

PENGARUH CAMPURAN PASIR PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP KUAT GESER LANGSUNG

Yongki Hendrawan

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: yongkihndrwn@gmail.com

M. Ikhwan Yani

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: m.Ikhwanyani@eng.upr.ac.id

Fatma Sarie

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: fatmasarie@jts.upr.ac.id

Abstract: Based on soil observations in Tumbang Rungan Village, Pahandut District, Palangka Raya City, it is dominated by clay soil, causing the roads in the village to crack and damage. So, it is necessary to mix to determine the bearing capacity of the soil. The purpose of this study was to determine the effect of a mixture of sand on clay soil on direct shear strength. This research was conducted in May 2021 and lasted for 2 months. Data processing was carried out in the laboratory to test the physical and mechanical properties of the soil with 10%, 15%, 20% sand mixture respectively. The results of laboratory tests showed that the USCS soil classification system included fine-grained passing sieve No. 200 = 60,98% with a Plastic Limit (PL) value = 25,74%, Plastic Index (PI) = 15,46%, so the soil was included in the CL group (low plasticity clay). The AASHTO soil classification system includes the classification of silt-clay that passes the sieve No. 200 = 60,98%, Liquid Limit (LL) = 41,20% and Plastic Index (PI) = 15,46%, so the soil is included in sub group A-7- 5 (8). The addition of sand mixing proved to increase the stability of the clay from the direct shear strength test with an increase in cohesion (c), namely 10% sand $c = 0,144 \text{ kg/cm}^2$ and $0,543 \text{ kg/cm}^2$, 15% sand $c = 0,168 \text{ kg/cm}^2$ and $0,548 \text{ kg/cm}^2$, 20% sand $c = 0,172 \text{ kg/cm}^2$ and $0,615 \text{ kg/cm}^2$. These results prove that sand can increase the shear strength of clay. Soil shear strength increased $0,005 - 0,067 \text{ kg/cm}^2$ at 10%, 15%, 20% sand mixing.

Keywords: clay, direct shear strength, sand

Abstrak: Berdasarkan pengamatan tanah di Desa Tumbang Rungan, Kecamatan Pahandut, Kota Palangka Raya didominasi oleh tanah lempung, sehingga menyebabkan jalan di desa tersebut mengalami keretakan dan kerusakan. Maka perlu dilakukan pencampuran untuk mengetahui daya dukung tanah. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh campuran pasir pada tanah lempung terhadap kuat geser langsung. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei tahun 2021 berlangsung selama 2 bulan. Pengolahan data dilakukan di laboratorium untuk menguji sifat fisik dan mekanik tanah dengan masing-masing persentase campuran 10%, 15%, 20% pasir. Hasil uji laboratorium didapatkan sistem klasifikasi USCS tanah termasuk berbutir halus lolos saringan No.200 = 60,98% dengan nilai Plastis Limit (PL) = 25,74%, Plastis Indeks (PI) =15,46% maka tanah termasuk kelompok CL (*lempung plastisitas rendah*). Sistem klasifikasi AASHTO tanah termasuk klasifikasi lanau-lempung lolos saringan No.200 = 60,98%, Liquid Limit (LL) = 41,20% dan Plastis Indeks (PI) = 15,46% maka tanah termasuk sub grup A-7-5 (8). Penambahan pencampuran pasir membuktikan peningkatan kestabilan tanah lempung dari uji kuat geser langsung dengan peningkatan kohesi (c) yaitu 10% pasir $c = 0,144 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,543 \text{ kg/cm}^2$, 15% pasir $c = 0,168 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,548 \text{ kg/cm}^2$, 20% pasir $c = 0,172 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,615 \text{ kg/cm}^2$. Hasil tersebut membuktikan bahwa pasir dapat meningkatkan kekuatan geser tanah lempung. Kuat geser tanah meningkat $0,005 - 0,067 \text{ kg/cm}^2$ pada pencampuran pasir 10%, 15%, 20%.

Kata kunci: : kuat geser langsung, pasir, tanah lempung

PENDAHULUAN

Dalam perencanaan dan pekerjaan suatu konstruksi bangunan sipil tanah mempunyai peranan yang sangat penting. Dalam hal ini, tanah berfungsi sebagai penahan beban akibat konstruksi di atas tanah yang harus bisa memikul seluruh beban bangunan dan beban lainnya yang turut diperhitungkan. Berdasarkan ukuran partikel yang paling dominan tanah pada umumnya dapat dibagi menjadi empat kelas yaitu kerikil, pasir, lanau, dan lempung (Das, 1993).

Tanah lempung banyak terdapat di Kalimantan Tengah salah satunya di Desa Tumbang Rungan, Kecamatan Pahandut, Kota Palangka Raya. Tanah lempung yang berada di Desa Tumbang Rungan diketahui memiliki daya dukung tanah yang rendah Saputra, dkk. (2016). Karena daya dukung yang rendah dari tanah lempung menyebabkan beberapa keretakan pada Jalan di Desa Tumbang Rungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik tanah lempung, dan mengetahui sifat mekanik kuat geser langsung terhadap pengaruh campuran pasir pada tanah lempung. Menurut Albertus, dkk. (2015), tanah lempung pada kondisi basah mempunyai kandungan air yang besar, volume yang lebih besar karena tanah mengalami pengembangan, dan tanah menjadi lunak, sehingga dalam kondisi ini tanah lempung mempunyai kemampuan yang sangat rendah untuk mendukung beban. Sehingga perlu dilakukan pencampuran tanah lempung dengan pasir untuk melihat pengaruh peningkatan kuat geser tanah lempung.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah lempung

Tanah lempung adalah tanah yang berukuran mikro kronis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi dari penyusun batuan. Menurut Terzaghi, K dan R.B. Peck. (1987), tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering sehingga tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan, bersifat plastis pada kadar air sedang, sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Sifat - sifat yang dimiliki tanah

lempung (Hardiyatmo, 1999) adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Bersifat sangat kohesif
5. Proses konsolidasi lambat

Susunan tanah lempung terdiri dari silika tetrahedral dan aluminium oktahedra. Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai substitusi isomorf. Kombinasi susunan dari kesatuan dalam bentuk susunan lempeng. Berbagai macam lempung terbentuk oleh kombinasi tumpukan dari susunan lempeng dasarnya dengan bentuk yang berbeda - beda (Hardiyatmo, 2002).

Pelapukan akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran < 1 μm dan ukuran 2 μm merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung Grim, R.E. (1953). Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung. Di antaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *palygorskite*. Terdapat pula kelompok yang lain, misalnya: *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butir-butiran seperti lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Diantaranya penjelasan simbol huruf klasifikasi USCS:

ML (*Slit low plasticity*): Lanau dengan Plastisitas Rendah.

CL (*Clay low plasticity*): Lempung dengan Plastisitas Rendah.

OL (*Organik low plasticity*): Tanah Organik dengan Plastisitas Rendah (Tedjo, Y. 2015).

Penjelasan rumus klasifikasi AASHTO:

Kelompok group index GI, dengan persamaan:

$$GI = (F-35) \times (0,2+0,005(LL-40) + 0,01(F15) - (PI-10)) \quad (1)$$

dengan GI = indeks kelompok/group index, F = persen butiran lolos saringan No.200 (0,0075) mm, LL = batas cair PI = indeks plastisitas. Bila indeks kelompok GI semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaannya (Tedjo, Y. 2015).

Stabilisasi tanah

Beberapa tujuan dari stabilisasi tanah yaitu menambah kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi dan atau tahanan geser yang timbul, menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan sifat fisis dari material tanah, menurunkan muka air (drainase tanah) serta mengurangi permeabilitas (Soedarmo, 1997).

Pasir

Pasir adalah salah satu jenis bahan bangunan paling penting yang harus ada dalam setiap proses pembangunan. Pasir terbuat dari kandungan *silicon* dioksida serta berasal dari batuan kapur. Adapun sifat-sifat yang dimiliki tanah pasir adalah sebagai berikut (Das, 1995):

1. Ukuran butiran antara 2 mm-0,075 mm.
2. Bersifat non kohesif.
3. Kenaikan air kapiler yang rendah, antara 0,12-1,2 m.
4. Memiliki nilai koefisien permeabilitas antara 1,0-0,001 cm/det.
5. Proses penurunan sedang sampai cepat.

Pasir yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis pasir pasang, dengan jenis lebih halus dan ciri-cirinya apabila dikepal akan menggumpal dan tidak akan kembali ke semula.

Kuat geser langsung

Kekuatan geser (*shear strength*) tanah merupakan gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas massa tanah untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam massa tanah tersebut (Albertus dkk, 2015).

Cara pengujian geser langsung ini terdapat dua cara yaitu, tegangan geser terkendali (*stress controlled*) dan regangan terkendali (*strain controlled*). Pada pengujian tegangan terkendali, tegangan geser diberikan dengan menambahkan

beban mati secara bertahap dan dengan penambahan yang sama besarnya setiap kali sampai runtuh. Keruntuhan akan terjadi sepanjang bidang bagi kotak besi tersebut. Pada uji regangan terkendali, suatu kecepatan gerak mendatar tertentu dilakukan pada bagian belahan atas dari pergerakan geser horisontal tersebut dapat diukur dengan bantuan sebuah arloji ukur horizontal.

Menurut Head, K. H. (1982), kekuatan geser tanah (*soil shear strength*) adalah kemampuan maksimum tanah untuk bertahan terhadap usaha perubahan bentuk pada kondisi tekanan (*pressure*) dan kelembaban tertentu. Kekuatan geser dapat diukur di lapangan maupun di laboratorium. Pengukuran di lapangan antara lain dapat dilakukan menggunakan vane shear, plate load dan tes penetrasi. Pengukuran di laboratorium meliputi penggunaan miniatur *vane shear*, *direct shear*, *triaxial compression*, *unconfined compression* dan *fall-cone soil shear strength* (Sallberg, J. R. 1965).

METODE PENELITIAN

Sampel tanah lempung diperoleh dari Desa Tumbang Rungan, Kecamatan Pahandut, Kota Palangka Raya. Pengambilan sampel dilakukan pada 05 Mei 2021 pukul 14.23 WIB. Penelitian dilaksanakan pada 06 Mei 2021 di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen untuk mengetahui pengaruh campuran pasir pasang pada tanah lempung.

Untuk contoh tanah asli (*Undisturbed sample*) diambil dari kedalaman kira-kira 50 cm di bawah permukaan tanah guna menghilangkan sisa-sisa kotoran tanah. Contoh tanah asli dapat diambil dengan memakai tabung contoh (*samples tubes*). Tabung contoh ini dimasukkan ke dalam dasar lubang bor. Tabung-tabung contoh yang biasanya dipakai memiliki diameter 6 sampai dengan 7 cm. Sedangkan untuk pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi pengujian kadar air, pengujian berat volume, pengujian berat jenis, pengujian batas *Atterberg*, pengujian analisa saringan, pengujian hidrometer, pengujian kuat geser langsung.

Pengujian kadar air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air suatu sampel tanah, yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butir kering tanah tersebut. Pengujian berdasarkan ASTM D 2216-19.

Pengujian berat volume

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume tanah basah dalam keadaan asli (*undisturbed sample*), yaitu perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah. Pengujian berdasarkan ASTM D 2049.

Pengujian berat jenis

Selain mencari kadar air dalam tanah, parameter lain yang perlu dicari pada tanah adalah berat jenis butiran tanah (*G_s*). Berat jenis adalah perbandingan berat volume tanah dengan berat volume air. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D 654-92.

Pengujian batas *atterberg*

Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*) bertujuan untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada batas antara keadaan plastis dan keadaan cair. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-17e1.

Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*) bertujuan untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada keadaan batas antara keadaan plastis dan keadaan semi padat. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-17e1.

Pengujian analisa saringan

Pengujian analisis saringan hydrometer bertujuan untuk menentukan pembagian ukuran butiran dari tanah yang lolos saringan No.200, pengujian berdasarkan ASTM D 422.

Pengujian hidrometer

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah untuk tanah yang tidak mengandung butir tertahan saringan No.200.

Pemeriksaan sifat mekanik tanah

Pemeriksaan sifat mekanik tanah dapat dilakukan dengan cara pemeriksaan kuat geser langsung (*direct shear*) pada tiap persentase pencampuran 0%, 10%, 15%, 20%.

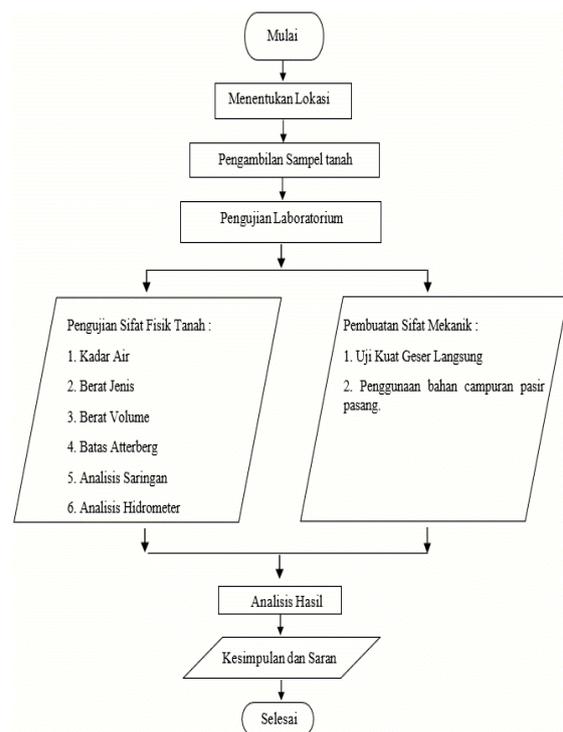
Pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*)

Pengujian geser langsung dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter Kohesi (*c*) dan kuat geser langsung. Pengujian ini akan dilakukan dengan sampel tanah tanpa campuran, kemudian sampel tanah diberi campuran pasir pasang dengan persentase campuran 0%, 10%, 15%, 20% pengujian berdasarkan ASTM D 3080.

Analisis data

Berdasarkan data hasil penelitian yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium kemudian dilakukan analisa untuk masing-masing pengujian sehingga didapatkan sifat fisik tanah lempung dan pengujian mekanik tanah untuk tiap sampel tanah dengan campuran pasir pasang.

Bagan alir



Gambar 1. Bagan alir penyusunan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah

Hasil pengujian sifat fisik pada tanah asli yaitu meliputi kadar air, berat volume/isi, berat jenis, analisa saringan analisis hidrometer dan batas-batas *atterberg*. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan sifat fisik tanah pada jenis tanah lempung

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Hasil Penelitian
1	Kadar Air (w)	%	48,60
2	Berat Volume		
	- Berat Volume/isi Tanah Kering (γ_d)	g/cm ³	1,197
	- Angka Pori (e)		1,23
	- Derajat Kejenuhan (S)	%	$S = \frac{V_w}{V_v} = 100$
	- Porositas (n)		0,55
3	Berat Jenis (Gs)		2,51
4	Analisis Saringan		
	- Berat tertahan di saringan No.12	%	0,73
	- Lolos saringan No.12	%	99,29
	- Berat tertahan di saringan No.16	%	2,61
	- Lolos saringan No.16	%	97,39
	- Berat tertahan di saringan No.20	%	4,35
	- Lolos saringan No.20	%	95,65
	- Berat tertahan di saringan No.30	%	7,71
	- Lolos saringan No.30	%	92,29
	- Berat tertahan di saringan No.40	%	11,95
	- Lolos saringan No.40	%	88,05
	- Berat tertahan di saringan No.50	%	17,51
	- Lolos saringan No.50	%	82,49
	- Berat tertahan di saringan No.60	%	22,45
	- Lolos saringan No.60	%	77,55
	- Berat tertahan di saringan No.100	%	28,79
	- Lolos saringan No.100	%	71,03

Tabel 1. Lanjutan

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Hasil Penelitian
	- Berat tertahan di saringan No.200	%	39,02
	- Lolos saringan No.200	%	60,98
5	Analisis Batas - Batas Atterberg		
	- Batas Cair (LL)	%	41,20
	- Batas Plastis (PL)	%	25,74
	- Batas Susut (SL)	%	19,73
	- Indeks Plastisitas (IP)	%	15,46
6	Analisis Hidrometer		
	Waktu (T) (menit)	Diameter butir (mm)	N (%)
	¼	0,087	57,38
	½	0,062	55,79
	1	0,044	54,19
	2	0,031	52,60
	5	0,020	47,82
	15	0,012	41,44
	30	0,009	35,07
	60	0,006	28,69
	120	0,005	20,72
	1440	0,001	11,16

Sumber: Hasil pengujian laboratorium, (2021)

Klasifikasi tanah

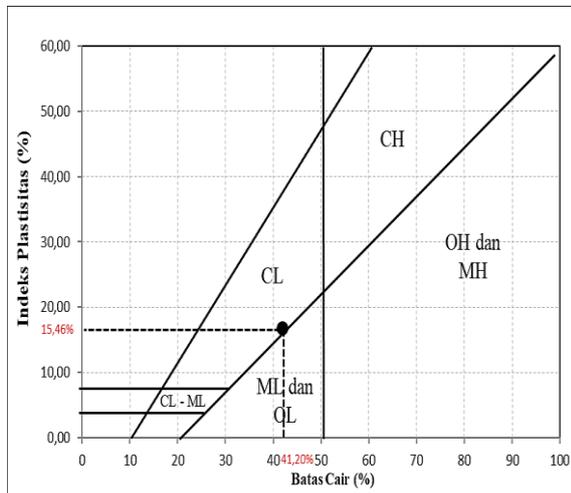
Tujuan untuk mengelompokkan tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisik tertentu. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan satu kondisi fisik tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan pada kondisi-kondisi fisik lainnya. Oleh karena itu, sejumlah sistem klasifikasi telah dikembangkan sesuai dengan maksud yang diinginkan oleh sistem itu. Sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Sistem Klasifikasi USCS dan Klasifikasi AASHTO.

1. Sistem klasifikasi USCS

Klasifikasi tanah berdasarkan sistem *unified* mengikuti prosedur sebagai berikut:

- Klasifikasi tanah untuk tanah asli

- 1) Dari hasil pemeriksaan analisis saringan, persentase material lolos saringan No.200 (0,075 mm) adalah 60,98% > 50% maka tanah tersebut termasuk tanah berbutir halus.
- 2) Dari hasil pemeriksaan batas-batas *atterberg*, didapat nilai batas cair (LL) rata-rata = 41,20% < 50% dan Indeks Plastisitas = 15,46% maka tanah tersebut termasuk kelompok CL.
- 3) Secara visual, tanah berwarna kuning kecoklatan.
- 4) Dari grafik batas cair (LL) dan Indeks plastisitas (PI) (Gambar 2) diperoleh LL dan PL yang di plot titik berada di garis A maka tanah tersebut termasuk kelompok CL.



Gambar 2. Grafik hubungan batas cair dan indeks plastisitas

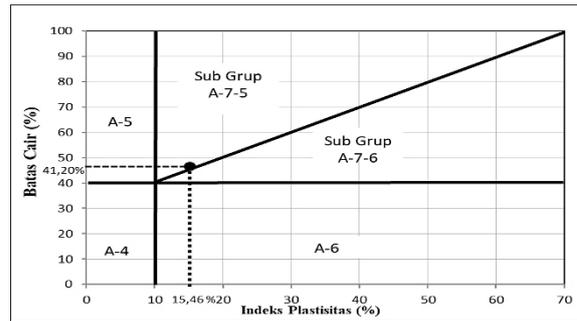
2. Sistem klasifikasi AASHTO

Klasifikasi tanah sistem AASHTO mengikuti prosedur sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 GI &= (F-35) (0,2+0,005(LL-40) + 0,01(F-15) \\
 &\quad (IP-10)) \\
 &= (60,98-35) (0,2+0,005(41,20-40) \\
 &\quad +0,01(60,98-15) (15,46-10)) \\
 &= (25,98) (0,2+0,005(1,2) + 0,01(45,98) \\
 &\quad (5,46)) \\
 &= 8 \%
 \end{aligned}$$

a. Klasifikasi tanah asli

Dari hasil pemeriksaan analisis saringan, persentase material lolos saringan No.200 (0,0075 mm) adalah 60,98% > 36%.



Gambar 3. Grafik hubungan batas cair dan indeks plastisitas

Pemeriksaan batas-batas *atterberg* didapat nilai batas cair (LL) rata-rata adalah 41,20%, indeks plastisitas (PI) rata-rata adalah 15,46% (Gambar 3) dan GI sebesar 8% maka tanah berlempung dengan kondisi sedang sampai buruk dan termasuk dalam klasifikasi kelompok A-7-5 (8).

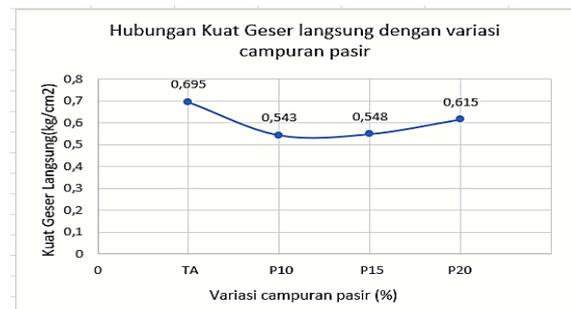
Hasil pengujian sifat mekanik tanah

Kuat geser langsung

Uji kuat geser langsung (*Direct Shear Test*) merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk mengetahui dan mengukur seberapa kuat tanah menerima gaya geser. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (C).

Tabel 2. Pengujian kuat geser langsung

Variasi Campuran	Kuat Geser Langsung (kg/cm ²)	Kohesi (kg/cm ²)
Tanah Asli	0,695	0,132
T. Asli + pasir 10 %	0,543	0,144
T. Asli + pasir 15 %	0,548	0,168
T. Asli + pasir 20 %	0,615	0,172



Gambar 4. Menunjukkan pengaruh kuat geser langsung yang dicampur dengan pasir

Pada Gambar 4 diatas dapat dilihat pengaruh kuat geser langsung yang diberi campuran pasir, terjadi peningkatan di campuran 10%-15% campuran pasir mengalami peningkatan 0,005 kg/cm² dan dari 15%-20% campuran pasir mengalami peningkatan 0,067 kg/cm².

PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah:

1. Data sifat fisik didapatkan. Kadar air = 48,60%, Berat Volume = 1,197 g/cm³, angka pori = 1,23, Derajat kejenuhan = 100%, Porositas = 0,55, Berat jenis = 2,51. Persentase lolos saringan No.200 = 60,98%, batas cair (LL) = 41,20%, Batas plastis (PL) = 25,74%, Batas susut (SL) = 19,73% dan Indeks plastisitas (PI) = 15,46%, analisis hidrometer 1440 menit = 11,16%. Tanah termasuk kelompok CL (*Lempung plastisitas rendah*).
2. Penambahan pencampuran pasir membuktikan peningkatan kestabilan tanah lempung dari uji kuat geser langsung dengan peningkatan kohesi (c) yaitu 10% pasir c = 0,144 kg/cm² dan 0,543 kg/cm², 15% pasir c = 0,168 kg/cm² dan 0,548 kg/cm², 20% pasir = 0,172 kg/cm² dan 0,615 kg/cm². Hasil tersebut membuktikan bahwa pasir dapat meningkatkan kekuatan tanah. Nilai kuat geser tanah meningkat 0,005-0,067 kg/cm² pada pencampuran pasir 10%, 15%, dan 20% pada tanah lempung.

Saran

Saran penelitian ini adalah:

1. Setelah pengambilan sampel di lokasi, segera dilakukan pemodelan nya karena semakin lama maka kadar air semakin berkurang.
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai daya dukung tanah yang distabilisasi dengan bahan campuran yang sama, sehingga diketahui seberapa besar kuat dukung tanah akibat pengaruh penambahan pasir pasang ke dalam campuran tanah.
3. Untuk penelitian selanjutnya dengan penambahan persentase campuran pasir yang berbeda seperti pasir *zircon*, atau pasir *zeolite*.

DAFTAR PUSTAKA

- Albertus, WP, Iswan, Japri, M. (2015). *Korelasi Kuat Tekan dengan Kuat Geser Pada Tanah Lempung yang Didistribusi dengan Campuran Pasir*. JRSDD, Edisi Maret 2015, Vol. 3, No. 1, Hal:157-170
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) (1969), D 2049. Amerika: ASTM International.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) (1994), D 654-92. Amerika: ASTM International.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) (2007), D 422. Amerika: ASTM International.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) (2016), D 2166. Amerika: ASTM International.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) (2017), D 4318-17e1. Amerika: ASTM International.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) (2019), D 2216-19. Amerika: ASTM International.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) (2020), D 3080. Amerika: ASTM International.
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah, (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis). Jilid 1*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Grim, R.E. (1953). *Clay mineralogy*. Mc Graw Hill Book Company Inc. New York.
- Hardiyatmo, H.C. (1999). *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah II*. Penerbit Gadjah Mada University Press.
- Head, K. H. (1982). *Manual of soil laboratory testing*. Vol. 2: 509-562. John Willey and Sons, New York.
- Sallberg, J. R. (1965). *Shear Strength. In Methods of Soil Analysis, Eds. C.A. Black, D.*
- Saputra, NA, Rida, R, Evi, MA. (2016). *Stabilisasi Tanah Lempung Desa Tumbang Rungan dengan Road Booster Untuk Perkerasan Jalan. Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palangka Raya*. Vol. 5, No. 2, Hal: 117 – 122
- Soedarmo G. D. Purnomo, S.J.E. (1997). *Mekanika Tanah 1 dan Mekanika Tanah 2*. Penerbit Kanisius.
- Tedjo, Y. (2015). *Mekanika Tanah Modul 3 Klasifikasi Dari Sifat Tanah*. Universitas Pembangunan Jaya, Tangerang Selatan.
- Terzaghi, K dan R.B. Peck, (1987). *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 1*. Penerbit Erlangga, Jakarta.