

Pengaruh Perkuatan Kolom Pasir terhadap Kekuatan Tanah Lempung Nor Hazriatun Hernina¹, Noviyanthi Handayani², Norseta Ajie Saputra³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Palangka Raya
Email: nurhazriatunhernina@gmail.com; noviyanthi@umpr.ac.id; norseta.ajie@umpr.ac.id

ABSTRAK

Tanah lempung Kota Palangka Raya mempunyai kemampuan yang sangat rendah untuk mendukung beban. Berdasarkan hal itu maka perlu dilakukan perkuatan tanah (*soil reinforcement*) dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perkuatan kolom pasir (*sand column*). Model perkuatan ini adalah memasukkan pasir padat ke dalam lubang pada tanah lempung pada diameter tertentu. Penelitian ini dengan melakukan permodelan kolom pasir dengan diameter (\emptyset) yang bervariasi yaitu \emptyset 1, \emptyset 1,5 dan \emptyset 2 cm. Adapun pasir yang digunakan adalah pasir Palangka Raya, yang mana pasir tersebut merupakan pasir yang sering digunakan untuk pembangunan di Palangka Raya. Penelitian ini meliputi pengujian sifat tanah asli dan pengujian mekanis seperti Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) dan Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*) melakukan perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan kolom pasir. Dari hasil pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*), dapat disimpulkan bahwa sesudah dilakukan perkuatan kolom pasir, sudut geser (ϕ) mengalami peningkatan dan nilai kohesi (c) mengalami penurunan. Nilai kuat geser tertinggi pada \emptyset 2 cm sebesar 0,141 kg/cm² dan kuat geser terendah pada \emptyset 1,5 cm sebesar 0,132 kg/cm². Hasil Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*) pengujian A dan B menunjukkan nilai kuat tekan bebas (qu) tertinggi pada \emptyset 1,5 cm sebesar 1,89 kg/cm² dan nilai kuat tekan bebas (qu) terendah pada \emptyset 2 cm sebesar 0,95 kg/cm². Hal ini menunjukkan bahwa tanah dengan kolom pasir pada \emptyset 1,5 cm lebih efektif dalam meningkatkan kuat tekan bebas (qu).

Kata Kunci: tanah lempung, kolom pasir, kuat geser tanah, kuat tekan bebas.

ABSTRACT

The clay soil in Palangka Raya City has a very low ability to support loads. Based on this, it is necessary to strengthen the soil (*soil reinforcement*) by providing insertion material into the soil layer. This research was carried out using sand column reinforcement. This reinforcement model is to insert dense sand into a hole in clay soil at a certain diameter. This research was done by modeling sand columns with varying diameters (\emptyset), namely \emptyset 1, \emptyset 1.5, and \emptyset 2 cm. The sand used is Palangka Raya sand, which is sand that is often used for construction in Palangka Raya. This study included testing the properties of the original soil and mechanical tests such as the Direct Shear Test and the Unconfined Compression Test to make comparisons before and after the sand column reinforcement was carried out. Test results Direct Shear Test At the shear angle (ϕ) increased after reinforcement of the sand column and the cohesion value (c) decreased after reinforcement of the sand column, the highest value of shear strength at \emptyset 2 cm was 0.141 kg/cm² and the lowest shear strength at \emptyset 1.5 cm is 0.132 kg/cm². The results of Unconfined Compression Tests A and B showed the highest free compressive strength (qu) is 1.5 cm in \emptyset at 1.89 kg/cm² and the lowest free compressive strength (qu) is 2 cm in \emptyset of 0.95 kg/cm². This shows that soil with a sand column with a diameter of (\emptyset) 1.5 cm is more effective in increasing the free compressive strength (qu).

Keywords: clay soil, sand column, shear strength, unconfined compressive strength.

Submitted: 09 Jan 2023	Reviewed: 13 Februari 2023	Revised: 22 Juni 2023	Published: 01 August 2023
----------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------

PENDAHULUAN

Tanah merupakan aspek yang sangat penting dalam setiap pekerjaan konstruksi, karena tanah merupakan dasar dari suatu pembangunan semua struktur dan konstruksi yang ada di muka bumi. Permasalahan yang sering terjadi kondisi tanah di setiap tempat tidaklah sama antara satu dengan yang lain, hal ini dikarenakan tanah memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda. Dari permasalahan tersebut maka tanah harus diperhatikan baik dari sifat dan karakteristiknya sebelum melakukan suatu konstruksi (Rosyandi, 2022).

Salah satu tanah dengan permasalahan cukup besar adalah tanah lempung. Tanah lempung sangat keras ketika kering, dan plastis pada tingkat kelembapan sedang, sedangkan tanah liat lengket (kohesif) dan sangat lunak pada tingkat air yang lebih tinggi (Ningsih D, 2016 dalam Sir, dkk., 2019). Tanah lempung memiliki daya dukung yang sangat rendah dan sangat tidak menguntungkan dalam struktur bangunan teknik sipil, terutama karena kekuatannya yang rendah dan kompresibilitasnya yang tinggi. (Listiawan dkk, 2015; Taqwa dkk, 2019)

Menurut Darwis (2018) kekuatan tanah sering didefinisikan dengan cara yang sama seperti kekuatan geser tanah. Anggapan seperti tidaklah salah, tetapi juga tidak sepenuhnya benar, karena karena kekuatan tanah (*soil strength*) sebenarnya tidak terbatas pada kekuatan geser tanah saja, tetapi salah satunya adalah kekuatan geser tanah untuk analisis daya dukung tanah, tekanan lateral dan stabilitas lereng. Kekuatan geser yang rendah menyebabkan terbatasnya beban yang dapat bekerja dan kompresibilitas yang tinggi dapat menyebabkan penurunan.

Untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakukan stabilisasi, atau disebut juga stabilisasi mekanis, yaitu stabilisasi dengan memasukkan bahan sisipan ke dalam lapisan tanah guna meningkatkan sifat-sifat teknis massa tanah sesuai dengan tujuan stabilisasi yang ingin dicapai, karena bahan sisipan ini berada di dalam lapisan tanah, maka stabilisasi mekanis disebut perkuatan tanah (*soil reinforcement*) seperti, stabilisasi dengan *metal strip*, *geotextile*, *geomembrane*, *geogrid*, *vertical drain*, dan lain sebagainya (Darwis, 2017).

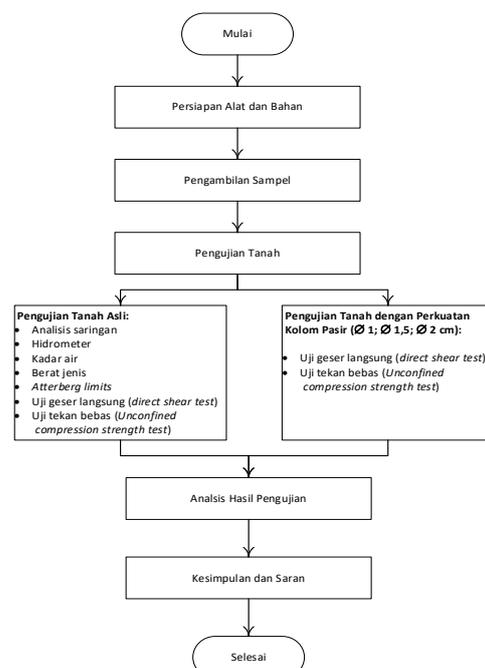
Seperti halnya perkuatan kolom pasir menurut pendapat (Dhani, 2013 dalam Harwadi, Dkk. 2021) bahwa kolom pasir adalah metode perkuatan tanah lunak di mana pasir yang dipadatkan menjadi lapisan tanah, menciptakan kombinasi tanah yang relatif padat dan padat dari sebelumnya. Karakteristik pasir memiliki kuat tekan yang cukup baik sehingga pasir menjadi salah satu alternatif dalam upaya perkuatan tanah lempung, maka dalam penelitian ini dilakukan perkuatan tanah dengan menggunakan pasir sebagai bahan kolom pasir (*sand column*) yang dipadatkan dan dimasukkan ke dalam lubang tanah untuk mengetahui kekuatan tanah lempung. Pada dasarnya biaya untuk perkuatan relatif mahal, maka pasir termasuk alternatif yang lebih murah dan mudah diperoleh sebagai perkuatan tanah. Pasir merupakan material yang keras sedangkan lempung bersifat lunak, sehingga diharapkan dapat terjadi perubahan kekuatan tanah lempung yang baik dari tanah lempung dengan perkuatan kolom pasir dan tanpa perkuatan kolom pasir (Purba, dkk. 2021; Sutikno & Yumantoko, 2015).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari: Persiapan alat dan bahan, pengambilan sampel tanah, pengujian parameter fisik dan mekanik tanah asli dan tanah yang telah diperkuat dengan kolom pasir, analisis data, dan penyusunan kesimpulan dan saran.

Persiapan bahan dan alat untuk lokasi pengambilan sampel tanah lempung di Jl. Mahir Mahar Km.8 Palangka Raya, Kalimantan Tengah dan sampel pasir di sumber *quarry* Desa Kalampangan Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Geoteknik, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Palangkaraya dengan menggunakan peralatan yang ada di Laboratorium tersebut. Pengujian tanah dilakukan pada tanah asli meliputi pengujian Analisa Saringan, Hidrometer, Kadar Air, Berat Jenis, *Atterberg Limit*, Uji geser Langsung (*Direct Shear Test*), Uji Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*) dan pada tanah dengan perkuatan kolom pasir dengan variasi diameter ($\varnothing 1$, $\varnothing 1,5$ dan $\varnothing 2$ cm) meliputi pengujian Uji geser Langsung (*Direct Shear Test*), Uji Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*).

Analisis hasil dilakukan setelah selesai semua tahap pengujian, maka selanjutnya melakukan interpretasi hasil pengujian yang dilakukan, setelah itu dilakukan pengumpulan data hasil pengujian setelah selesai dilakukan pengujian. Setelah itu dilakukan pengelompokan hasil pengujian berdasarkan jenis pengujian dan lokasi pengambilan sampel yang dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses analisis hasil pengujian. Hasil pengujian ini dapat ditampilkan dalam bentuk grafik maupun kurva bagan. Alur penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Selanjutnya setelah mendapatkan nilai nilai parameter tanah lempung dari perkuatan kolom

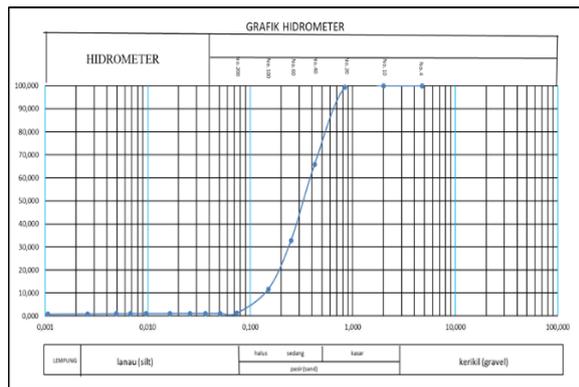
pasir, dilakukan perbandingan nilai parameter tanah lempung sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan kolom pasir, lalu membuat diagram perbandingan hasil yang didapatkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil hasil penelitian perkuatan kolom pasir terhadap kekuatan tanah lempung yang diuji di laboratorium mengenai karakteristik tanah lempung tersebut meliputi pengujian tanah asli seperti analisa saringan, kadar air, berat jenis, *Atterberg Limit*, serta pengujian dengan parameter Uji geser Langsung (*Direct Shear Test*), Uji Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*) dapat dilihat pada Tabel maupun Gambar berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Analisa Saringan
 Banyak sampel : 500 gr

No. saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan (%)	Lolos (%)
No. 4	4,750	0,00	0,00	100,00
No. 10	2,000	0,00	0,00	100,00
No. 20	0,840	3,09	0,62	99,38
No. 40	0,425	168,04	33,61	65,77
No. 60	0,250	165,28	33,06	32,72
No. 100	0,150	105,67	21,13	11,58
No. 200	0,074	51,90	10,38	1,20
PAN		6,02	1,20	



Gambar 2. Hasil Uji Analisa Saringan

Menurut AASHTO klasifikasi umum tanah yang lolos saringan No 200 < 35% tergolong kerikil dan pasir yang berlanau dengan penilaian baik sekali sampai baik dengan kategori A-2-7. Dan menurut USCS tanah ini dalam kategori SC pasir berlempung campuran pasir lempung. (Chayati & Taqwa, 2011)

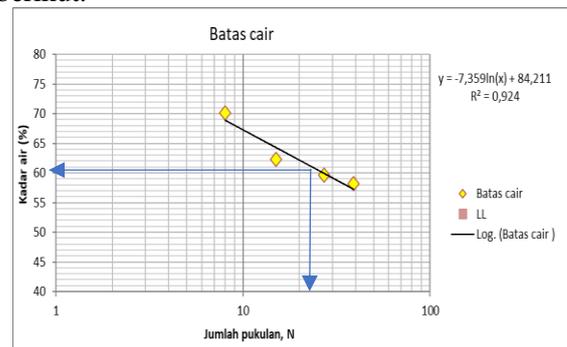
Hasil dari pengujian kadar air dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil kadar Air Mula

Nomor Cawan	1	2
Berat cawan (gr)	9,18	8,26
Berat cawan + tanah basah (gr)	19,33	19,95
Berat cawan + tanah kering (gr)	15,79	16,20
Berat air (gr)	3,54	3,75
Berat tanah kering (gr)	6,61	6,94
Kadar air (%)	53,56	54,03
Kadar air rata-rata (%)	53,79	

Dari tabel 2 di atas, diperoleh nilai kadar air rata rata sebesar 53,8%.

Hasil dari pengujian *Atterberg Limit* untuk mencari nilai Indeks Plastisitas (PI) yang diperoleh dari selisih batas cair (LL), dan Batas Plastis (PL). Dari hasil pengujian yang dilakukan maka dibuat secara grafis seperti terlihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Hasil Uji Batas Batas *Atterberg*

Dapat dilihat pada jumlah 25 ketukan didapatkan kadar air pada kurva persamaan yaitu ($y = -7,359\ln(x) + 84,211$) didapat juga nilai batas cair (LL) sebesar 60,50 %, Batas Plastis (PL) didapat sebesar 40,68%, dan indeks plastis (PI) didapat 19,82%.

Hasil pengujian berat jenis (Gs) dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

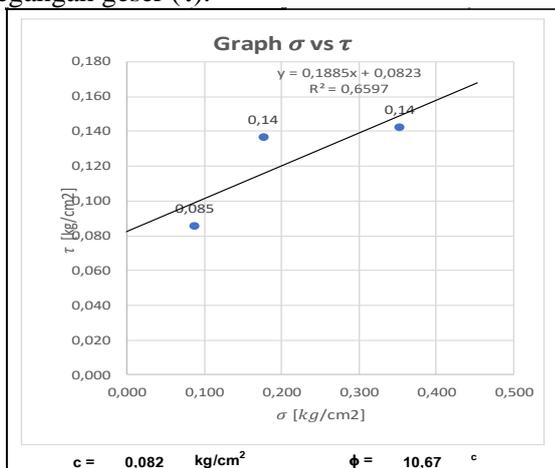
Tabel 3. Hasil Berat Jenis

Nomor Piknometer	1	2
Berat piknometer kosong (W ₁) gr	74,55	76,59
Berat piknometer + tanah kering (W ₂) gr	98,24	96,59
Berat piknometer + tanah + air (W ₃) gr	191,56	188,27
Berat piknometer + air pada T ° C (W ₄) gr	176,83	175,69
Suhu (° C)	28,00	28,00
Berat jenis (Gs)	2,62	2,67
Berat jenis (Gs) Rata-Rata	2,65	

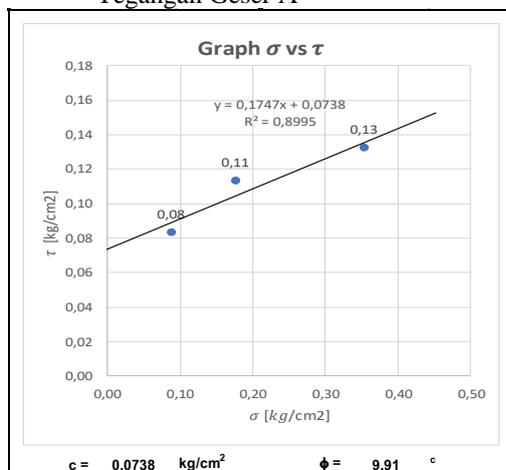
Didapat nilai berat jenis rata rata sebesar 2,65. Berdasarkan Tabel 2.3 dari berat jenis yang didapat tanah termasuk kerikil, pasir, tanah lanau anorganik dan lempung organik.

Klasifikasi Tanah menurut AASHTO tergolong kerikil dan pasir yang berlanau dengan penilaian baik sekali sampai baik dengan kategori A-2-7. Menurut klasifikasi USCS termasuk kategori SC (pasir berlempung atau campuran pasir lempung). Berdasarkan Tabel 2.4 tanah bersifat plastisitas tinggi karena indeks plastis (PI) > 17, mempunyai kadar air 1,35 % dan termasuk kerikil, pasir, tanah lanau anorganik dan lempung organik berdasarkan hasil berat jenis.

Pengujian dari uji geser langsung dilakukan pada sampel tanah tidak terganggu yang merupakan tanah dicetak dari tabung dan dibuat lubang pada bagian tengah sampel dengan diameter bervariasi yang diisi dengan pasir sebagai perkuatan kolom pasir. Hasil dari pengujian DST tersebut didapat nilai tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ).



Gambar 4. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser A



Gambar 5. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser B

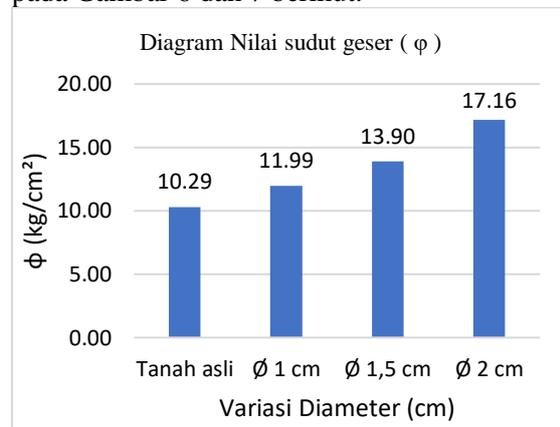
Menurut Gambar 4 dan Gambar 5 Hubungan Tegangan Normal Dan Tegangan Geser A dan B, sudut geser untuk tanah lempung asli A didapat (ϕ) = $\tan^{-1}(0,1885) = 10,67^\circ$ dan nilai kohesi tanah (c) = $0,0823 \text{ kg/cm}^2$, sudut geser untuk tanah

lempung asli B didapat (ϕ) = $\tan^{-1}(0,1747) = 9,91^\circ$ dan nilai kohesi tanah (c) = $0,0738 \text{ kg/cm}^2$.

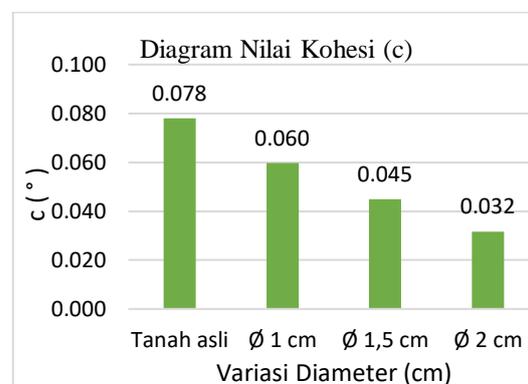
Tabel 4. Hasil Pengujian Uji Geser Langsung

Tanah Asli	A	B	Rata Rata
ϕ (°)	10,675	9,910	10,29
c (kg/cm ²)	0,082	0,074	0,078
Tanah dengan perkuatan kolom pasir			
Ø1 cm	A	B	Rata Rata
ϕ (°)	12,02	11,95	11,99
c (kg/cm ²)	0,0502	0,0691	0,060
Ø1,5 cm	A	B	Rata Rata
ϕ (°)	13,94	13,86	13,90
c (kg/cm ²)	0,0454	0,0445	0,045
Ø2 cm	A	B	Rata Rata
ϕ (°)	16,47	17,84	17,16
c (kg/cm ²)	0,0293	0,0341	0,032

Perbandingan nilai sudut geser (ϕ), nilai kohesi (c) dan kuat geser (τ) sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan kolom pasir dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7 berikut.



Gambar 6. Perbandingan Nilai Sudut Geser (ϕ) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Perkuatan Kolom Pasir



Gambar 7. Perbandingan Nilai Kohesi (c) Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Perkuatan Kolom Pasir

Pada Gambar 6 dan 7 di atas menunjukkan bahwa hasil pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan, terlihat terjadi peningkatan pada nilai sudut geser (ϕ) setelah dilakukan

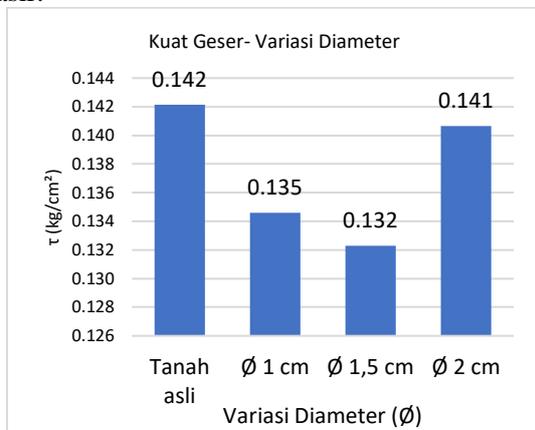
perkuatan kolom pasir, semakin besar diameter kolom pasir nilai sudut geser (ϕ) semakin meningkat, sedangkan pada nilai kohesi (c) mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa semakin besar diameter kolom pasir maka semakin kecil nilai kohesi (c).

Hasil perhitungan kuat geser tanah sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Kekuatan Geser Tanah

No.	Sampel	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	τ (kg/cm ²)
1	Tanah asli	0,078	10,29	0,142
2	Kolom Pasir Ø 1 cm	0,060	11,99	0,135
3	Kolom Pasir Ø 1,5 cm	0,045	13,90	0,132
4	Kolom Pasir Ø 2 cm	0,032	17,16	0,141

Berikut perbandingan kuat geser tanah sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan kolom pasir.



Gambar 8. Perbandingan Nilai Kuat Geser (τ) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Perkuatan Kolom Pasir

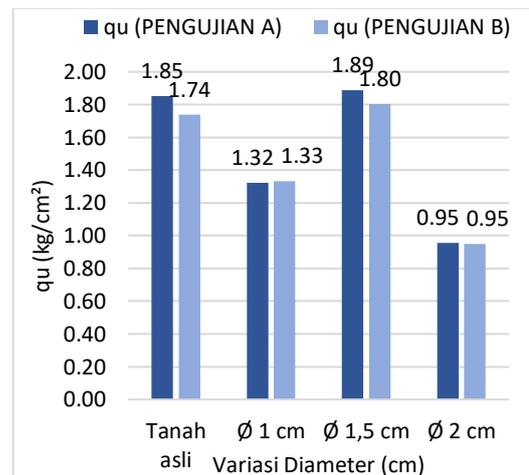
Pada Gambar 8 di atas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai sudut geser (ϕ) setelah dilakukan perkuatan kolom pasir, Nilai kuat geser tertinggi pada Ø2 cm sebesar 0,141 kg/cm².

Pengujian kuat tekan bebas tanah lempung sama halnya seperti pengujian geser langsung dimana tanah tidak terganggu yang merupakan tanah dicetak dari tabung dan dibuat lubang pada bagian tengah sampel dengan diameter bervariasi yang diisi dengan pasir sebagai perkuatan kolom pasir. Hasil dari pengujian UCT tersebut didapatkan nilai tegangan dan regangan.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

Tanah Asli	A	B
Tegangan (q_u)(kg/cm ²)	1,85	1,74
Regangan (%)	3,5	6,5
Tanah dengan perkuatan kolom pasir		
Ø1 cm	A	B
Tegangan (q_u) (kg/cm ²)	1,32	1,33
Regangan (%)	7,5	7
Ø1,5 cm	A	B
Tegangan (q_u) (kg/cm ²)	1,89	1,80
Regangan (%)	7,5	7,5
Ø2 cm	A	B
Tegangan (q_u) (kg/cm ²)	0,95	0,95
Regangan (%)	5	11

Perbandingan nilai kuat tekan bebas (q_u) dan sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan kolom pasir dapat dilihat pada Gambar 9 Berikut.



Gambar 9. Perbandingan Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u) dan Sebelum dan Sesudah Dilakukan Perkuatan Kolom Pasir

Dapat dilihat pada Gambar 9 di atas pada pengujian A menunjukkan bahwa nilai kuat tekan bebas (q_u) setelah dilakukan perkuatan kolom pasir meningkat hingga 1,89 kg/cm² pada Ø1,5 cm, melebihi pada nilai kuat tekan bebas (q_u) tanah asli yang diperoleh sebesar 1,85 kg/cm². Pada pengujian B terjadi peningkatan setelah dilakukan perkuatan kolom pasir, nilai kuat tekan bebas (q_u) terbesar pada Ø1,5 cm yaitu 1,80 kg/cm² juga melebihi nilai kuat tekan (q_u) tanah asli yaitu 1,74 kg/cm², kemudian pada pengujian A dan B nilai kuat tekan (q_u) mengalami penurunan hingga 0,95 kg/cm² pada Ø2 cm. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan kolom pasir pada Ø 1,5 cm lebih efektif dalam meningkatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) dan berdasarkan Tabel 2.5 konsistensi tanah maka tanah termasuk kelompok lempung kaku karena nilai kuat tekan bebas (q_u) berkisar antara 1-2 kg/cm².

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa dari pengujian tanah lempung Palangka Raya, tanah ini termasuk jenis kerikil, pasir, tanah lanau anorganik dan lempung organik, dilihat pada berat jenisnya yaitu 2,65. Berdasarkan klasifikasi AASHTO termasuk dalam kelompok A-2-7 kerikil dan pasir yang berlanau dengan penilaian baik sekali sampai baik, sedangkan pada klasifikasi USCS tanah ini termasuk pada kategori SC pasir berlempung atau campuran pasir lempung.

Nilai parameter tanah lempung pada pengujian kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) dan Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*) adalah berdasarkan hasil uji Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*), pada tanah asli nilai sudut geser (ϕ) sebesar $20,29^\circ$ dengan kohesi (c) sebesar $0,078 \text{ kg/cm}^2$, tanah lempung dengan kolom pasir $\emptyset 1 \text{ cm}$ nilai sudut geser (ϕ) sebesar $11,99^\circ$ dengan kohesi (c) sebesar $0,060 \text{ kg/cm}^2$, pada kolom pasir $\emptyset 1,5 \text{ cm}$ nilai sudut geser (ϕ) sebesar $13,90^\circ$ dengan kohesi (c) sebesar $0,045 \text{ kg/cm}^2$ dan pada kolom pasir $\emptyset 2 \text{ cm}$ nilai sudut geser (ϕ) sebesar $17,16^\circ$ dengan kohesi (c) sebesar $0,032 \text{ kg/cm}^2$.

Nilai parameter tanah lempung pada pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*), pada tanah asli pada pengujian A nilai kuat tekan bebas (q_u) sebesar $1,85 \text{ kg/cm}^2$ dan pada pengujian B sebesar $1,74 \text{ kg/cm}^2$, pengujian A dan B tanah lempung dengan kolom pasir $\emptyset 1 \text{ cm}$ didapatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) sebesar $1,32 \text{ kg/cm}^2$ dan $1,33 \text{ kg/cm}^2$, kolom pasir $\emptyset 1,5 \text{ cm}$ pengujian A dan B didapatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) sebesar $1,89 \text{ kg/cm}^2$ dan $1,80 \text{ kg/cm}^2$, kolom pasir $\emptyset 2 \text{ cm}$ pengujian A dan B didapatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) sama besar yaitu $0,95 \text{ kg/cm}^2$. Dengan demikian perbandingan nilai parameter tanah lempung antara lain adalah: pada hasil pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) menunjukkan bahwa sudut geser (ϕ) mengalami peningkatan sesudah dilakukan perkuatan kolom pasir dan pada nilai kohesi (c) mengalami penurunan sesudah dilakukan perkuatan kolom pasir, sehingga semakin besar \emptyset kolom pasir nilai sudut geser (ϕ) semakin meningkat, sedangkan pada nilai kohesi (c), semakin besar \emptyset kolom pasir maka semakin kecil nilai kohesi (c) yang diperoleh. Nilai kuat geser tertinggi pada $\emptyset 2 \text{ cm}$ sebesar $0,141 \text{ kg/cm}^2$ mendekati nilai kuat geser tanah asli yaitu $0,142 \text{ kg/cm}^2$ dan kuat geser terendah pada $\emptyset 1,5 \text{ cm}$ sebesar $0,132 \text{ kg/cm}^2$. Dengan demikian, pada hasil pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined*

Compression Test) dari pengujian A dan B nilai kuat tekan bebas (q_u) mengalami penurunan pada $\emptyset 1 \text{ cm}$, lalu meningkat pada $\emptyset 1,5 \text{ cm}$, sedangkan pada $\emptyset 2 \text{ cm}$ kembali mengalami penurunan. Nilai kuat tekan bebas (q_u) $\emptyset 1,5 \text{ cm}$ pada pengujian A sebesar $1,89 \text{ kg/cm}^2$ melebihi nilai kuat tekan bebas (q_u) tanah asli sebesar $1,85 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan pada pengujian B nilai kuat tekan bebas (q_u) sebesar $1,80 \text{ kg/cm}^2$ juga melebihi nilai kuat tekan bebas (q_u) dari tanah asli yaitu $1,74 \text{ kg/cm}^2$. Nilai kuat tekan bebas (q_u) terendah pada $\emptyset 2 \text{ cm}$ sebesar $0,95 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan kolom pasir pada $\emptyset 1,5 \text{ cm}$ lebih efektif dalam meningkatkan kuat tekan bebas (q_u).

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah pada penelitian selanjutnya agar data yang diinginkan lebih baik lagi, sebaiknya dilakukan penelitian yang lebih mendalam tentang kolom pasir dengan menambah parameter yang digunakan sehingga berkembang ide-ide terbaru tentang perkuatan kolom pasir maupun perkuatan kolom tanpa pasir baik diganti dengan material lainnya seperti limbah agar menjadi bermanfaat dan bisa gunakan tanah selain tanah lempung, daerah-daerah dimana tanah yang perlu diperhatikan kondisinya agar penanganan tepat sasaran dan membantu dalam pembangunan mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. (2021, November). Study of Physical and Mechanical Soil Parameters as In-Situ Embankment Materials on Double Track Rail Road Construction Project Between Batu Tulis–Ciomas Station, Bogor. In *Seminar Nasional Ketekniksipilan, Infrastruktur dan Industri Jasa Konstruksi (KIIJK)* (Vol. 1, No. 1, pp. 73-77).
- Darwis, D. (2018). *Dasar-dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
https://www.researchgate.net/profile/Darwis-Panguriseng/publication/323616697_dasar_dasar_mekanika_tanah/links/5aa0623c45851543e6375d6b/dasar-dasar-mekanika-tanah.pdf
- Harwadi, F., & Novianto, D. (2021). Perkuatan Tanah Lempung dengan Kolom Pasir terhadap Penurunan pada Uji Laboratorium dengan Menggunakan Program Plaxis. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 1(2), 16-27.
- Listyawan, A. B., Wiqoyah, Q., Ningsih, R., & Satriyana, M. W. S. R. W. (2015). Pengaruh Kolom Pasir terhadap Konsolidasi Tanah Lempung Lunak. *Eco Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 23-27.

- Purba, W. K., Gandi, S., & Yani, M. I. (2021). Pengaruh Kolom Pasir terhadap Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(1), 87-97.
DOI: <https://doi.org/10.31602/jk.v4i1.5121>
- Rosyandi, A. M. (2022). Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung dengan Bahan Tambah Limbah Karbit dan Semen Portland terhadap Nilai Kuat Geser Tanah. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/39977>
- Sir, T. M., Lay, R. R., & Bunganaen, W. (2019). Stabilisasi Tanah Lempung Desa Niukbaun Menggunakan Campuran Tanah Kapur dan Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 179-192.
<https://doi.org/10.35508/jts.8.2.179-192>
- Sutikno, R., & Yumantoko, D. H. (2005). Studi Eksperimental: Perubahan Load-Displacement Akibat Penggunaan Kolom Pasir di Tanah Lempung untuk Perbaikan Daya Dukung Tanah.
- Taqwa, F. M. L., Chayati, N., Alimuddin, A., & Salman, N. (2019). Pemeriksaan Hasil Pelaksanaan Pemasangan Timbunan Tanah di Lokasi Pembangunan Jalan Akses Gardu Induk PLN Kasus Pembangunan Gardu Induk PLN Pd. Indah II Kec. Ciputat Timur, Kota Tangerang Selatan. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, 3(2), 53-57.
<https://doi.org/10.32832/komposit.v3i2.3280>
- Taqwa, F. M. L., Hutabarat, L. E., Ilyas, T., & Prakoso, W. A. (2019, November). Estimation of Settlement Induced Land Subsidence of Marine Clay on Kamal Muara Area, Northern Jakarta, Based on the Change of Pore Water Pressure. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1376, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.