

ANALISIS INTERAKSI TANAH-GEOFOAM TERHADAP PARAMETER KUAT GESER TANAH

Emmanuel Pangihutan Sitompul¹ dan Asriwiyanti Desiani^{1*}

¹Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Surya Sumantri No. 65, Bandung, Indonesia
*asriwiyanti.desiani@eng.maranatha.edu

Masuk: 22-08-2024, revisi: 15-09-2024, diterima untuk diterbitkan: 14-10-2024

ABSTRACT

The soil composition in the Gedebage region of Bandung City is predominantly soft, with a depth of approximately 30 meters. The construction of buildings on soil with low bearing capacity and high settlement potential is generally problematic. To address the issue of soft soil, a solution is required that combines the properties of a lightweight material with the requisite strength. This research employs the use of geof foam, a synthetic material composed of EPS (expanded polystyrene), as a geotechnical material. The interaction between soil and geof foam has not been widely studied, and the use of interface value software applications is always required for the geotechnical analysis process. The objective of this study is to analyze the impact of a geof foam layer on soil shear strength parameters in the Gedebage area of Bandung, as well as the interaction between geof foam and the soil. The soil samples utilized in this study were undisturbed soil collected at a depth of 2.0–2.5 meters. The consolidated drained (CD) type direct shear test was conducted on geof foam of PT X, specifically the EPS type. The geof foam sample dimensions for testing were 6 cm in diameter and 1 cm in height. The findings indicated that the geof foam exerted an influence on the shear strength parameters of the native soil. In the direct shear test of the native soil, the cohesion value (c) was determined to be 0.1253 kgf/cm² and the internal shear angle (ϕ) was found to be 13.23°. In the direct shear test of soil with geof foam, the cohesion value (c) was found to be 0.5296 kgf/cm² and the internal shear angle (ϕ) was 1.01°. The Rinterface value of the interaction between soil and geof foam was determined to be 0.07.

Keywords: geof foam; direct shear test; consolidated drained; cohesion; internal shear angle

ABSTRAK

Tanah di daerah Gedebage kota Bandung terdiri dari tanah lunak kurang lebih sedalam 30m. Pembangunan pada tanah lunak umumnya mengalami masalah penurunan yang tinggi dan daya dukung yang rendah. Untuk mengatasi masalah pada tanah lunak, diperlukan solusi material yang ringan namun tetap memiliki kekuatan yang diperlukan. Penelitian ini menggunakan geof foam, bahan sintetik dari EPS (Expanded Polystyrene), sebagai material geoteknik. Interaksi antara tanah dan geof foam belum banyak diteliti, sedangkan dalam penggunaan aplikasi *software* nilai *Rinterface* selalu dibutuhkan untuk proses analisis geoteknik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh lapisan geof foam terhadap parameter kuat geser tanah di daerah Gedebage, Bandung dan interaksi geof foam. Sampel tanah yang digunakan adalah tanah tidak terganggu pada kedalaman 2,0-2,5 meter. Pengujian yang dilakukan adalah uji *direct shear* tipe *consolidated drained* (CD) menggunakan geof foam dari PT X dengan jenis Geof foam EPS dengan dimensi sampel geof foam untuk pengujian berdiameter 6 cm dan tinggi 1 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa geof foam mempengaruhi parameter kuat geser tanah asli. Pada uji *direct shear* tanah asli, didapatkan nilai kohesi (c) sebesar 0,1253 kgf/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 13,23°. Sedangkan pada uji *direct shear* tanah asli dengan geof foam, didapatkan nilai kohesi (c) sebesar 0,5296 kgf/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 1,01°. Nilai $R_{interface}$ dari interaksi antara tanah dan geof foam adalah 0,07.

Kata kunci: geof foam; direct shear test; consolidated drained; kohesi; sudut geser dalam

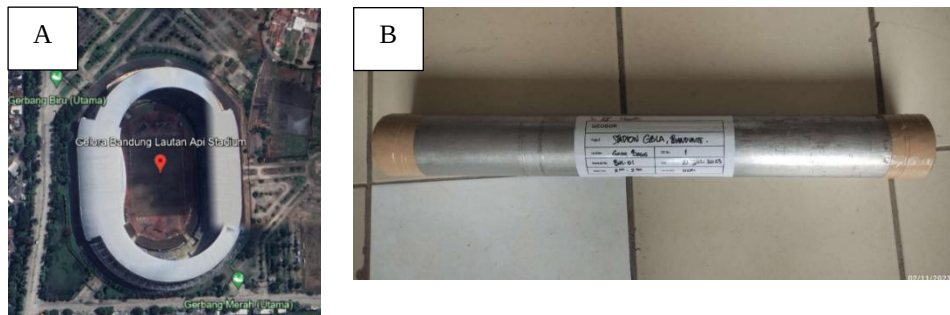
1. PENDAHULUAN

Salah satu material geosintetik yang saat ini dikembangkan untuk mengatasi penurunan pada tanah lunak adalah geof foam. Geof foam merupakan balok berbahan EPS (*Expanded Polystyrene*) yang dibuat pada sekitar tahun 1950 di Jerman dengan karakteristik fisik material bermassa jenis rendah, lebih ringan 10 sampai 30 kali dibandingkan material timbunan biasa, tahan air dan juga ramah lingkungan (Basti et al., 2021). Sehingga dari banyaknya keunggulan tersebut, geof foam juga sering digunakan untuk meningkatkan stabilitas lereng dan mengurangi tekanan lateral tanah (Khajeh et al., 2020; Tafreshi et al., 2020).

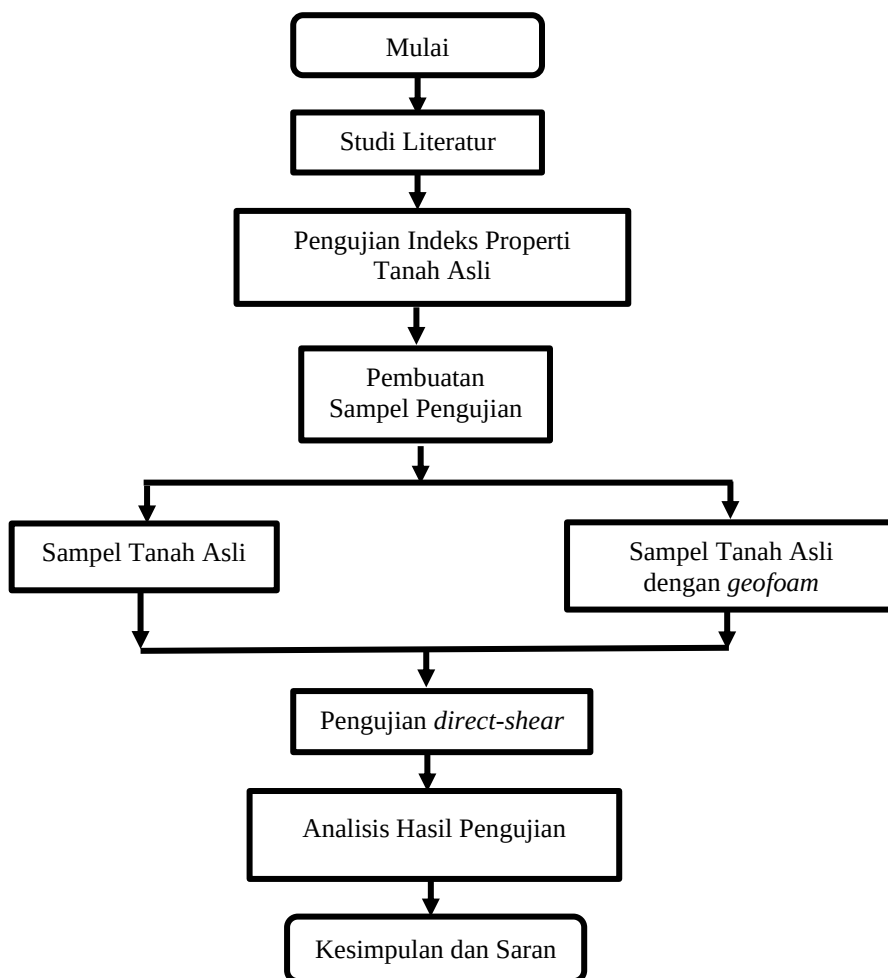
Dari beberapa riset dan studi terkini, pengaplikasian material *geofoam* terbukti dapat meningkatkan parameter kuat geser tanah (*Shear Strength*) secara signifikan sekaligus berfungsi sebagai peredam energi lateral akibat seismik (Dabiri & Hasanpouri Notash, 2020; Ge et al., 2022; Khan & Meguid, 2021). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penggunaan material *geofoam* terhadap parameter kuat geser tanah dan parameter interaksi tanah-*geofoam* terkhususnya pada tanah di Gedebage, Bandung.

2. METODE PENELITIAN

Data sampel tanah yang digunakan adalah jenis *undisturbed soil* yang berasal dari tanah di Gedebage, Bandung. pada kedalaman 2,0-2,5 meter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk jenis sampel *geofoam* yang digunakan adalah tipe EPS22 yang berasal dari PT. X dengan diameter 6 cm dan tinggi 1 cm. Metode pelaksanaan penelitian ini disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel (A), sampel tanah asli (*undisturbed soil*) (B)



Gambar 2. Bagan alir penelitian

Metode Pengujian Indeks Properti Tanah Asli

Semua pengujian tanah tentunya perlu dilakukan pengujian pendahuluan berupa penentuan indeks properti tanah. Indeks properti tanah adalah sebuah indeks yang merepresentasikan karakteristik dan sifat dari tanah tersebut yang terdiri dari pengujian kadar air, *specific gravity*, batas *atterberg* dan berat volume tanah (Zhang et al., 2019). Metode pengujian yang digunakan antara lain untuk kadar air menggunakan metode ASTM D2216, *specific gravity* menggunakan metode ASTM D854-B, batas *atterberg* menggunakan metode ASTM D4318 dan berat volume menggunakan metode ASTM D7263. Klasifikasi tanah mengacu pada USCS (ASTM D2847-00).

Metode Pengujian Geser Langsung

Sebelum pengujian geser langsung berdasarkan ASTM D3080 dilakukan, masing-masing sampel tanah dilakukan proses konsolidasi selama 1x24 jam. Kemudian pengujian geser langsung dilakukan dengan jenis pengujian *consolidated drained* (CD) sebanyak 5 kali pengujian terhadap 2 sampel yang berbeda. Jenis sampel tersebut adalah sampel tanah asli saja dan sampel tanah asli yang dilapisi material *geofoam*. Sampel uji berdiameter 6 cm dan tinggi 2 cm. *Geofoam* dicetak sesuai diameter sampel uji yaitu 6 cm dan tinggi 1 cm. Sehingga pada sampel tanah dengan *geofoam*, tinggi sampel tanah hanya 1 cm dan di atasnya diberi sampel *geofoam* setebal 1 cm. Hasil dari pengujian tersebut akan menghasilkan nilai tegangan geser maksimum beserta tegangan normal-nya.

Metode Evaluasi Interaksi Tanah *geofoam* terhadap Parameter Kuat Geser Tanah

Struktur perkuatan tanah dengan *geofoam* memerlukan pengetahuan tentang perilaku *interface* tanah-*geofoam* yang penting dalam analisis interaksi tanah dan perkuatan (Fitriansyah et al., 2019). Parameter kuat geser *interface* untuk tanah yang diperkuat dengan *geofoam* adalah mobilisasi sudut gesek *interface* tanah-*geofoam* (δ) dan adhesi (c_a). Dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, maka tegangan geser antara *geofoam* dan tanah adalah seperti persamaan 1.

$\tau = c_a + \sigma'_n \tan \delta$	(1)
--------------------------------------	-----

dengan τ = tegangan geser *interface* antara tanah dan *geofoam*, c_a = adhesi *geofoam* terhadap tanah, σ'_n = tegangan normal efektif pada bidang geser, dan δ = sudut gesek *interface* tanah-*geofoam*

Pengujian geser langsung (*direct shear*) dapat menentukan parameter kuat geser *interface*. Untuk keadaan elastis, tegangan geser didapat dari persamaan 2.

$$|\tau| < \sigma'_n \tan \phi_i + c_i \quad (2)$$

Untuk keadaan plastis, tegangan geser didapat dari persamaan 3.

$$|\tau| = \sigma'_n \tan \phi_i + c_i \quad (3)$$

Dengan ϕ_i = sudut gesek dalam dan c_a = kohesi dari *interface*

$R_{interface}$ menyatakan hubungan antara properties pada *interface* dengan properti pada lapisan tanah (Hasbollah et al., 2020). Nilai tersebut merupakan faktor reduksi kekuatan dengan persamaan 4 dan 5.

$$c_i = R_{interface} c_{soil} \quad (4)$$

$$\tan \phi_i = R_{interface} \tan \phi_{soil} \leq \tan \phi_{soil} \quad (5)$$

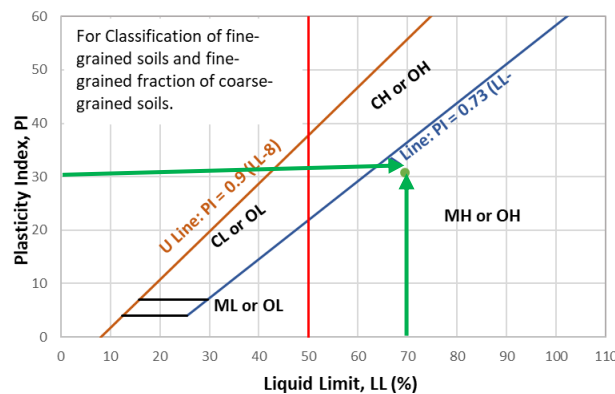
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian indeks properti tanah mencakup pengujian kadar air, *specific gravity*, berat volume dan batas *atterberg* berdasarkan standar acuan ASTM disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indeks properti tanah

Spesimen	Kadar Air (%)	Gs	Berat Volume (g/cm ³)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastis (%)
1	53,88	2,60	1,739	69,5	38,84	30,66
2	48,28	2,60	1,748	69,5	38,88	30,62

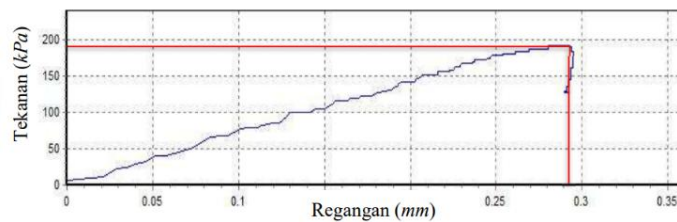
Dari Tabel 1 juga terlihat nilai *specific gravity* sebesar 2,6 tergolong jenis tanah anorganik, berat volume kedua spesimen yang berkisar 1,7 g/cm³ yang termasuk pada rentang tanah lanau-lempung. Batas *atterberg* yang diperoleh dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah seperti pada Gambar 3 dimana tergolong jenis tanah lanau dengan kompresibilitas tinggi.



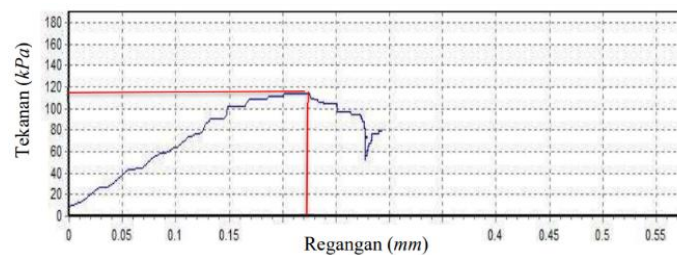
Gambar 3. Grafik plastisitas *Cassagrande*

Pengujian Kuat Tekan *Geofoam*

Setelah indeks properti tanah diperoleh, dilakukan pengujian kuat tekan dari material *geofoam* uji dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Hasil kuat tekan pada sampel 1 sebesar 190 kPa dan pada sampel 2 sebesar 115 kPa. Kedua hasil tersebut memiliki nilai kuat tekan diatas nilai yang diberikan oleh manufaktur dan standar minimum kuat tekan *geofoam* Indonesia yang mengacu pada (ASTM D6817 EPS-22) yaitu 50 kPa. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 4. Hasil pengujian kuat tekan *geofoam* sampel 1



Gambar 5. Hasil pengujian kuat tekan *geofoam* sampel 2

Pengujian Sampel Tanah Asli

Kecepatan geser yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada Tabel 2. Kecepatan geser diperoleh dengan. Sehingga kecepatan geser yang digunakan untuk pengujian berdasarkan hasil *horizontal dial* terakhir dikalikan skala 0,01 mm dibagi waktu total uji geser.

Tabel 2. Kecepatan geser tanah asli

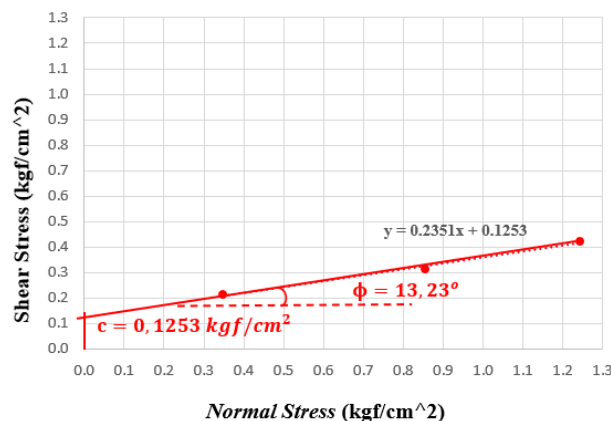
Spesimen	Horizontal Dial (0,01 mm)	Waktu Uji Geser (menit)	Kecepatan Geser (mm/menit)
1	740	15,738	0,470
2	760	12,667	0,462

Nilai tegangan geser (*shear Stress*) dapat ditentukan dari nilai *vertical deformation* yang merupakan kelandaian dari parameter regangan (*strain*) dan tegangan geser. Nilai tersebut cenderung tetap pada grafik keruntuhan yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan *shear stress* dan *normal stress direct shear* tanah asli

Spesimen	Shear Stress (kgf/cm ²)	Normal Stress (kgf/cm ²)
1	0,470	0,855
2	0,462	1,243

Tabel 3 digunakan untuk menggambar kurva keruntuhan geser tanah yang ditunjukkan pada Gambar 6. Grafik *Direct shear* menghasilkan parameter kuat geser tanah yaitu sudut geser dalam dan kohesi. Nilai sudut geser dalam untuk sampel tanah asli didapat sebesar 13,23° dan nilai kohesi sebesar 0,1253 kgf/cm² atau 12,29 kPa.



Gambar 6. Kurva *normal stress* dan *shear stress* tanah asli

Pengujian Sampel Tanah Asli + Geofom

Setelah didapatkan hasil pengujian pada setiap spesimen tanah asli, dilanjutkan dengan spesimen tanah asli yang dilapisi dengan *geofom* yang telah disiapkan. Hasil perhitungan kecepatan geser ditunjukkan pada Tabel 4 dan hasil pengujian *direct-shear* ditunjukkan pada Tabel 5.

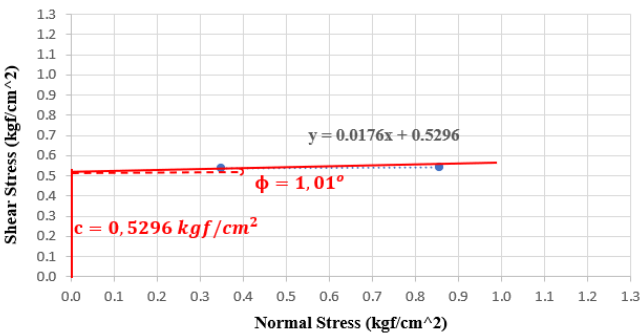
Tabel 4. Kecepatan geser tanah asli + *geofoam*

Spesimen	Horizontal Dial (0,01 mm)	Waktu Uji Geser (menit)	Kecepatan Geser (mm/menit)
1	780	13	0,436
2	820	13,667	0,449

Tabel 5. Hubungan *shear stress* dan *normal stress* tanah asli + *geofoam*

Spesimen	Shear Stress (kgf/cm ²)	Normal Stress (kgf/cm ²)
1	0,665	0,855
2	0,603	0,348

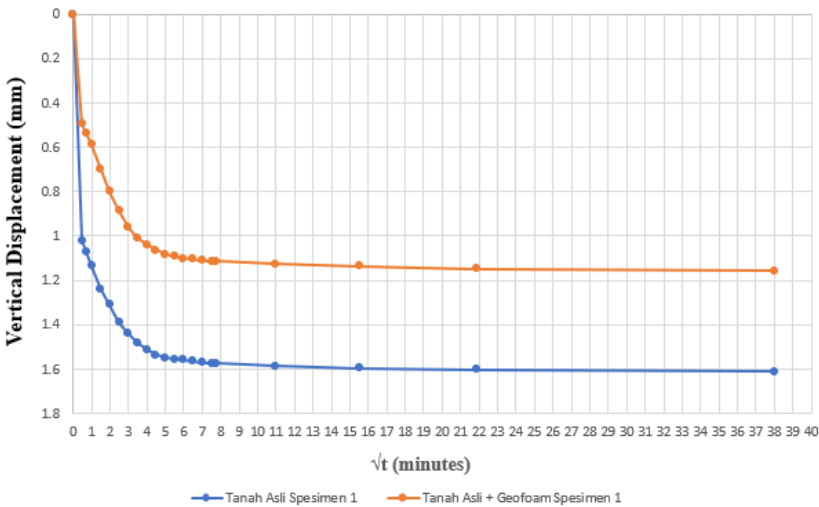
Pada Gambar 7 terlihat hasil pengujian *direct shear* pada sampel tanah asli+*geofoam* dengan Nilai sudut geser dalam didapat sebesar 1,01°. Sementara untuk nilai kohesinya adalah sebesar 0,296 kgf/cm².



Gambar 7. Kurva *normal stress* dan *shear stress* tanah asli + *geofoam*

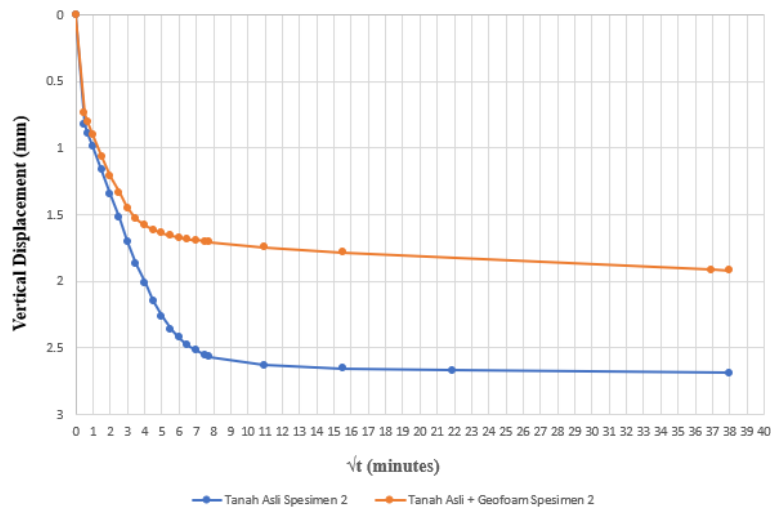
Pengaruh Lapisan *geofoam* Terhadap Penurunan Tanah

Hasil bacaan konsolidasi pada tanah asli + *geofoam* spesimen 1 dibandingkan dengan tanah asli spesimen 1. Terlihat perilaku tanah yang mengalami perbedaan penurunan. Perbandingan ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan kurva hasil bacaan konsolidasi pada tanah asli spesimen 1 dengan tanah asli + *geofoam* spesimen 1

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa *geofoam* dapat mengurangi jumlah penurunan pada tanah asli. Hasil konsolidasi pada sampel tanah asli setelah 24 jam mengalami penurunan sebesar 1,6 mm sedangkan hasil konsolidasi pada sampel tanah asli yang diberi lapisan *geofoam* setelah 24 jam hanya mengalami penurunan sebesar 1,1 mm. Hal tersebut juga didukung oleh perbandingan kurva hasil bacaan konsolidasi pada tanah asli spesimen 2 dengan tanah asli + *geofoam* spesimen 2 yang kedua spesimen diberi nilai tegangan normal yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 dimana dapat mengurangi jumlah penurunan pada tanah asli.



Gambar 9. Perbandingan kurva hasil bacaan konsolidasi pada tanah asli spesimen 1 dengan tanah asli + *geofoam* spesimen 2

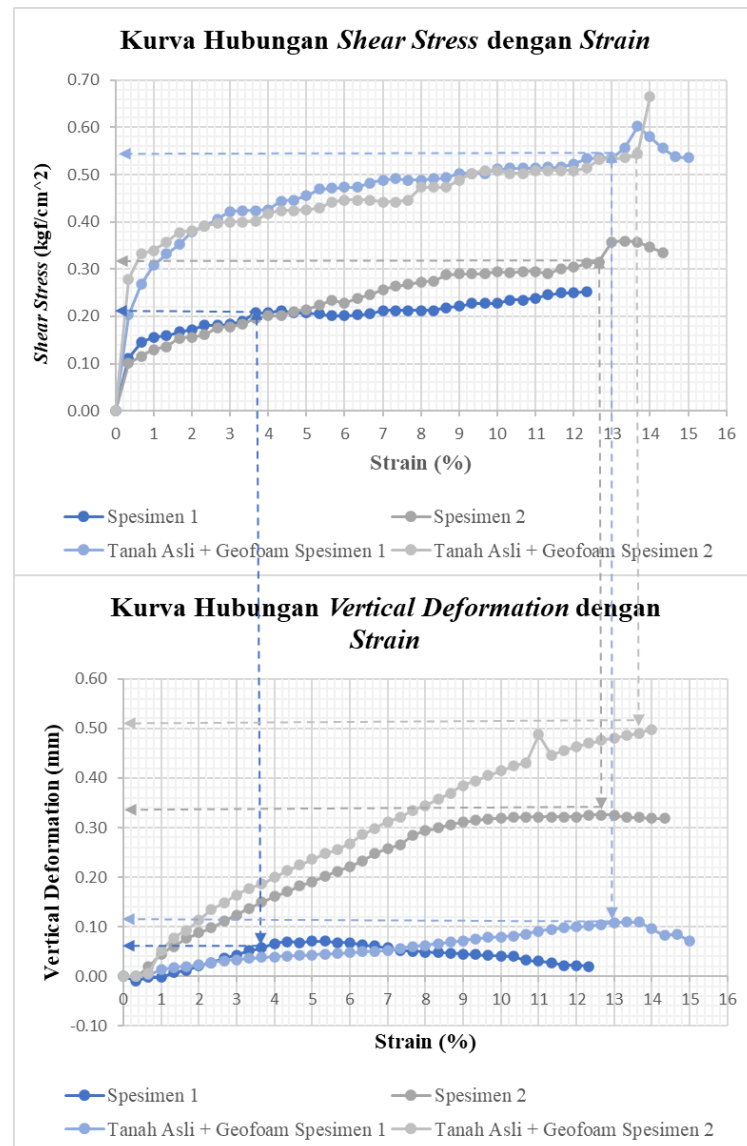
Dari Gambar 9 juga didapatkan hasil konsolidasi pada sampel tanah asli setelah 24 jam mengalami penurunan sebesar 2,7 mm sedangkan hasil konsolidasi pada sampel tanah asli yang diberi lapisan *geofoam* setelah 24 jam hanya mengalami penurunan sebesar 1,9 mm.

Pengaruh *geofoam* Terhadap Nilai *Shear Stress* Tanah

Berikut Gambar 9 merupakan perbandingan kurva hasil bacaan pengujian *direct shear* antara tanah asli dengan tanah asli + *geofoam*. Dari hasil pengujian *Direct Shear* yang telah dilakukan dapat dilakukan perbandingan nilai *shear Stress* saat mengalami keruntuhan antara tanah asli tanpa *geofoam* dengan tanah asli dengan *geofoam* memiliki perbedaan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 10. Spesimen yang dibandingkan adalah jenis spesimen yang memiliki nilai tegangan normal yang sama. Nilai *shear Stress* tanah asli spesimen 1 bernilai 0,212 kgf/cm² dan 0,315 kgf/cm² untuk spesimen 2. Nilai *shear Stress* tanah asli dengan *geofoam* bernilai 0,536 kgf/cm² untuk spesimen 1 dan 0,545 kgf/cm² untuk spesimen 2. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa lapisan *geofoam* pada tanah dapat meningkatkan nilai *shear Stress* saat tanah mengalami keruntuhan.

Tabel 6. Hasil pengujian *Direct Shear*

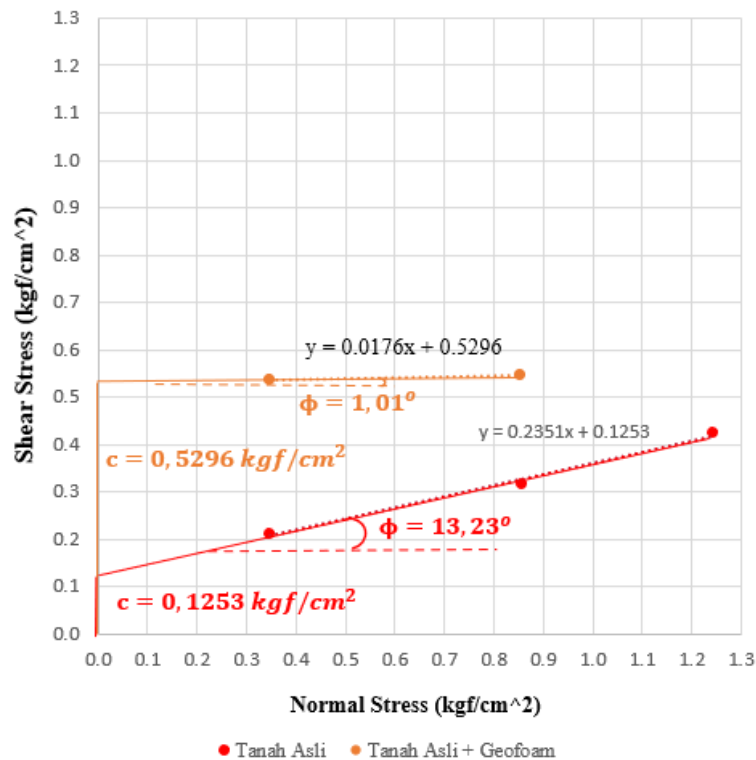
Kondisi	Spesimen	Strain (%)	Vertical Deformation (mm)	Shear Stress (kgf/cm ²)
Tanah Asli	1	13,333	0,321	0,855
	2	13,667	0,227	1,243
Tanah Asli + <i>geofoam</i>	1	14	0,498	0,855
	2	13,667	0,109	0,348



Gambar 10. Perbandingan kurva hasil bacaan pengujian *Direct Shear* antara tanah asli dengan tanah asli + *geofoam*

Pengaruh *geofoam* Terhadap Nilai Parameter Kuat Geser Tanah

Selain perbandingan dari bacaan konsolidasi dan *direct shear*, dilakukan juga perbandingan nilai parameter kuat geser tanah dengan dan tanpa *geofoam* terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam pada tanah asli yang ditunjukkan pada Gambar 10. Perbandingan untuk nilai kohesi dan sudut geser dalam antara dua jenis sampel yang diuji mengalami perubahan. Nilai kohesi jenis sampel tanah asli lebih kecil dibanding nilai kohesi jenis sampel tanah asli + *geofoam*. Namun, nilai sudut geser sampel tanah asli lebih besar dibanding nilai kohesi jenis sampel tanah asli + *geofoam*. Dapat disimpulkan bahwa lapisan *geofoam* pada tanah asli mempengaruhi nilai parameter kuat geser tanah pada tanah asli.



Gambar 10. Pengaruh *geofom* terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam pada tanah asli

Analisis Perilaku Interaksi Tanah-*geofom*

Dari hasil analisis pengujian *direct shear*, nilai kohesi dan sudut geser dalam dari sampel tanah asli dan sampel tanah asli + *geofom* yang sudah didapat diolah untuk mendapatkan nilai persamaan tegangan geser *interface* (τ) antara tanah asli dengan *geofom*. Nilai yang sudah didapatkan dari hasil analisis pengujian *direct shear* adalah sebagai berikut:

$$c_{\text{soil}} = 0,1253 \text{ kgf/cm}^2$$

$$c_i = 0,5296 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (tanah asli + geofom)}$$

$$\phi_{\text{soil}} = 13,23^\circ$$

$$\phi_i = 1,01^\circ \text{ (tanah asli + geofom)}$$

Dari nilai diatas, nilai $R_{\text{interface}}$ dapat ditentukan dari persamaan (2.5).

Berikut perhitungannya:

$$R_{\text{interface}} = \frac{c_i}{c_{\text{soil}}}$$

$$R_{\text{interface}} = 4.23$$

$$R_{\text{interface}} = \frac{\tan \phi_i}{\tan \phi_{\text{soil}}}$$

$$R_{\text{interface}} = 0,07$$

Nilai $R_{\text{interface}}$ dari interaksi antara tanah asli dengan *geofom* berdasarkan nilai c adalah 4.23. Nilai $R_{\text{interface}}$ lebih dari satu tidak lazim untuk digunakan dalam analisis praktik di lapangan. Nilai dari interaksi antara tanah asli dengan *geofom* berdasarkan nilai ϕ adalah 0,07. Kekasaran permukaan *interface* mempengaruhi parameter kekuatan geser *interface* tanah. Nilai yang sudah diketahui tersebut sangat berguna untuk pemodelan *interface* dalam analisis metode elemen hingga sehingga mampu memberikan solusi yang lebih realistis dalam analisis dan perancangan khususnya dalam bidang geoteknik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Lapisan *geofom* pada tanah asli mempengaruhi parameter nilai kuat geser pada tanah asli.
2. Kohesi (c) pada tanah asli yang dilapisi *geofom* memiliki nilai yang lebih kecil dibanding kohesi (c) pada tanah asli.
3. Sudut geser dalam (ϕ) pada tanah asli yang dilapisi *geofom* memiliki nilai yang lebih besar dibanding sudut geser dalam (ϕ) pada tanah asli.
4. Pada pengujian *direct shear* pada tanah asli didapatkan nilai kohesi (c) sebesar 0,1253 kgf/cm² dan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 13,23°.
5. Pada pengujian *direct shear* pada tanah asli + *geofom* didapatkan nilai kohesi (c) sebesar 0,5296 kgf/cm² dan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 1,01°.
6. Nilai $R_{interface}$ dari interaksi antara tanah dengan *geofom* adalah 0,07.
7. Lapisan *geofom* pada tanah asli dapat mengurangi jumlah penurunan tanah saat konsolidasi.
8. Lapisan *geofom* pada tanah asli dapat meningkatkan nilai *Shear stress* saat mengalami keruntuhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada PT. Dinar Makmur atas tersedianya material *geofom* untuk pengujian di laboratorium mekanika tanah Universitas Kristen Maranatha.

DAFTAR PUSTAKA

- Basti, T. H., Chenari, R. J., Payan, M., & Senetakis, K. (2021). Monotonic, cyclic and post-cyclic *shearing* behavior of sand-EPS *geofom* interface. *Geosynthetics International*, 28(3), 259–278. <https://doi.org/10.1680/jgein.20.00041>
- Dabiri, R., & Hasanpouri Notash, N. (2020). Evaluation of *geofom* effects on seismic response in cantilever retaining wall. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(2), 2097–2116. <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01151-1>
- Fitriansyah, M., Setiawan, I., & Pradhitya, D. (2019). Perilaku interaksi tanah gambut - geotekstil studi kasus di tanah gambut di Kabupaten Banjar. *Seminar Nasional Infrastruktur Berkelanjutan Era Revolusi Industri 4.0*, 29–32.
- Hasbollah, D. Z. A., Junin, R., Taib, A. M., & Mazlan, A. N. (2020). Basin Evaluation of CO₂ Geological Storage Potential in Malay Basin, Malaysia. In P. D. Long, N. T. Dung (Eds.), *Lecture Notes in Civil Engineering: Vol. 62. Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development* (pp. 1405-1410). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2184-3_184
- Khajeh, A., Jamshidi Chenari, R., & Payan, M. (2020). A review of the studies on soil-eps composites: beads and blocks. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(4), 3363–3383. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01252-2>
- Khan, M. I., & Meguid, M. A. (2021). Evaluating the role of *geofom* properties in reducing lateral loads on retaining walls: a numerical study. *Sustainability*, 13(9), 4754.
- Tafreshi, S. M., Siabil, S. A. G., & Dawson, A. R. (2020). Expanded polystyrene *geofom*. In P. Samui, N. R. Iyer, D. Kim, S. Chaudhary (Eds.), *New Materials in Civil Engineering* (pp. 117-153). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818961-0.00004-1>
- Zhang, W. G., Zhang, R. H., Han, L., & Goh, A. T. C. (2019). Engineering properties of the Bukit Timah Granitic residual soil in Singapore. *Underground Space (China)*, 4(2), 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2018.07.001>