berarti bahwa sudut retakan kegagalan dapat menjadi lebih besar dan deformasi tanah lebih kecil sebelum mencapai kegagalan (Chen & Wang, 2020). Hal ini juga didukung oleh penelitian lain yang menunjukkan bahwa peningkatan kandungan semen dalam tanah memperbaiki distribusi tegangan dan mengurangi deformasi, sehingga meningkatkan stabilitas lereng dan daya dukung tanah (Elkady & Tharwat, 2020).



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. Sampel tanah pada variasi semen: (a) semen 1%; (b) semen 1,5%); dan (c) semen 2%.

Kesimpulan

Berdasarkan klasifikasi tanah metode USCS, sampel tanah termasuk dalam kelompok MH (lanau elastis dengan pasir), sementara menurut klasifikasi AASHTO, tanah masuk kelompok A-7 dan sub kelompok A-7-5 (tanah lempung dengan kualitas sebagai tanah subgrade sedang sampai buruk).

Penambahan variasi semen 1%, 1,5%, dan 2% meningkatkan kohesi dan sudut geser dalam tanah asli seiring waktu pemeraman. Kohesi terbesar tercatat pada penambahan semen 1,5% setelah pemeraman 14 hari, yaitu sebesar 0,811 kg/cm² dengan sudut geser dalam sebesar 32,639°. Penambahan 1% Rotec juga meningkatkan kohesi dan sudut geser dalam tanah asli, dengan nilai kohesi tertinggi sebesar 0,811 kg/cm² dan sudut geser dalam sebesar 32,639° setelah pemeraman 14 hari.

Kombinasi penambahan 1% Rotec dan variasi semen 1%, 1,5%, dan 2% menunjukkan peningkatan kohesi dan sudut geser dalam yang signifikan. Kohesi terbesar dicapai pada kombinasi penambahan 1% Rotec dan 2% semen setelah pemeraman 14 hari, dengan nilai kohesi sebesar 0,811 kg/cm² dan sudut geser dalam sebesar 32,639°.

Daftar Pustaka

- ASTM D1557-12. (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³). ASTM International.
- Bowles, J. E. (1986). *Foundation Analysis and Design* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Cahaya Inti. (n.d.). Rotec soil stabilizer application. Retrieved July 4, 2024, from <https://www.cahayainti.com/id/index.php/projects/7-rotec-soil-stabilizer-application>
- Chen, R., & Wang, L. (2020). Stabilization of high plasticity silt using cement and lime. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(6), 04020130.
- Craig, R. F. (2004). *Craig's Soil Mechanics*. CRC Press.
- Das, B. M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.

- Das, B. M. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Elkady, T. Y., & Tharwat, M. (2020). Effects of stabilization with cement on engineering properties of silty clay soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(4), 3955-3964.
- Head, K. H., & Epps, R. J. (2011). *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests* (3rd ed.). Whittles Publishing.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hall.
- Ibraim, E., Fourmont, S., & Axelsson, K. (2018). Experimental study on the mechanical behavior of cement-stabilized soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(6), 04018023.
- Keisworini, D. 2022. Pengaruh Stabilisasi Tanah Menggunakan Variasi Semen Portland Dan Rotec Terhadap Kekuatan Geser Puncak & Sisa. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Pasaribu, H. & Simanullang, M.T. (2021). Hubungan kekuatan tanah dasar dengan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Universitas Universitas HKBP Nommensen Medan.
- Putra, (2013). Penambahan abu ampas tebu terhadap tanah lempung dengan bahan tambah Rotec terhadap parameter kuat geser tanah. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sari, S. D. P. 2017. Pengaruh Stabilisasi Kimia Tanah Menggunakan Rotec dan Semen Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah dan Koefisien Uji Konsolidasi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Wang, D., & Chen, H. (2020). Stabilization of clay soil using cement and fly ash. *Construction and Building Materials*, 243, 118284.