



Analisis Kuar Geser Tanah Lempung Dengan Variasi Kolom Pasir

Kanaya Mende^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Jack H. Ticoh^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^akanayamende28@gmail.com, ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id, ^cjack.ticoh@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah kolom pasir terhadap kuat geser tanah lempung melalui pengujian geser langsung (Direct Shear Test). Penelitian dilakukan secara eksperimen di laboratorium dengan menggunakan tanah lempung yang diambil dari kawasan Danau Tondano, Sulawesi Utara. Variasi perlakuan terdiri atas tanah tanpa kolom pasir, 1 kolom, 2 kolom, dan 3 kolom pasir. Setiap variasi diuji dengan beban normal 3 kg, 6 kg, dan 9 kg untuk memperoleh parameter kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan kuat geser tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kolom pasir mengubah mekanisme ketahanan geser tanah. Nilai kohesi menurun dari 24,96 kPa pada tanah tanpa kolom menjadi 23,21 kPa, 22,33 kPa, dan 19,27 kPa pada 1, 2, dan 3 kolom. Sebaliknya, sudut geser dalam meningkat dari 31,22° menjadi 49,58° pada 1 kolom, kemudian menurun menjadi 46,32° dan 42,35° pada 2 dan 3 kolom. Nilai kuat geser tertinggi diperoleh pada 1 kolom pasir, yaitu 45,16 kPa, meningkat sekitar 23,28% dibandingkan tanah tanpa kolom sebesar 36,63 kPa. Dengan demikian, penggunaan 1 kolom pasir merupakan variasi yang paling optimum dalam penelitian ini.

Kata kunci: kuat geser tanah, tanah lempung, kolom pasir, direct shear, sudut geser dalam

1. Pendahuluan

Tanah merupakan salah satu elemen utama dalam pekerjaan konstruksi dan berfungsi sebagai media pendukung beban struktur. Namun, tidak semua tanah memiliki karakteristik teknis yang memadai. Tanah lempung umumnya memiliki plastisitas tinggi, permeabilitas rendah, kompresibilitas relatif besar, serta kuat geser yang dapat menurun ketika kadar air meningkat. Kondisi tersebut dapat menyebabkan masalah daya dukung, deformasi, dan penurunan pada konstruksi.

Salah satu alternatif perbaikan tanah adalah penggunaan kolom pasir. Kolom pasir memanfaatkan material granular yang memiliki sifat gesekan antarbutir dan permeabilitas lebih tinggi daripada tanah lempung. Dalam penelitian ini, kolom pasir digunakan sebagai elemen perkuatan pada benda uji tanah lempung untuk mengetahui perubahan parameter kuat geser akibat variasi jumlah kolom.

Masalah penelitian adalah bagaimana pengaruh variasi jumlah kolom pasir terhadap parameter kohesi dan sudut geser dalam, serta variasi jumlah kolom yang menghasilkan kuat geser maksimum. Tujuan penelitian adalah mengetahui mekanisme perubahan kuat geser tanah, hubungan jumlah kolom dengan parameter kuat geser, dan menentukan variasi kolom pasir yang paling efektif. Berdasarkan hasil penelitian dalam naskah komprehensif, penggunaan 1 kolom pasir memberikan nilai kuat geser tertinggi. Temuan ini menjadi dasar penyusunan artikel jurnal dengan memusatkan pembahasan pada hubungan antara jumlah kolom pasir dan parameter kuat geser tanah.

2. Landasan Teori

Tanah Lempung merupakan tanah berbutir halus yang memiliki plastisitas tinggi dan kohesi relative tinggi. Perubahan kadar air memengaruhi konsistensi, tegangan efektif dan kuat gesernya. Pada tanah lempung, kuat geser dipengaruhi oleh kohesi dan sudut geser dalam.

Kolom pasir merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang memanfaatkan material granular sebagai elemen perkuatan dan media drainase. Kolom pasir dapat meningkatkan gesekan antarbutir, membantu redistribusi beban, mempercepat keluarnya air pori, dan meningkatkan tegangan efektif. Efektivitasnya dipengaruhi antara lain oleh jumlah, diameter, kedalaman, kepadatan, dan susunan kolom. Parameter utama kuat geser tanah ditentukan melalui kriteria Mohr-Coulomb:

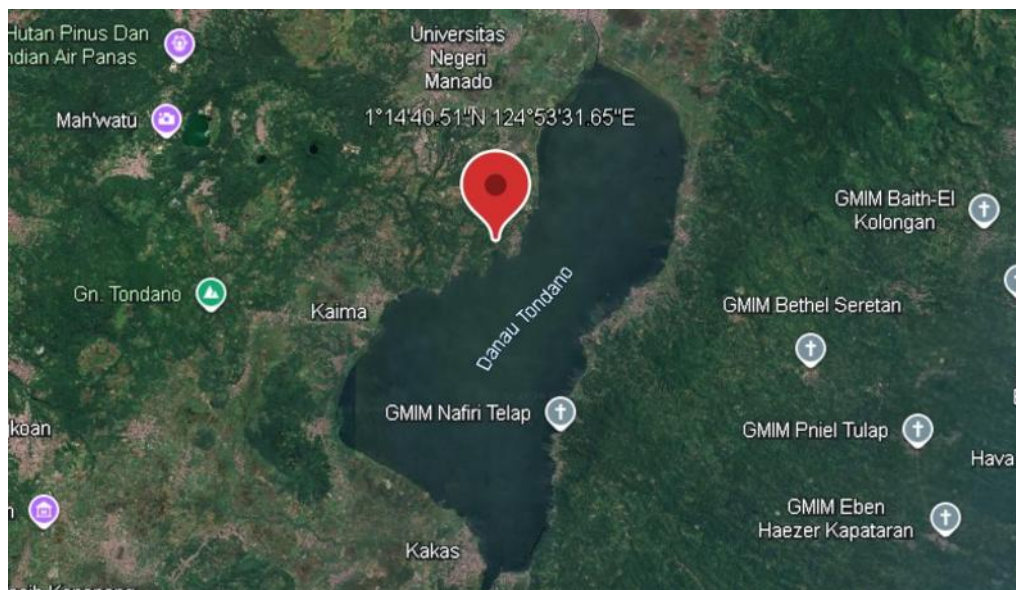
$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\varphi) \quad (1)$$

dimana τ adalah tegangan geser, c adalah kohesi (kPa), σ adalah tegangan normal (kPa), dan φ adalah sudut geser dalam derajat.

3. Metode Penelitian

3.1 Lokasi dan Material

Material yang digunakan berupa bentonite dan kaolinite diuji sifat fisiknya sebelum dicampurkan. Sampel tanah diambil dari Danau Tondano, Sulawesi Utara.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel di Desa Lotta
(Sumber: Google Earth)

3.2 Variasi Benda Uji

Variasi benda uji terdiri atas tanah tanpa kolom pasir, 1 kolom pasir, 2 kolom pasir, dan 3 kolom pasir. Kolom dibuat dengan diameter 1 cm dan tinggi 1,9 cm. Setiap variasi diuji dengan tiga tingkat beban normal, yaitu 3 kg, 6 kg, dan 9 kg. Data hasil pengujian digunakan untuk menentukan tegangan normal, tegangan geser, kohesi, sudut geser dalam, dan nilai kuat geser.

Tabel 1. Tabel Variasi

Variasi	Jumlah kolom	Beban normal	Parameter utama
Tanah asli	0	3, 6, 9 kg	c, ϕ , τ
Varian 1	1	3, 6, 9 kg	c, ϕ , τ
Varian 2	2	3, 6, 9 kg	c, ϕ , τ
Varian 3	3	3, 6, 9 kg	c, ϕ , τ

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengujian Pendahuluan

Penelitian terdahulu digunakan sebagai dasar untuk mengetahui perkembangan penelitian yang berkaitan dengan perbaikan tanah, penggunaan material pasir, serta peningkatan kuat geser tanah. Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian mengenai “Analisis Kuat Geser Tanah Lempung dengan Variasi Kolom Pasir

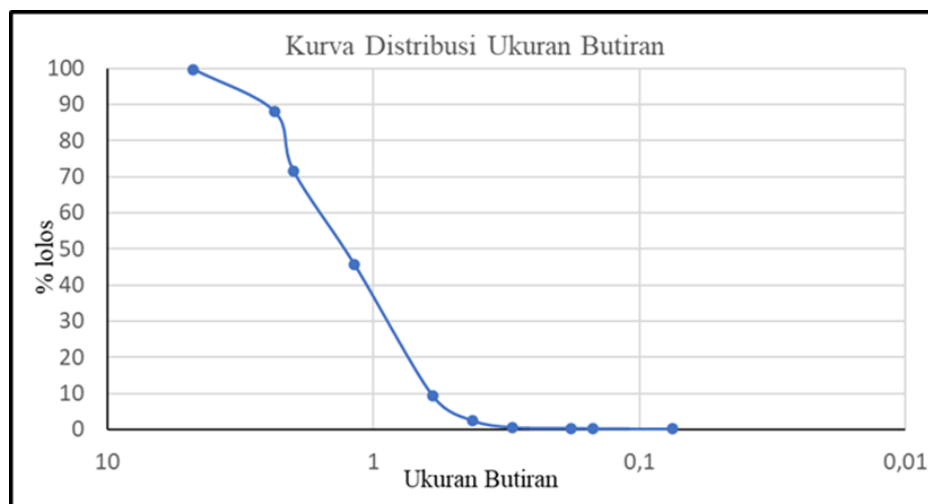
4.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah dilakukan di laboratorium mekanika Tanah dengan hasil seperti yang ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

UJI MATERIAL TANAH				
KADAR AIR	BERAT JENIS	BATAS-BATAS ATTERBERG		
		BATAS CAIR (LL)	BATAS PLASTIS (PL)	INDEKS PLASTISITAS (PI)
46,63%	1,109 gr	74,11%	38,89%	35,22%

Berdasarkan pada Tabel 2 menunjukkan hasil dari pengujian karakteristik tanah yang digunakan sebagai benda uji pada penelitian ini adalah tanah pasir berlempung. Sedangkan hasil analisis saringan ditampilkan dalam kurva distribusi ukuran butiran berikut.

**Gambar 2.** Kurva Distribusi Ukuran Butiran

4.1.2 Klasifikasi Tanah

Berdasarkan hasil uji fisik tanah yang telah dilakukan, tanah asli yang diambil dari Desa Lotta menunjukkan kombinasi karakteristik antara butiran kasar (pasir) dan fraksi halus (lempung). Hasil analisa saringan menunjukkan bahwa sebagian besar tanah lolos dari saringan

No.200 (ukuran 0,075 mm) dalam jumlah yang sangat kecil, sehingga menurut AASHTO dan USCS, tanah ini secara dominan termasuk dalam kategori tanah berbutir kasar (pasir).

Namun, hasil pengujian batas konsistensi (Atterberg) menunjukkan nilai batas cair (LL) sebesar 74,11%, batas plastis (PL) sebesar 38,89%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 35,22%, yang merupakan ciri khas dari tanah lempung. Selain itu, kadar air tanah yang tinggi dan berat jenis rendah juga menunjukkan adanya kandungan material halus. Kombinasi antara ukuran butiran pasir dan sifat plastis kohesif menunjukkan bahwa tanah tersebut tidak murni pasir, melainkan pasir yang bercampur dengan lempung dalam cukup besar, sehingga secara teknis dapat diklasifikasikan sebagai tanah berpasir lempung (*sandy clay*).

4.2 Parameter Kuat Geser

Hasil analisis parameter kuat geser untuk tanah tanpa kolom dan setiap variasi kolom pasir diringkas pada Tabel 2. Nilai-nilai tersebut merupakan hasil pengolahan data pengujian Direct Shear dalam naskah komprehensif.

Tabel 3. Parameter Kuat Gese Pada Setiap Variasi Kolom Pasir

Jumlah kolom	Kohesi c (kPa)	ϕ (°)	Kuat geser (kPa)
0 (tanah asli)	24.96	31.22	36.63
1	23.21	49.58	45.16
2	22.33	46.32	42.50
3	19.27	42.35	36.82

(Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2026)

Pada Tabel 3 menunjukkan data hasil pengujian kuat geser langsung tanah. Pengujian dilakukan terhadap tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan kolom pasir yang bervariasi. Pada hasil pengujian diperoleh hubungan antara nilai tegangan normal dan tegangan geser. Rumus untuk mendapatkan nilai tegangan normal dan tegangan geser adalah:

$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{\text{Gaya Normal (N)}}{\text{Luas Penampang (A)}} \quad (2)$$

$$\text{Tegangan Geser} = \frac{\text{Gaya Geser (T)}}{\text{Luas Penampang (A)}} \quad (3)$$

1. Nilai Kuat Geser Tanah Asli

Gambar 3 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 24.96 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 31,22°.

2. Nilai Kuat Geser Tanah (11 Kolom Pasir)

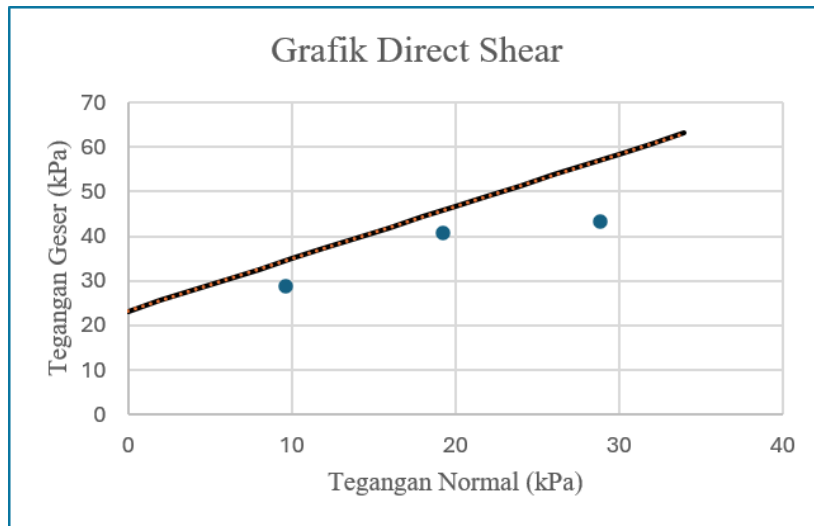
Gambar 4 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 23,21 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 49,58°.

3. Nilai Kuat Geser Tanah (2 Kolom Pasir)

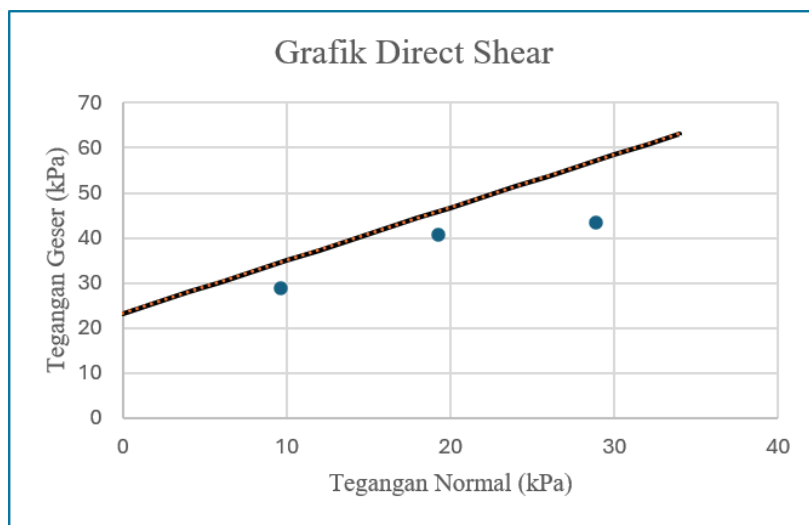
Gambar 5 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 22,33 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 46,32°.

4. Nilai Kuat Geser Tanah (3 Kolom Pasir)

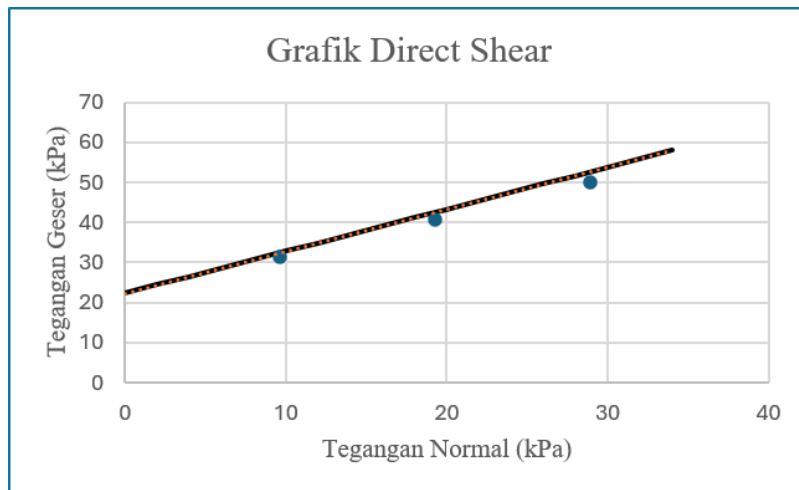
Pada Gambar 6 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 19,27 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 42,35°.



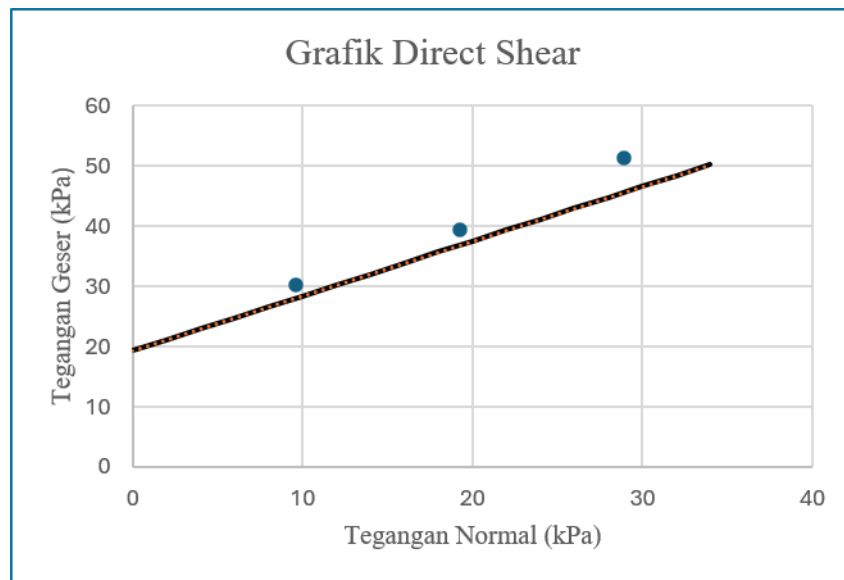
Gambar 3. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Tanah Asli)



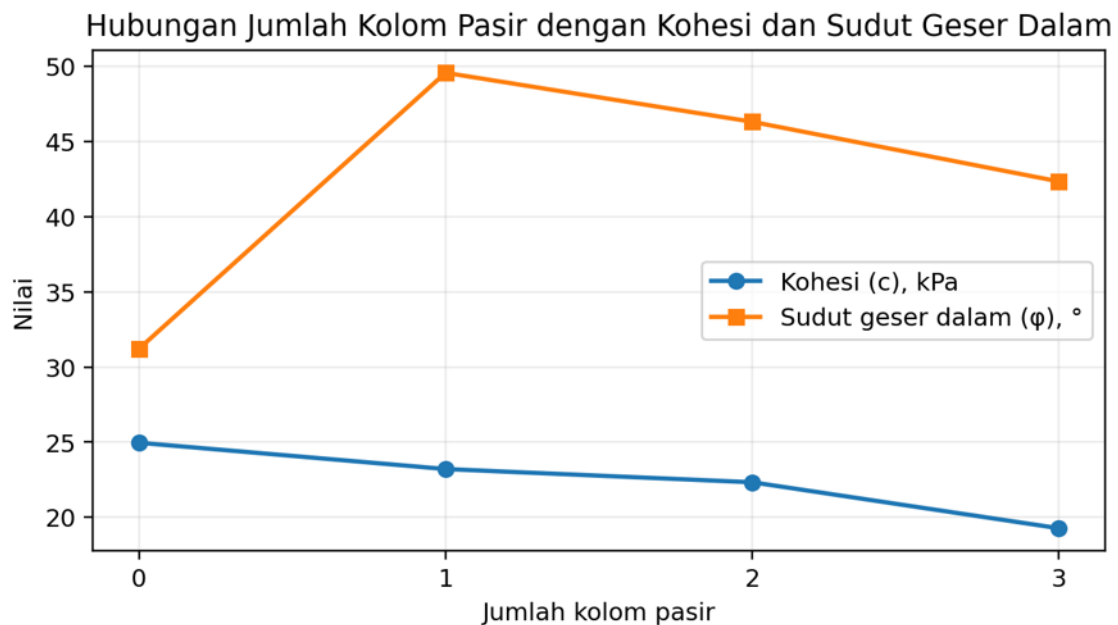
Gambar 4. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (1 Kolom Pasir)



Gambar 5. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (2 Kolom Pasir)



Gambar 6. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (3 Kolom Pasir)



Gambar 7. Hubungan Jumlah Kolom Pasir dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Berdasarkan Gambar 6, nilai kohesi menunjukkan kecenderungan menurun dari 24,96 kPa pada tanah tanpa kolom menjadi 23,21 kPa pada 1 kolom, 22,33 kPa pada 2 kolom, dan 19,27 kPa pada 3 kolom. Penurunan kohesi menunjukkan bahwa penambahan material non-kohesif berupa pasir mengurangi proporsi matriks lempung yang memberikan ikatan kohesif.

Sebaliknya, sudut geser dalam meningkat tajam dari 31,22° pada tanah tanpa kolom menjadi 49,58° pada 1 kolom. Pada 2 dan 3 kolom, nilai ϕ kemudian menurun masing-masing menjadi 46,32° dan 42,35°, tetapi masih lebih tinggi daripada tanah tanpa kolom. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa keberadaan pasir memperbesar kontribusi gesekan dan interlocking antarbutir terhadap tahanan geser.

Pola tersebut menunjukkan bahwa jumlah kolom tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan parameter kuat geser. Penambahan 1 kolom memberikan kombinasi yang paling menguntungkan antara kohesi yang masih relatif tinggi dan peningkatan sudut geser dalam yang besar. Pada jumlah kolom yang lebih banyak, berkurangnya volume tanah lempung sebagai matriks pengikat dapat mengurangi efektivitas kombinasi antara kohesi dan friksi.



Gambar 8. Hubungan Jumlah Kolom Pasir dengan Nilai Kuat Geser Tanah

Nilai kuat geser tanah tanpa kolom sebesar 36,63 kPa meningkat menjadi 45,16 kPa pada 1 kolom. Peningkatan absolut sebesar 8,53 kPa atau sekitar 23,28% menunjukkan bahwa 1 kolom merupakan kondisi paling efektif pada penelitian ini. Pada 2 kolom, nilai kuat geser turun menjadi 42,50 kPa, sedangkan pada 3 kolom turun kembali menjadi 36,82 kPa dan mendekati kondisi tanah asli.

Meskipun kohesi menurun, peningkatan sudut geser dalam pada 1 kolom mampu memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap kuat geser total. Ketika jumlah kolom ditambah menjadi 2 dan 3, keuntungan dari friksi antarbutir tidak lagi cukup untuk mengimbangi penurunan kontribusi kohesif tanah lempung. Oleh sebab itu, penentuan jumlah kolom perlu mempertimbangkan keseimbangan antara pengurangan kohesi dan peningkatan friksi

4.3 Implikasi terhadap Perbaikan Tanah

Kolom pasir berpotensi memperbaiki perilaku tanah lempung melalui mekanisme perkuatan dan drainase material pasir yang memiliki permeabilitas lebih tinggi dapat menyediakan jalur aliran air pori, sementara interlocking antarbutir dapat meningkatkan tahanan geser. Dalam konteks hasil penelitian ini, efektivitas tersebut paling jelas pada penggunaan 1 kolom pasir. Hasil uji konsolidasi yang disajikan dalam naskah komprehensif juga menunjukkan perubahan kadar air dan parameter kondisi tanah setelah pengujian 1 kolom pasir, tetapi artikel ini memusatkan analisis utama pada kuat geser sesuai dengan fokus penelitian.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian kuat geser terhadap tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dengan kolom pasir, diperoleh perbandingan yang jelas mengenai peningkatan nilai parameter kuat geser, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), pada setiap varian campuran dan jumlah kolom.

Berdasarkan hasil pengujian kuat geser terhadap tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi menggunakan kolom pasir, diperoleh perbedaan nilai parameter kuat geser berupa kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) pada setiap variasi jumlah kolom pasir. Variasi yang digunakan terdiri atas tanah asli tanpa kolom pasir (0 kolom), 1 kolom pasir, 2 kolom pasir, dan 3 kolom pasir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan kolom pasir memberikan pengaruh terhadap karakteristik kuat geser tanah, baik terhadap nilai kohesi maupun sudut geser dalam.

Pada kondisi tanah asli tanpa kolom pasir, nilai kohesi sebesar 24,96 kPa dan sudut geser dalam sebesar $31,22^\circ$. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tahanan geser tanah masih cukup dipengaruhi oleh sifat kohesif tanah. Setelah diberikan 1 kolom pasir, nilai kohesi mengalami

penurunan menjadi 23,21 kPa, sedangkan sudut geser dalam meningkat secara signifikan menjadi 49,58°. Peningkatan sudut geser dalam menunjukkan bahwa keberadaan kolom pasir meningkatkan kontribusi gesekan dan interlocking antarbutiran dalam menahan gaya geser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan mekanisme tersebut memberikan pengaruh positif terhadap kuat geser tanah.

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, penggunaan 1 kolom pasir merupakan variasi yang paling optimum dalam penelitian ini. Variasi tersebut menghasilkan kuat geser tertinggi sebesar 45,16 kPa, sudut geser dalam tertinggi sebesar 49,58°, serta nilai kohesi sebesar 23,21 kPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kuat geser pada penelitian ini lebih dipengaruhi oleh peningkatan komponen gesekan dan interlocking antarbutiran daripada peningkatan kohesi. Oleh karena itu, efektivitas kolom pasir tidak hanya ditentukan oleh jumlah kolom, tetapi juga oleh keseimbangan antara material pasir dan matriks tanah lempung di sekitarnya.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kolom pasir dapat meningkatkan kuat geser tanah lempung pada jumlah kolom tertentu. Namun, peningkatan jumlah kolom pasir secara berlebihan tidak selalu memberikan hasil yang lebih baik. Pada kondisi penelitian ini, 1 kolom pasir memberikan hasil paling efektif, sedangkan penambahan menjadi 2 dan 3 kolom menyebabkan kuat geser kembali menurun. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan jumlah kolom pasir yang tepat merupakan faktor penting dalam upaya meningkatkan kuat geser tanah.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Mekanisme kenaikan kuat geser tanah lempung dengan menggunakan kolom pasir menunjukkan bahwa penambahan kolom pasir mampu meningkatkan kuat geser tanah melalui peningkatan mekanismen gesekan antar butiran tanah. Hal ini ditunjukkan oleh meningkatnya nilai sudut geser dalam pada tanah. Meskipun nilai kohesi (c) mengalami penurunan, peningkatan nilai sudut geser dalam (ϕ) memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap peningkatan kuat geser tanah, sehingga kolom pasir efektif dalam memperbaiki perilaku mekanis tana lempung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 1 kolom pasir memberikan kondisi paling efektif karena mampu menghasilkan nilai kuat geser tanah tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Sementara itu, penambahan hingga 2 dan 3 kolom pasir menyebabkan penurunan kuat geser tanah akibat berkurangnya sifat kohesif tanah lempung yang tergantikan oleh pasir sebagai material non-kohesif.
2. Hubungan variasi kolom pasir dengan parameter kohesi dan sudut geser dalam menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah kolom pasir yang digunakan, nilai kohesi (c) semakin cenderung menurun secara bertahap, sedangkan nilai sudut geser dalam (ϕ) meningkat secara signifikan pada penggunaan 1 kolom pasir, kemudian mengalami penurunan pada variasi 2 kolom dan 3 kolom pasir. Meskipun demikian nilai (ϕ) pada seluruh variasi kolom pasir tetap lebih tinggi dibandingkan tanah tanpa kolom pasir. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kolom pasir lebih berpengaruh terhadap peningkatan gaya gesek antarpartikel dibandingkan peningkatan kohesi tanah.
3. Variasi kolom pasir yang menghasilkan kuat geser maksimum adalah penggunaan 1 kolom pasir, karena menghasilkan nilai sudut geser dalam (ϕ) tertinggi yaitu 49,58°, dengan nilai kohesi sebesar 23,21 kPa. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan 1 kolom pasir merupakan variasi paling optimal dalam meningkatkan kuat geser tanah lempung. Penambahan jumlah kolom menjadi 2 dan 3 kolom pasir tidak memberikan peningkatan kuat geser yang lebih baik, bahkan cenderung menurunkan nilai sudut geser dalam sehingga efektivitas perkuatan tanah menjadi berkurang.

Referensi

- Bowles, J. E., 1996, *Foundation Analysis and Design*.
 Bowles, J. E., 1997, *Perbaikan dan Sifat Teknik Tanah dalam Rekayasa Geoteknik*.
 Craig, R. F., 2004, *Craig's Soil Mechanics*.
 Das, B. M., Endah, N., dan Mochtar, I. B., 1993, *Terjemahan Mekanika Tanah II: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Institut Teknologi 10 November, Surabaya.
 Das, B. M., dan Sobhan, K., 2018, *Principles of Geotechnical Engineering*.

- Faturrahman, M. R., Setiawan, B., dan Dananjaya, R. H., 2017, *Pengaruh Penambahan Kolom Pasir (Sand Column) sebagai Perkuatan terhadap Nilai Lendutan pada Tanah Dasar*.
- Felina, G. A., Rondonuwu, S. G., dan Manaroinson, L. D. K., 2019, *Analisis Deformasi Lempung Lunak Melalui Cyclic Loading Test*, Jurnal Sipil Statik, Vol. 7, No. 10.
- Hakam, Yuliet, dan Donal, 2010, *Studi Pengaruh Penambahan Tanah Lempung pada Tanah Pasir Pantai terhadap Kekuatan Geser Tanah*.
- Haras M; Turangan A.E.; Legrans R.R.I; 2017, *Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung*.
- Hendrawan, Yani, dan Sarie, 2022, *Pengaruh Campuran Pasir pada Tanah Lempung terhadap Kuat Geser Langsung*.
- Kindangen, K., Rondonuwu, S. G., dan Sarajar, A. N., 2019, *Percepatan Konsolidasi dengan Menggunakan Vertical Drain*, TEKNO, Vol. 17, No. 71.
- Manoppo, C. J., Manoppo, F. J., dan Rondonuwu, S. G., 2017, *Analisis Perkuatan Tanah dengan Metode Sand Compaction Pile pada Tanah Rawa (Studi Kasus: Jalan Tol Manado–Bitung Sulut)*, Jurnal Sipil Statik, Vol. 5, No. 6.
- Mahendra, Candra, Aisyah, Heru, dan Rivianto, 2022, *Stabilitas Tanah Lempung Berpasir Melalui Uji Kuat Geser Langsung dengan Menggunakan Mesin Direct Shear Test*.
- Maryansyah, Revianty, dan Utari, 2024, *Pengaruh Penambahan Pasir pada Kandungan Tanah Lempung terhadap Kuat Geser Tanah Menggunakan Uji Geser Langsung*.
- Parapaga, R. T., Sarayar, A. N., dan Legrans, R. R. I., 2018, *Pengaruh Penambahan Zeolite terhadap Kuat Geser pada Tanah Berlempung*.
- Sengkey, G. G. G., Legrans, R. R. I., dan Sarayar, A. N., 2024, *Penggunaan Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash) untuk Meningkatkan Kuat Geser Tanah*, TEKNO.
- Sridharan, A., dan Prakash, K., 2000, *Classification Procedures for Fine-Grained Soils*, Ground Improvement, Vol. 4, No. 3, pp. 135–142.
- Sutrianingsih, N. W., Rondonuwu, S. G., dan Sompie, O. B. A., 2018, *Uji Konsolidasi Deposit Tanah Lunak dengan Menggunakan Horizontal Drain*, Jurnal Sipil Statik, Vol. 6, No. 12.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., dan Mesri, G., 1996, *Soil Mechanics in Engineering Practice*.
- Tulandi, R. A., Rondonuwu, S. G., dan Sarajar, A. N., 2022, *Analisis Konsolidasi Lempung Pulutan dengan Tambahan Geopolimer (Abu Beton)*, TEKNO, Vol. 20, No. 81.
- Sutrianingsih N.W, Rondonuwu S.G, Sompie O.B.A (2018). Uji Konsolidasi Deposit Tanah Lunak dengan menggunakan Horizontal Drain JURNAL SIPIL STATIK, Vol 6, No 12 (2018)
- Terashi, M. (2003). *The State of Practice in Deep Mixing Methods*. Grouting and Ground Treatment, ASCE Geotechnical Special Publication No. 120, pp. 25-49.
- Tulandi R.A, Rondonuwu S.G, Sarajar A.N (2022) Analisis Konsolidasi Lempung Pulutan Dengan Tambahan Geopolimer (Abu Beton) TEKNO, Vol 20, No 81 (2022)