

Perkuatan Tanah Lempung Dengan Kolom Pasir Terhadap Penurunan Pada Uji Laboratorium Dengan Menggunakan Program Plaxis

Fuad Harwadi^{1,a)}, Hasrullah^{2,b)}, Pebriansyah^{3,c)} Dandung Novianto^{4,d)}

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Sipil, FT UBT Universitas Borneo Tarakan

⁴⁾Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

Koresponden : ^{a)} fuadharwadi@gmail.com, ^{b)} hasrullah_ray@gmail.com, ^{c)} pebriansyah@gmail.com & ^{d)} dandung.novianto@polinema.ac.id

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah lempung pada lokasi penelitian, mengetahui besarnya kapasitas kolom pasir yang terjadi pada tanah lempung, serta untuk mengetahui perbandingan penurunan tanah lempung yang terjadi apabila diberikan perkuatan dengan kolom pasir dan yang tidak diberikan perkuatan, dengan melakukan beberapa pengujian yaitu membandingkan hasil analisis laboratorium dengan hasil analisis program plaxis 2D. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode ASTM (American Society for Testing and Materials). Metode eksperimental pengembangan pengujian dilakukan dalam menguji rancangan model perkuatan dalam bak silinder (drum besi) uji dengan ukuran diameter 60 cm dan tinggi 50 cm. Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan, pola penurunan tanah yang terjadi dengan menggunakan perkuatan kolom pasir sangat berpengaruh dalam mereduksi penurunan tanah. Dari hasil analisis laboratorium dan analisis program plaxis 2D, perkuatan kolom pasir sebagai perkuatan pada tanah dasar dengan penggunaan variasi ukuran plat bearing hasilnya tidak jauh berbeda pada akhir pembebanan.

Kata Kunci : Kolom pasir, penurunan, tanah lempung

PENDAHULUAN

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (loose), yang terletak di atas batuan dasar (bedrock). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia.

Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat

pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk di antaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada ditempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (residual soil) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (transported soil). (Hardiyatmo, 2002).

Tanah lempung memiliki sifat yang khas yaitu dalam keadaan basah akan bersifat lunak serta plastis dan kohesif,

mengalami peristiwa pengembangan dan penyusutan yang cepat sehingga menghasilkan perubahan volume yang besar akibat pengaruh adanya air yang bercampur. Sifat tersebut dapat membahayakan suatu konstruksi.

Pasir merupakan bahan material yang mudah ditemukan pada setiap tempat dan harganya pun relatif murah. Pasir memiliki sifat yang menguntungkan pada bidang teknik sipil terutama pada pondasi suatu bangunan, dalam hal ini pasir mengimbangi salah satu sifat tanah lempung yaitu mudah mengalami penurunan (*settlement*). Pasir juga memiliki sifat yang kuat terhadap tekanan sehingga diperkirakan mampu memikul seluruh beban bangunan dan beban lainnya.

Dengan demikian diperlukan perbaikan tanah sebelum membangun sebuah konstruksi di atasnya oleh karena itu menjadi ide untuk menggunakan pasir sebagai material kolom pasir dalam rangka perbaikan perkuatan tanah. Kolom pasir perkuatan tanah adalah hal yang menarik untuk diselidiki melihat dari segi karakteristik mekanisnya pasir memiliki kuat tekan yang cukup baik. Hal ini didukung oleh pendapat Noor Dhani (2013) bahwa kolom pasir adalah salah satu metode perkuatan tanah lunak. Permodelan pasir sebagai granular kolom perkuatan tanah dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana pasir mereduksi penurunan (*settlement*) yang terjadi pada tanah akibat gaya aksial (*loading test*).

Kemal (2013), sebelumnya pernah melakukan penelitian dengan judul “Studi Perilaku Penurunan Tanah Kelempungan Dengan Perkuatan Kolom Pasir”. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa adanya Granular Column dan memperbesar model pondasi pada tanah mampu mereduksi *settlement* pada tanah ketika dibebani.

Listyawan, dkk (2015), sebelumnya pernah melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Kolom Pasir Terhadap Konsolidasi Tanah Lempung Lunak”.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai maksimum C_v terjadi pada sampel tanah dengan stabilisasi kolom pasir dengan jarak pengambilan sampel 16,67 cm dari kolom pasir. Nilai C_c terendah terjadi pada sampel tanah dengan menggunakan stabilitas kolom pasir pada jarak pengambilan sampel 16,67 cm dari kolom pasir sebesar. Penurunan konsolidasi (S_c) mengalami penurunan terbesar dengan adanya kolom pasir pada jarak pengambilan sampel 16,67 cm dari kolom.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Metode eksperimental pengembangan pengujian dilakukan dalam menguji rancangan model perkuatan dalam bak silinder (*drum besi*) uji dengan ukuran diameter 60 cm dan tinggi 50 cm. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah lempung pada lokasi penelitian, mengetahui besarnya kapasitas kolom pasir yang terjadi pada tanah lempung, serta untuk mengetahui perbandingan penurunan tanah lempung yang terjadi apabila diberikan perkuatan dengan kolom pasir dan yang tidak diberikan perkuatan.

METODE PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan dan Laboratorium Mekanika Tanah Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 2 Tarakan. Sampel uji berasal dari tanah lempung yang berlokasi di Jalan Gunung Philip Kampung Enam Kota Tarakan dan tanah pasir yang digunakan dalam penelitian ini merupakan pasir lokal yang berlokasi di daerah Juata Laut.



Gambar 1. Citra Satelit Lokasi Penelitian Kota Tarakan

2. Pengumpulan Data dan Survey Lapangan.

Pengumpulan data dilakukan dengan mempelajari buku, jurnal, tesis terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang mendukung penelitian ini, yang nantinya akan digunakan sebagai acuan ataupun referensi. Dalam tahapan pengumpulan data ini meliputi studi pendahuluan, konsultasi dengan beberapa narasumber, pembimbing. Data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder.

2.1. Data Primer.

Adapun data primer meliputi, data parameter sifat-sifat fisis seperti analisa saringan, batas-batas atterberg, berat jenis, berat volume, kadar air dan data sifat mekanis yang berupa, geser langsung, kompaksi dan kuat tekan bebas (UCT).

2.2. Data Sekunder.

Data sekunder merupakan data pendukung data primer yang diperlukan dalam penelitian yaitu angka kalibrasi alat penguji serta peta lokasi pengambilan tanah dan lain sebagainya.

2.3. Survey Lapangan.

Survei lapangan dilakukan untuk melihat gambaran kondisi lokasi pengambilan sampel mengenai sesuatu hal yang ingin diketahui dengan tujuan mengambil data dan untuk melihat kondisi nyata di lapangan.

3. Tahapan Penelitian.

1. Melakukan survei lokasi penelitian, tanah lempung yang berlokasi di Jalan Gunung Philip Kampung Enam Kota Tarakan dan tanah pasir yang digunakan dalam penelitian ini merupakan pasir lokal yang berlokasi di daerah Juata Laut.
2. Pengambilan sampel tanah Tanah yang digunakan pada penelitian ini ada 2 jenis yaitu:
 - a. Sampel tanah terganggu
 - b. Sampel tanah tak terganggu
3. Pemeriksaan sifat fisik tanah lempung dan pasir dengan melakukan pengujian antara lain analisa saringan, batas-batas atterberg, berat jenis, berat volume, dan kadar air.
 - a. Analisa saringan

Tanah lempung menggunakan ukuran saringan, no. 200, no. 100, no. 60, no. 40, no. 20, no. 8, dan no. 4. Pasir menggunakan ukuran saringan, no. 200, no. 100, no. 50, no. 30, no.16, no. 8, dan no. 4.
 - b. Batas-batas atterberg

Pengujian batas-batas atterberg hanya dilakukan pada tanah lempung karena memiliki sifat plastis, pengujian yang dilakukan adalah:

 - Batas cair (LL), untuk mendapatkan nilai kadar air suatu jenis tanah pada batas antara keadaan plastis dan keadaan cair.
 - Batas plastis (PL), untuk mendapatkan kadar air terendah dimana tanah mulai bersifat plastis.
 - Indeks plastis (PI), untuk mendapatkan selisih nilai antara batas cair dan batas plastis.
 - c. Berat jenis (Gs)

Pengujian berat jenis bertujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis suatu tanah, berat jenis tanah adalah nilai

- perbandingan berat butiran.
- d. Berat volume

Pengujian berat volume bertujuan untuk mendapatkan nilai berat isi suatu tanah yang merupakan perbandingan antara berat tanah dengan volumenya.
 - e. Kadar air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang terdapat pada suatu tanah.
4. Hasil pengujian dilakukan perbandingan apakah tanah lempung dan tanah pasir telah memenuhi persyaratan, apabila belum memenuhi akan dilakukan pengambilan sampel baru dan dilakukan pengujian ulang.
 5. Pemeriksaan sifat mekanis tanah lempung dengan melakukan pengujian antara lain geser langsung, kompaksi, dan kuat tekan bebas (UCT).
 - Geser langsung

Pengujian geser langsung bertujuan untuk mendapatkan nilai sudut geser(ϕ), kuat geser (τ), dan kohesi (c) suatu tanah.
 - Kompaksi

Pengujian kompaksi bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar air optimum (w_{opt}) dan berat kering (γ_{dry}) suatu tanah.
 - Kuat tekan bebas (UCT)

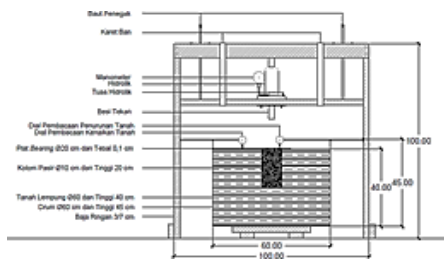
Pengujian kuat tekan bebas bertujuan untuk mendapatkan nilai tekanan ultimit (q_u), regangan (ϵ), dan modulus elastisitas (E) suatu tanah.
 6. Membuat alat pengujian kuat tekan tanah dengan menggunakan rangka baja ringan, bak silinder (drum besi) dengan diameter 60 cm dengan tinggi 50 cm sebagai wadah tanah lempung dan pasir.
 7. Membuat plat *bearing* menggunakan bahan baja dengan diameter 10 cm, 20 cm, dan tebal yang sama yaitu 1 mm. Beban dimasukkan bertahap 1 s/d 6 kg.
 8. Membuat rekayasa uji model kolom pasir diameter 10 cm :

Melakukan pengujian kolom pasir tahapan sama seperti pada pengujian pemadatan tanah. Langkah pertama, pengisian tanah asli kedalam bak silinder (drum besi) yang sebelumnya mencari volume tanah dengan cara mengalikan berat kering (γ_{dry}) dan volume wadah tersebut, selanjutnya tanah diberi air hingga kadar air tanah rata-rata sebesar 40 % lalu diaduk merata. Proses pengisian ke dalam wadah dilakukan dengan mengikuti standard kompaksi, penumbukkan dilakukan dengan cara per layer tanah dengan jumlah 6 layer. Langkah kedua, pemberian kolom pasir dengan cara memasukkan pipa berdiameter 10 cm tepat pada pertengahan tanah dasar dengan kedalaman 20 cm, kemudian tanah yang ada di dalam pipa tersebut dikeluarkan dan menggantinya dengan tanah pasir, lalu pipa tersebut dikeluarkan.

Langkah ketiga meletakkan plat bearing berdiameter 10 cm tepat di pertengahan pasir. Langkah keempat, pemberian beban dengan menggunakan alat hidrolik. Pemberian beban pada sampel adalah sebesar 1 s/d 6 kg, hingga struktur tanah mengalami keruntuhan. Langkah kelima, pemasangan *dial gauge* untuk perhitungan penurunan yang terjadi.

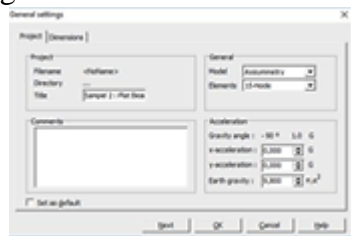
Ada 3 dial gauge yang digunakan, berikut penempatannya :

 - a. *Dial gauge* 1: diletakkan di atas plat bearing kolom pasir untuk mengetahui penurunan tanah pada kolom pasir.
 - b. *Dial gauge* 2: diletakkan di antara titik tengah kolom pasir dan dinding dari drum/wadah tanah dasar untuk mengetahui penurunan tanah di sekitar kolom pasir.



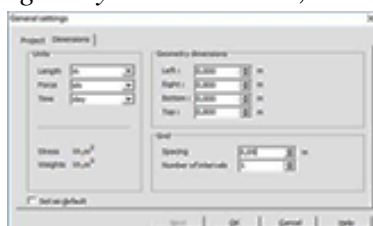
Gambar 2. Sampel 4: Plat Bearing Ø20 cm dengan Perkuatan Kolom Pasir

9. Melakukan pengujian dilaboratorium dengan model uji tersebut.
10. Hasil pengujian dilakukan perbandingan apakah sudah mendapatkan model uji yang efektif, apabila belum maka akan dilakukan rekayasa uji model kolom pasir yang baru.
11. Menganalisis rekayasa uji model kolom pasir dengan program *plaxis*.
 - a. Analisa numerik *plaxis*
 - Pengaturan awal seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. General Settings-Project

Pada Gambar 3 dapat diperoleh data general: model dipilih *axisymmetry* dan elements dipilih 15-node. Pada *acceleration*: *x-acceleration* dipilih 0,00 G, *y-acceleration* dimasukkan 0,00 G, dan *earth gravity* dimasukkan 9,8 m/s²

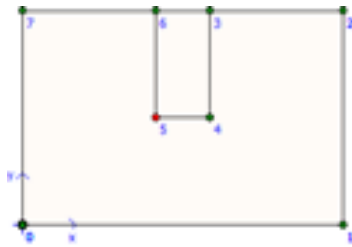


Gambar 4. General Settings Dimensions

Pada Gambar 4 dapat diperoleh data *units*: *length* dipilih satuan (m), *force* dipilih satuan (kN), dan *time* dipilih satuan (*day*). Pada *tab geometry dimensions*: *left* dimasukkan 0,00 m, *right* dimasukkan 0,80 m, *bottom* dimasukkan 0,00 m, dan *top* dimasukkan 0,80 m. Pada *tab grid*: *spacing* dimasukkan 0,05 m dan *number of intervals* dimasukkan 1.

▪ Kontur geometri

Pembuatan kontur tanah dasar yaitu dengan memasukkan titik (0;0), (0,6;0), (0,6;0,4), (0,35;0,4), (0,35;0,2), (0,25;0,2), (0,25;0,4), (0;0,4), dan (0;0). Pembuatan kontur kolom pasir yaitu dengan memasukkan titik (0,25;0,2), (0,35;0,2), (0,35;0,4), (0,25;0,4), dan (0,25;0,2). Maka akan muncul seperti pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Kontur Tanah Dasar dan Kolom Pasir

▪ Input data material tanah lempung dan pasir

Parameter	Nama/Simbol	Pasir	Tanah liat	Satuan
Model material	Model	Mohr-coulomb	Mohr-coulomb	-
Jenis perilaku material	Jenis	Drainad	Undrainad	-
Berat isi tanah normal		17	16	kN/m ³
Berat isi tanah jenuh		20	18	kN/m ³
Permeabilitas horizontal		1	0,0001	m/tari
Permeabilitas vertikal		1	0,0001	m/tari
Modulus Young	E	15000	10000	kN/m ²
Angka poisson	v	0,25	0,25	-
Kohesi	c	1	5	kN/m ²
Sudut geser	φ	31	25	°
Sudut dilatansi	ψ	0	0	°

Gambar 6. Input Parameter Tanah Kolom Pasir (Sumber: Dhani, 2013)

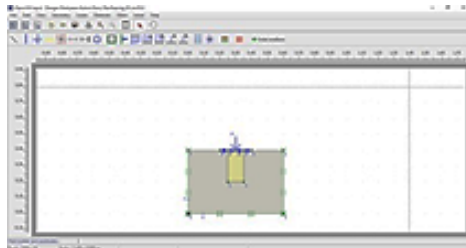
Mendefinisikan material pada tombol *material set*

seperti pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Material

Kemudian pendefinisian material diaplikasikan kedalam kontur geometri seperti pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Mendefinisikan Material

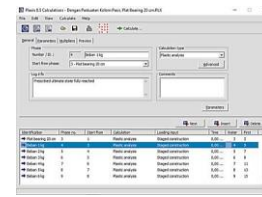
- Penyusunan jaringan elemen
Penyusunan jaringan elemen terlihat seperti Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Mesh Deformation

- Kondisi awal
Memasukkan berat isi tanah sebesar 10 kN/m^3 . Karena dalam pemodelan ini tidak mengikutsertakan tekanan air, maka lanjutan ke modus konfigurasi.

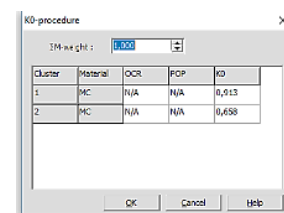
Memasukkan nilai k_0 sesuai dengan jenis tanahnya.



Gambar 10. K0-Procedure

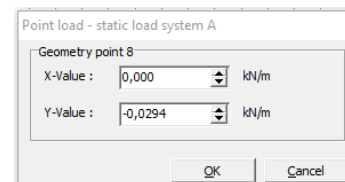
- b. Perhitungan *validasi numerik*

Tahapan perhitungan ini dapat berupa satu pembebanan, tahapan konstruksi (*Stage Construction*), tahapan konsolidasi atau analisis keamanan.



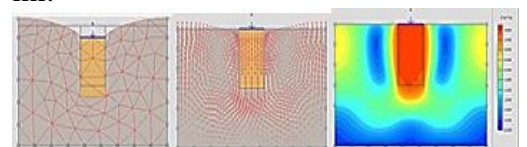
Gambar 11. Kalkulasi (*Calculations*)

Memasukkan nilai beban yang diinginkan sesuai dengan perhitungan pada kolom “Y-Value”. Seperti pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Point Load-Static Load System A

Melakukan perhitungan dengan *plaxis* akan menampilkan pola deformasi pembebanan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 13. Deformed Mesh, Total Displacements(Utot) Gaya Arrows, dan Total Displacements(Utot) Gaya Shadings

12. Mengambil kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian dari hasil pengujian yang dilakukan.

1. Mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah lempung pada lokasi penelitian.
2. Mengetahui besarnya kapasitas dukung kolom pasir yang terjadi pada tanah lempung.
3. Mengetahui perbandingan penurunan tanah lempung yang terjadi apabila diberikan perkuatan dengan kolom pasir dan yang tidak diberikan perkuatan.

ANALISIS PENELITIAN

1. Karakteristik Tanah Lempung.

Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh data-data karakteristik fisik dan mekanis tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

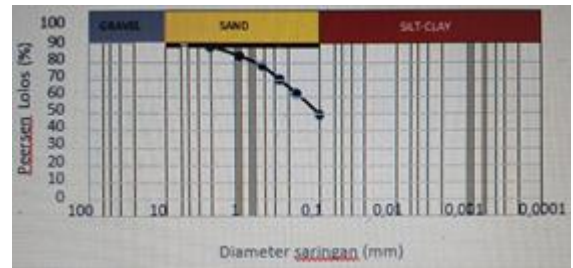
Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Lempung

Jenis Pemeriksaan	Standard ASTM	Hasil Pemeriksaan	
Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli			
Kadar Air (w)	D-2216-98	19	%
Berat Jenis (Gs)	D-162	2,6	
Pemeriksaan Analisa Saringan			
a. Berbutir Halus	C-136-06	60,42	%
b. Berbutir Kasar		39,58	%
Atterberg Limits			
a. Batas Cair (LL)	D-423-66	60,95	%
b. Batas Plastis (PL)	D-424-74	28,97	%
c. Indeks Plastis (PI)	D-4318	31,98	%
Kompaksi Standar			
a. Maximum Dry Density, γ_d (MDD)		1,474	gr/cm ³
b. Optimum Moisture Content (OMC)	D-698	19,30	%
Pengujian Sifat Mekanis Tanah Asli			
Berat Volume Tanah Asli		1,7	gr/cm ³
Kuat Tekan Bebas (UCT)			
a. Q_u		0,954	kg/cm ²
b. Modulus Elastisitas (E)	D-21-1994	33,173	kN/m ²
Pengujian Geser Langsung			
a. Kohesi (c)	D-3080-90	41,457	kN/m ²
b. Sudut Geser Dalam (ϕ)		59,845	°

2. Sifat Fisis Tanah Lempung

a. Analisa saringan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan tanah yang lolos saringan No. 200 yaitu sebesar 60,42%. Tanah tersebut merupakan tanah berbutir halus. Hal ini terlihat pada Gambar 14 menunjukkan persentase butiran halusnya cukup dominan. Menurut AASHTO tanah ini termasuk dalam tipe A-7-5 jenis tanah berlempung dimana indeks plastisitasnya (IP) >.

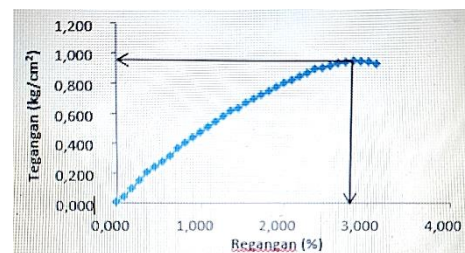


Gambar 14. Grafik Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Tanah Lempung.

3. Sifat Mekanis Tanah Lempung

a. Kuat tekan bebas (UCT)

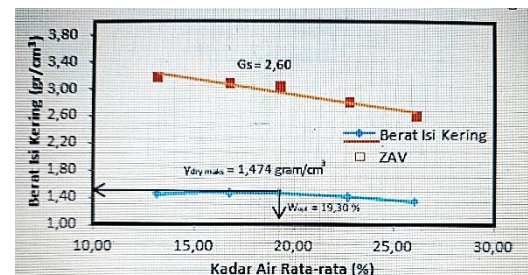
Dari hasil pemeriksaan kuat tekan bebas sampel tanah diperoleh nilai $q_u = 0,954 \text{ kg/cm}^2$, nilai $\frac{1}{2}q_u = 0,4769 \text{ kg/cm}^2$, nilai regangan 2,8182% dan nilai modulus elastisitas (E) sebesar $33,173 \text{ kN/m}^2$ yang terlihat pada Gambar 15 menandakan bahwa tanah lempung tersebut berada pada kondisi konsistensi sedang.



Gambar 15. Grafik Kuat Tekan Bebas

b. Geser langsung (*direct shear*)

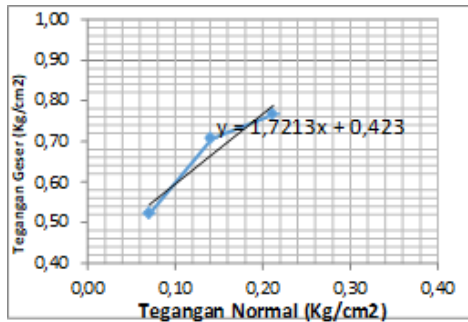
Dari hasil pemeriksaan geser langsung seperti yang diperlihatkan pada Gambar 16 sampel tanah diperoleh nilai sudut geser dalam = $59,845^\circ$ dan nilai kohesi = $41,457 \text{ kN/m}^2$.



Gambar 16. Grafik Geser Langsung

c. Pemadatan tanah

Pengujian pemadatan standar didapat hasil dari Gambar 17 dimana kadar air optimum sebesar $w_{opt} = 19,30\%$ dan berat isi kering maksimumnya $\gamma_{dry\ maks} = 1,474 \text{ gram/cm}^3$.



Gambar 17. Hasil Pengujian Pemadatan Standar

d. USCS (*unified soil classification system*)

Dari analisis saringan didapatkan tanah lolos saringan No. 200 lebih dari 50 % sehingga masuk ke dalam klasifikasi tanah berbutir halus. Dengan Batas cair (LL) = 60,95% dan Indeks Plastisitas (PI) = 31,98%, maka tanah tergolong dalam klasifikasi OH (Lempung organik) dengan sifat plastisitas sedang sampai tinggi.

e. AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation officials*)

Dari hasil pengujian analisa saringan berdasarkan presentase yang lolos saringan No. 200 diperoleh hasil tanah tersebut lebih dari 50% ($> 36\%$), sehingga tanah diklasifikasikan dalam kelompok tanah berlanau atau berlempung (A-4, A-5, A-6, A-7). Berdasarkan batas cair (LL) = 60,95%, batas plastis (PL) = 28,97%, dan Indeks plastisitasnya = 31,98%, maka tanah tersebut masuk dalam kelompok A-7-6. Tanah yang masuk kategori A-7-6 termasuk dalam klasifikasi tanah berlempung dimana indeks plastisitasnya > 11 , batas cairnya > 41 , dan batas plastis < 30 .

4. Karakteristik Tanah Pasir

Pengujian karakteristik fisik dan mekanis tanah pasir dilakukan untuk mengklasifikasi jenis pasir yang digunakan pada penelitian. Berdasarkan hasil pengujian dilaboratorium diperoleh data-data karakteristik fisik dan mekanik pasir pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Kolom Pasir

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan
Berat Jenis (Gs)	2,66
Pemeriksaan Analisa Saringan'	
a.Pasir Berbutir Halus	2,73 %
b.Pasir Berbutir Sedang	
c.Pasir Berbutir Kasar	29,23%
	68,04 %

a. Analisa saringan

Dalam pelaksanaan pengujian gradasi yang dilakukan dengan pengujian analisa saringan ditunjukkan pada Gambar 18 didapat hasil pasir yang berbutir halus 2,73%, berbutir sedang 29,23% dan yang berbutir kasar 68,04%.

b. Klasifikasi tanah pasir

Berdasarkan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*), maka tanah pasir yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1) Pembagian utama

- Termasuk tanah berbutir kasar karena Lebih dari setengah materialnya lolos saringan No. 200 (0,075 mm)
- Lebih dari 50% fraksi kasarnya lebih halus dari saringan No. 4 (4,75 mm)
- Pasir bersih (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)

2) Simbol kelompok

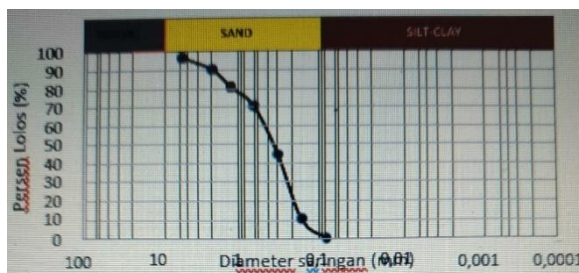
Berdasarkan persentase butiran halus kurang dari 5% lolos saringan No. 200, dimana nilai C_u adalah 0,951 mm dan C_c adalah 1,018 mm. Syarat untuk nilai kualitas (SW) jika C_c diantara 1 dan 3, dan $C_u > 6$. Maka simbol untuk tanah pasir tersebut adalah SP.

3) Nama jenis tanah

Pasir, pasir kerikilan bergradasi buruk, tanpa atau dengan sedikit bahan halus.

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*), tanah yang digunakan pada penelitian ini dikelompokkan sebagai berikut:

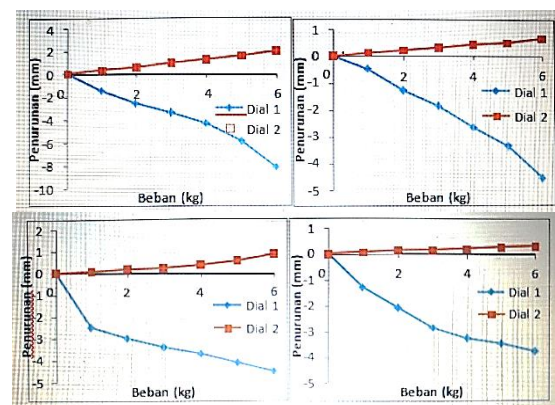
- Klasifikasi umum: Material granuler ($< 35\%$ lolos saringan No. 200)
- Klasifikasi kelompok: (A-3)
- Analisa saringan (% lolos):
 - 2,00 mm (No. 10): -
 - 0,425 mm (No. 40): 51 min
 - 0,075 mm (No. 200): 10 maks
- Sifat fraksi lolos saringan no. 40:
 - Batas cair (LL): -
 - Indeks plastis (PI): Np
- Indeks kelompok (G)
Nilai G berada pada kelompok (A-3) dan Indeks plastisnya NP, maka nilainya adalah 0.
- Tipe material yang pokok pada umumnya: Pasir halus
- Penilaian umum sebagai tanah dasar: Sangat baik sampai baik



Gambar 18. Grafik Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Pasir

5. Hasil Uji Model Laboratorium Perkuatan Tanah Dasar Tipe Kolom Pasir

Ada 4 pola model pengujian yang dilakukan, yang pertama pengujian model tanpa perkuatan. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis kondisi tanah yang menerima beban sebagai parameter untuk analisa bagi model perkuatan tanah dengan kolom pasir yang digunakan. Setelah itu, dilakukan model pengujian dengan menggunakan perkuatan kolom pasir terhadap variasi lebar diameter plat *bearing* yang digunakan untuk menentukan efisiensi dan efektifitas dari penggunaan perkuatan kolom pasir. Setelah itu dilakukan model pengujian dengan menggunakan kolom pasir dengan plat *bearing* diameter 10 cm. Kemudian dilakukan model pengujian dengan menggunakan kolom pasir dengan plat *bearing* diameter 20 cm.



Gambar 19. Grafik Hasil Uji Model Laboratorium Hubungan Beban Vs Penurunan dan Kenaikan tanpa Perkuatan Kolom Pasir dan dengan Perkuatan Kolom Pasir dengan Plat *Bearing* Diameter 10 cm dan 20 cm

Dari hasil pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa pada pengujian tanpa perkuatan kolom pasir dengan beban maksimum sebesar 6 kg dengan plat bearing diameter 10 cm, mengalami penurunan tanah sebesar 8,1 mm dan kenaikan tanah disekitarnya sebesar 1,95 mm. Pada pengujian tanpa perkuatan kolom pasir dengan plat bearing diameter 20 cm, mengalami penurunan tanah sebesar 4,6 mm dan kenaikan tanah disekitarnya sebesar 0,65

mm.

Kemudian pengujian menggunakan kekuatan kolom pasir dengan beban maksimum yang sama sebesar 6 kg untuk plat bearing diameter 10 cm, mengalami penurunan tanah sebesar 4,5 mm dan kenaikan tanah disekitarnya sebesar 0,85 mm. Pada pengujian menggunakan kekuatan kolom pasir dan plat bearing diameter 20 cm, mengalami penurunan tanah sebesar 3,8 mm dan kenaikan tanah disekitarnya sebesar 0,3 mm.

Jenis Perkuatan	Diameter Plat Bearing (cm)	Dial Pergerakan & Nama Beban Tanah (mm)	Beban(kg)						
			0	1	2	3	4	5	6
Tanpa Perkuatan	10	Dial 1	0	-1,500	-1,600	-1,400	-1,300	-5,000	-5,100
		Dial 2	0	0,300	0,500	0,900	1,200	1,500	1,900
	20	Dial 1	0	-0,500	-1,100	-1,900	-2,300	-3,400	-4,600
		Dial 2	0	0,100	0,200	0,300	0,400	0,400	0,600
Dengan Perkuatan	10	Dial 1	0	-2,500	-1,600	-1,400	-1,300	-4,100	-4,500
		Dial 2	0	0,050	0,150	0,200	0,250	0,250	0,350
	20	Dial 1	0	-1,300	-2,100	-2,900	-3,300	-3,500	-3,800
		Dial 2	0	0,050	0,100	0,100	0,100	0,200	0,300

Gambar 20. Hasil Analisis Laboratorium

6. Hasil Uji Model Analisa Numerik Plaxis Perkuatan Tanah Dasar Tipe Kolom Pasir

Parameter	Nama Model	Pasir	Tanah Dasar	Satuan
Model material	Model	<i>Moir-coulomb</i>	<i>Moir-coulomb</i>	-
Jenis perilaku material	Jenis	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>	-
Berat isi tanah normal	γ _{sat}	17,000	16,670	kN/m ³
Berat isi tanah jernih	γ _{sat}	20,000	22,250	kN/m ³
Permeabilitas H	K _x	1,0000	0,0001	m/hari
Permeabilitas V	K _y	1,0000	0,0001	m/hari
Modulus Young	E	13000	33,146	kN/m ²
Angka poisson	ν	0,3	0,261	-
Kohesi	c	1,0	41,482	kN/m ²
Sudut geser	φ	33	59,845	°
Sudut dilatasi	ψ	1,718	2,545	°

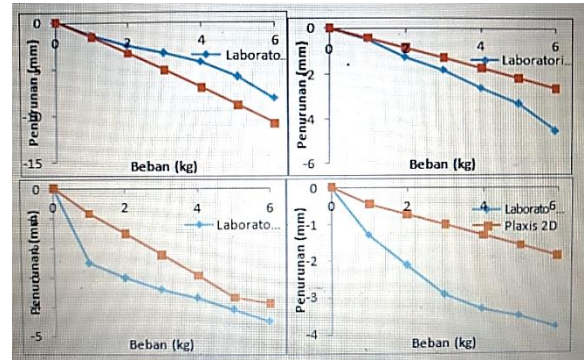
Gambar 21. Hasil Uji Model Analisa Numerik Plaxis Perkuatan Tanah Dasar Tipe Kolom Pasir

Tabel 3. Input Parameter Material Plat Bearing Diameter 10 cm

Material	Tipe Model	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)	D(m)	ν	W(kN/m/m)
Lining	Elastis	1,57E+06	10,4E+09	0,001	0,3	6,04E-05

Tabel 4. Input Parameter Material Plat Bearing Diameter 20 cm

Material	Tipe Model	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)	D(m)	ν	W(kN/m/m)
Lining	Elastis	6,28E+06	10,4E+09	0,001	0,3	2,42E-04



Gambar 21. Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Laboratorium dan Program Plaxis 2D tanpa Perkuatan Kolom Pasir dan dengan Perkuatan Kolom Pasir dengan Plat Bearing 10 cm dan 20 cm.

Dari hasil perbandingan uji laboratorium dan hasil perhitungan program *plaxis 2D*, dapat terlihat perbedaan yang cukup jauh. Pada sampel 1 yaitu dengan perlakuan tanpa perkuatan kolom pasir dan plat bearing diameter 10 cm, dapat terlihat penurunan tanah yang terjadi lebih sedikit pada pembebanan akhir hasil uji laboratorium yaitu sebesar 8,1 mm daripada hasil analisa program *plaxis 2D* yaitu sebesar 10,79 mm. Pada sampel 2 yaitu dengan perlakuan tanpa perkuatan kolom pasir dan plat bearing diameter 20 cm, dapat terlihat penurunan tanah yang terjadi lebih besar pada pembebanan akhir hasil uji laboratorium yaitu sebesar 4,6 mm daripada hasil analisa program *plaxis 2D* yaitu sebesar 2,72 mm.

Kemudian Pada sampel 3 yaitu dengan perlakuan menggunakan perkuatan kolom pasir dan plat bearing diameter 10 cm, dapat terlihat penurunan tanah yang terjadi lebih besar pada pembebanan akhir hasil uji laboratorium yaitu sebesar 4,5 mm daripada hasil analisa program *plaxis 2D* yaitu sebesar 3,91 mm. Pada sampel 4 yaitu dengan perlakuan menggunakan perkuatan kolom pasir dan plat bearing diameter 20 cm, dapat terlihat penurunan tanah yang terjadi lebih besar pada pembebanan akhir hasil uji laboratorium yaitu sebesar 3,8 mm daripada hasil analisa program *plaxis 2D* yaitu sebesar 1,86 mm.

Dari hasil perbandingan analisis laboratorium dan analisis program *plaxis 2D*

dapat diketahui bahwa, dengan menggunakan perkuatan kolom pasir dan plat *bearing* diameter 20 cm dapat mereduksi penurunan tanah yang lebih sedikit dikarenakan pasir itu sendiri kuat menahan beban vertikal dan luasan plat *bearing* juga mempengaruhi penurunan tanah yang terjadi.

KESIMPULAN

1. Sifat fisis tanah lempung diantaranya, kadar air (w) sebesar 19%, berat jenis (Gs) sebesar 2,6, pemeriksaan analisa saringan yaitu butiran halus sebesar 39,58%, butiran kasar 60,42%, atterberg limits yaitu batas cair (LL) sebesar 60,95%, batas plastis (PL) 28,97%, indeks plastis (PI) 31,98%, kompaksi standar maximum dry density (γ_d) sebesar 1,474 gr/cm³, optimum moisture content sebesar 19,30%, dan untuk sifat mekanis tanah diantaranya, berat isi tanah sebesar 1,7 gr/cm³, kuat tekan bebas (UCT) yaitu q_u sebesar 0,954 kg/cm², modulus elastisitas (E) sebesar 33,173 kN/m², pengujian geser langsung yaitu kohesi (c) sebesar 41,457 kN/m².
2. Besarnya kapasitas dukung kolom pasir tergantung pada plat bearing yang digunakan, berdasarkan hasil uji laboratorium untuk plat bearing diameter 20 cm lebih kuat menahan beban di atasnya atau lebih sedikit deformasi yang terjadi, untuk beban maksimum yaitu 6 kg terjadi penurunan (deformasi) sebesar 3,8 mm sedangkan menggunakan plat bearing diameter 10 cm dengan beban maksimum yang sama terjadi penurunan (deformasi) sebesar 4,5 mm.
3. Pola penurunan tanah model uji terlihat penurunan yang cukup besar pada sampel tanah yang tidak diperkuat dengan kolom pasir di mana hasil analisis program Plaxis 2D permodelan menggunakan plat bearing 10 cm dengan beban maksimum yaitu 6 kg terjadi penurunan (deformasi) sebesar 10,79 mm. Selanjutnya, sampel yang

menggunakan plat bearing 20 cm dengan beban maksimum yang sama terjadi penurunan (deformasi) sebesar 2,72 mm. Kemudian, sampel tanah yang diperkuat dengan kolom pasir di mana hasil permodelan menggunakan plat bearing 10 cm dengan beban maksimum yaitu 6 kg terjadi penurunan (deformasi) sebesar 3,91 mm dan selanjutnya sampel yang menggunakan plat bearing 20 cm dengan beban maksimum yang sama terjadi penurunan (deformasi) sebesar 1,86 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Adistia Yoga, 2017. *Perilaku Pondasi Telapak Yang Diperkuat Kolom Pasir-Kapur Terhadap Pembebanan*, Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Dhani, N. 2013. *Karakteristik Kolom Pasir Grouting Sebagai Metode Perkuatan Tanah Lempung Kepasiran*. Tesis tidak diterbitkan. Program Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Edisi ketiga, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2014. *Analisa dan Perancangan Fondasi I*, Edisi ketiga, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2015. *Analisa dan Perancangan Fondasi II*, Edisi ketiga, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kemal, M.T., 2013, “Studi Perilaku Penurunan Tanah Kelempungan Dengan Perkuatan Kolom Pasir”.
- Listyawan, A.B., Wiqoyah, Q., Renaningsih, dan Satriyana M.R.W., 2015, “Pengaruh Kolom Pasir Terhadap Konsolidasi Tanah Lempung Lunak”, *Eco Rekayasa*, Vol. 11, No. 1, hal 23 – 27.
- Nugroho, R.S. Adhy, 2018. *Pengaruh Perkuatan Kolom Pasir Terhadap*

Penurunan Pondasi Telapak Bujur Sangkar, Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Nurindah, S., 2017. *Pengaruh Perkuatan Kolom Pasir Terhadap Penurunan Pondasi Telapak*, Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.