



## Analisis Kestabilan Tanah Dengan Campuran Bakteri *Bacillus Subtilis* Di Daerah Aktivitas Geothermal Lahendong

Edgar V. Kaunang<sup>#a</sup>, Steeva G. Rondonuwu<sup>#b</sup>, Oktovian B. A. Sompie<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia  
<sup>a</sup>kaunangvito@gmail.com, <sup>b</sup>steeva\_rondonuwu@unsrat.ac.id, <sup>c</sup>bsompie@yahoo.com

### Abstrak

Tanah di wilayah panas bumi memiliki ciri yang berbeda dengan tanah pada umumnya dimana keberadaan uap panas dari panas bumi mempengaruhi kondisi suhu dan kelembaban tanah di daerah tersebut. Untuk menghindari kegagalan pembangunan infrastruktur terutama di area eksplorasi panas bumi maka diperlukan kajian khusus untuk menghindari masalah tersebut yaitu dengan melakukan stabilisasi tanah. Metode stabilisasi tanah yang umum digunakan saat ini adalah metode mekanis dengan menggunakan alat berat untuk memadatkan tanah. Seiring dengan perkembangan teknologi dan juga upaya melesetarikan fungsi lingkungan hidup, dikembangkanlah inovasi stabilisasi tanah secara *bio-grouting* yaitu menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai stabilisator tanah yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap nilai kuat geser tanah yang berada di wilayah eksplorasi milik PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong. Percobaan ini dilakukan dengan cara mencampurkan reagen bakteri dan tanah asli dengan variasi 5%, 10%, dan 15% serta diperam dengan waktu 7 sampai 14 hari dan dilakukan uji kuat geser langsung (*Direct Shear*) untuk mendapatkan nilai parameter kuat geser tanah yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\Phi$ ). Dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penambahan reagen bakteri terhadap tanah, semakin besar persentase bakteri yang ditambahkan dan semakin lama diperam, nilai parameter kuat geser tanah meningkat.

*Kata kunci:* stabilisasi tanah, bakteri *Bacillus Subtilis*, kuat geser tanah

### 1. Pendahuluan

Tanah menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pondasi untuk membangun suatu bangunan. Kondisi tanah yang kurang baik dan daya dukung yang rendah dapat menyebabkan kegagalan infrastruktur. Sehingga apabila ada tanah yang memiliki kondisi yang kurang stabil maka diperlukan stabilisasi terhadap tanah tersebut.

Stabilisasi ialah suatu tindakan yang dilakukan guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu untuk meningkatkan daya dukung tanah. Ada beberapa metode umum yang digunakan untuk stabilisasi tanah yaitu metode mekanik dan kimiawi. Namun, kedua metode tersebut masih memberikan pengaruh yang kurang baik bagi lingkungan hidup. Seiring perkembangan teknologi dan untuk memenuhi kebutuhan dalam upaya stabilisasi tanah, maka dikembangkanlah inovasi melalui metode *bio-grouting* sebagai teknik stabilisasi tanah yang ramah lingkungan.

Metode *bio-grouting* merupakan salah satu metode stabilisasi tanah dengan cara menambahkan mikroorganisme ke dalam tanah yang kemudian bereaksi dan membantu meningkatkan daya dukung tanah. Pada penelitian ini, metode *bio-grouting* dilakukan dengan menambahkan bakteri *Bacillus Subtilis*.

Penelitian ini diawali dengan beberapa rumusan masalah seperti bagaimana karakteristik tanah yang digunakan pada penelitian, bagaimana pengaruh penambahan variasi bakteri serta

waktu pemeraman terhadap nilai parameter kuat geser tanah.

Batasan permasalahan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian ini antara lain Lokasi pengambilan benda uji dilakukan di PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong, penelitian ini mengkaji sifat fisis dan mekanis tanah, dan meninjau reaksi yang terjadi antara reagen bakteri dengan tanah sehingga bisa meningkatkan daya dukung tanah, serta bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai bahan untuk stabilisasi tanah.

Tujuan pokok pelaksanaan penelitian adalah menganalisis dan mengkaji pengaruh penambahan bakteri dan masa pemeraman terhadap perubahan nilai parameter kuat geser tanah.

## 2. Landasan Teori

Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Metode umum yang digunakan untuk stabilisasi tanah adalah dengan metode mekanis yaitu memadatkan tanah menggunakan alat berat. Dalam pelaksanaannya, metode tersebut masih memberikan pengaruh yang kurang baik bagi lingkungan seperti adanya emisi karbon dan kebisingan yang muncul dari penggunaan alat berat.

Stabilisasi tanah perlu dilakukan guna menunjang efektivitas tanah yang akan digunakan sebagai tanah dasar untuk membangun pondasi dari suatu infrastruktur. Namun, perlu juga memperhatikan kelestarian dan pengelolaan lingkungan hidup secara berkelanjutan. Perkembangan dunia teknologi memunculkan inovasi stabilisasi tanah melalui metode *bio-grouting* yaitu dengan penambahan mikroorganismen ramah lingkungan guna meningkatkan daya dukung tanah.

Metode *bio-grouting* dapat dilakukan dengan menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* yang menghasilkan  $\text{CaCO}_3$  yang dapat mengisi kekosongan (pori) sekaligus sebagai pengikat partikel tanah. Pengendapan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) bertindak sebagai pengikat kristal antar sel untuk merangsang proses sementasi diantara butiran tanah (Sinambela, 2023).

## 3. Metode Penelitian

### Benda Uji

Benda uji terdiri dari tanah asli geotermal dengan penambahan reagen bakteri yang dibuat sebagai bahan uji campuran yang terdiri dari bakteri *Bacillus Subtilis*, Urea,  $\text{CaCl}_2$ , dan air.

**Tabel 1.** Bahan Larutan Reagen Bakteri

NO	BAHAN	KUANTITAS
1	<i>Bacillus Subtilis</i>	10 ml
2	Urea	100 gr
3	$\text{CaCl}_2$	10 gr
4	Air	50 ml

Tabel 1 di atas menunjukkan komposisi bahan yang digunakan untuk membuat campuran larutan reagen bakteri yang akan dicampurkan ke dalam tanah.

**Tabel 2.** Komposisi Campuran Benda Uji

No	Tanah Geotermal	Reagen Bakteri (%)	Masa Peram
<b>A. Tanah Asli</b>			
1	Tanah Asli	-	0
<b>B. Benda Uji Campuran</b>			
1	Sampel 1	5	7
2	Sampel 2	10	7
3	Sampel 3	15	7

No	Tanah Geothermal	Reagen Bakteri (%)	Masa Peram
4	Sampel 4	5	14
5	Sampel 5	10	14
6	Sampel 6	15	14

Tabel 2 di atas menunjukkan komposisi bahan dan persentase campuran reagen bakteri yang digunakan. Metode pembuatan benda uji adalah dengan 1000 gr sampel tanah asli, ditambahkan dengan campuran reagen bakteri sesuai dengan kadar perencanaan (% berat kering tanah asli).

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan adalah pengujian yang dilakukan sebelum tanah asli dicampurkan dengan bakteri *Bacillus Subtilis*. Pada pengujian pendahuluan ini, dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanis antara lain kadar air, berat jenis, batas-batas Atterberg, dan pemandatan serta berdasarkan hasil pengujian karakteristik tanah, dilakukan penentuan klasifikasi tanah yang digunakan sebagai benda uji.

###### 4.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

No	Karakteristik	Nilai
1	Kadar Air (W)	8.86 %
2	Berat Jenis (Gs)	2.5 gr/cm <sup>3</sup>
3	Batas Cair (LL)	56.26 %
4	Batas Plastis (PL)	36.42 %
5	Indeks Plastisitas (PI)	19.83 %
6	Analisa Saringan Lolos Saringan No. 4 Lolos Saringan No.40 Lolos Saringan No. 200	100 % 15.72 % 2.00 %
7	Kadar Air Optimum (W <sub>opt</sub> )	34.43 %
8	Berat Isi Kering (γ <sub>dry</sub> )	1.33 gr/cm <sup>3</sup>

Berdasarkan pada Tabel 3 menunjukkan hasil dari pengujian karakteristik tanah yang digunakan sebagai benda uji pada penelitian ini.

###### 4.2.1 Klasifikasi Tanah

Berdasarkan klasifikasi USCS menjelaskan lebih dari 50 % Fraksi Kasar Lolos Saringan No. 4 adalah jenis Pasir dengan butiran kasar dan sesuai dengan analisis nilai koefisien keseragaman (Cc) dan koefisien gradasi (Cu) maka tanah tergolong ke jenis tanah (SW) dan klasifikasi AASHTO menyatakan bahwa tanah yang 35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan no. 200 adalah tanah berbutir dan yang lolos saringan no. 200 maks 35 % termasuk kelompok A-2-7 (kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung), sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah geothermal dari Cluster-13 PT PGE Tbk Area Lahendong termasuk klasifikasi “Tanah berpasir dengan butiran kasar” serta jenis tanah yang memiliki tingkat plastisitas sedang.

##### 4.2 Pengujian Utama

Pengujian utama pada penelitian ini merupakan pengujian dimana benda uji yaitu tanah geothermal dicampurkan dengan persentase bakteri yang direncanakan, kemudian dilakukan

pengujian kuat geser tanah melalui uji kuat geser langsung untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\Phi$ ).

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Kuat Geser Tanah

Tanah Uji	No	Berat Beban (Kg)	Berat Ring (g)	F (cm <sup>2</sup> )	Teg. Normal (kPa)	Teg. Geser (kPa)
Tanah Asli	I	2	41.4	31.156	9.6288	15.107
	II	6	41.4	31.156	19.258	19.048
	III	9	41.4	31.156	28.886	25.616
Tanah Camp 5%, 7 hari	I	2	41.4	31.156	9.6288	15.764
	II	6	41.4	31.156	19.258	24.960
	III	9	41.4	31.156	28.886	27.587
Tanah Camp 10%, 7 hari	I	2	41.4	31.156	9.6288	17.734
	II	6	41.4	31.156	19.258	26.273
	III	9	41.4	31.156	28.886	30.214
Tanah Camp 15%, 7 hari	I	2	41.4	31.156	9.6288	19.705
	II	6	41.4	31.156	19.258	32.842
	III	9	41.4	31.156	28.886	36.126
Tanah Camp 5%, 14 hari	I	2	41.4	31.156	9.6288	26.273
	II	6	41.4	31.156	19.258	32.842
	III	9	41.4	31.156	28.886	45.322
Tanah Camp 10%, 14 hari	I	2	41.4	31.156	9.6288	27.587
	II	6	41.4	31.156	19.258	39.410
	III	9	41.4	31.156	28.886	49.920
Tanah Camp 15%, 14 hari	I	2	41.4	31.156	9.6288	31.528
	II	6	41.4	31.156	19.258	49.410
	III	9	41.4	31.156	28.886	55.174

(Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2025)

Pada Tabel 4 menunjukkan data hasil pengujian kuat geser langsung tanah. Pengujian dilakukan terhadap tanah asli dan tanah yang terstabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* pada masa pemeraman 7 dan 14 hari. Dari hasil pengujian diperoleh hubungan antara nilai tegangan normal dan tegangan geser. Rumus untuk mendapatkan nilai tegangan normal dan tegangan geser adalah:

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

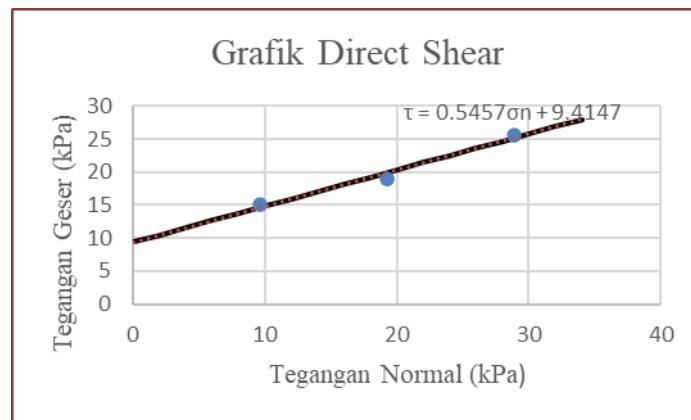
$$\text{Tegangan Geser} = \frac{\text{Gaya Geser (T)}}{\text{Luas Penampang (A)}}$$

## 1. Nilai Kuat Geser Tanah Asli

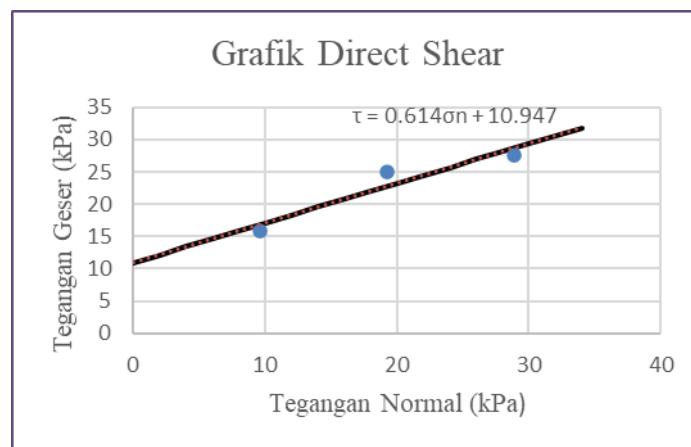
Pada Gambar 1 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 9.41 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 28.62°.

## 2. Nilai Kuat Geser Tanah Camp. 5% (Masa peram 7 hari)

Pada Gambar 2 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) = 10.94 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 31.54°.



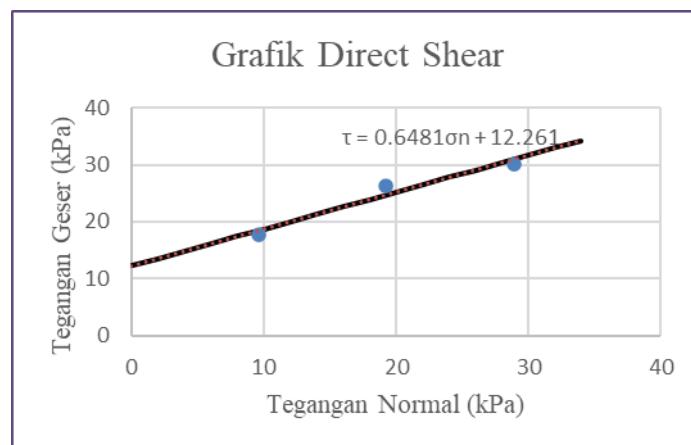
**Gambar 1.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Tanah Asli)



**Gambar 2.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Camp. 5% - 7 hari)

### 3. Nilai Kuat Geser Tanah Camp. 10% (Masa peram 7 hari)

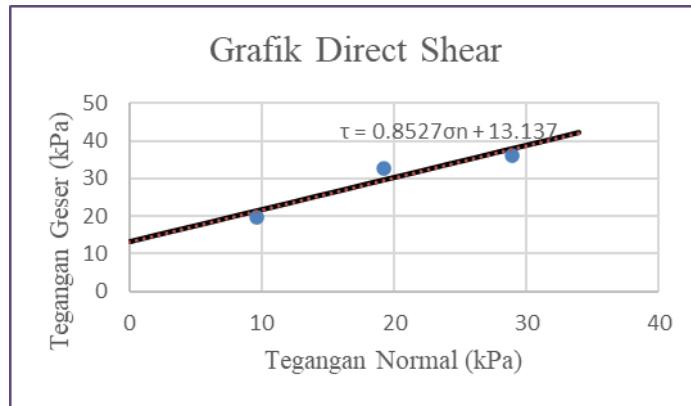
Pada Gambar 3 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 12.26 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 32.94°.



**Gambar 3.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Camp. 10% - 7 hari)

#### 4. Nilai Kuat Geser Tanah Camp. 15% (Masa peram 7 hari)

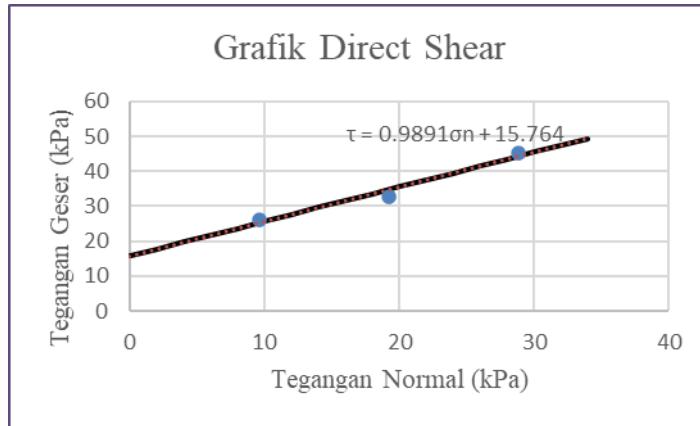
Pada Gambar 4 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 13.13 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 40.45°.



Gambar 4. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Camp. 15% - 7 hari)

#### 5. Nilai Kuat Geser Tanah Camp. 5% (Masa peram 14 hari)

Pada 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 ( $c$ ) = 15.76 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 44.68°.



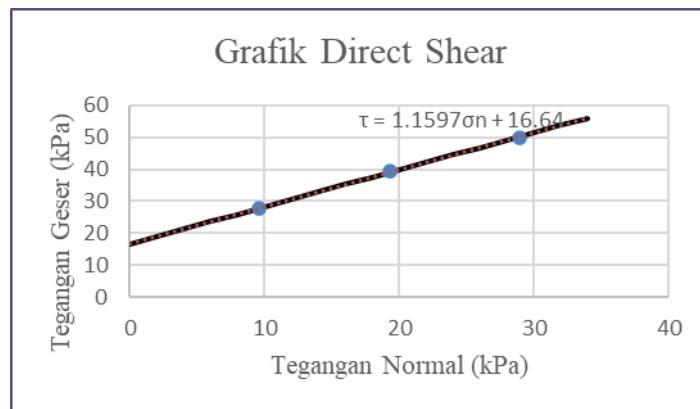
Gambar 5. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Camp. 5% - 14 hari)

#### 6. Nilai Kuat Geser Tanah Camp. 10% (Masa peram 14 hari)

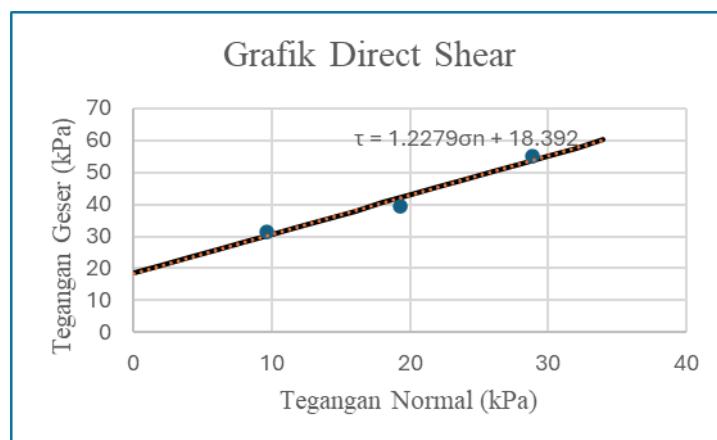
Pada Gambar 6 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 16.64 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 49.22°.

#### 7. Nilai Kuat Geser Tanah Camp. 15% (Masa peram 14 hari)

Pada Gambar 7 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 ( $c$ ) = 18.39 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 50.84°.



**Gambar 6.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Camp. 10% - 14 hari)



**Gambar 7.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Camp. 15% - 14 hari)

#### 4.3 Hubungan Penambahan Bakteri dan Parameter Kuat Geser Tanah

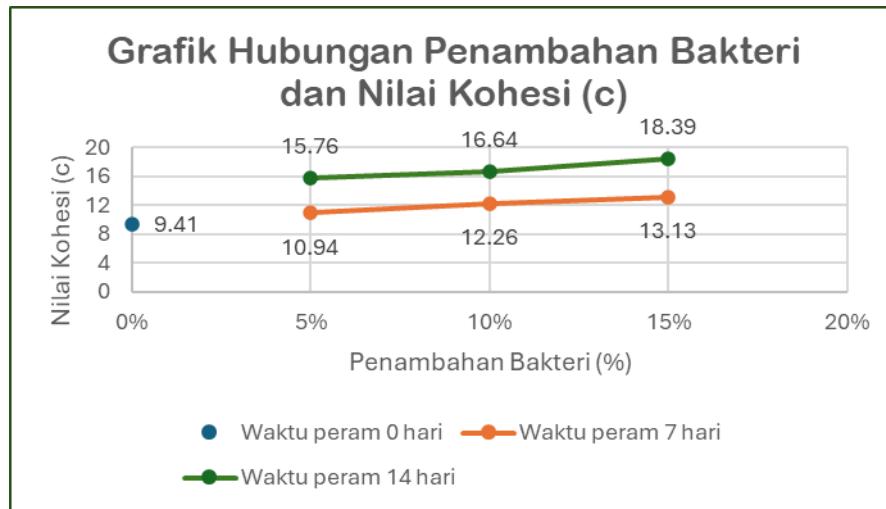
Pencampuran dengan larutan bakteri *Bacillus Subtilis* yang mampu bereaksi dengan tanah, sehingga menjadikan butiran tanah lempung menjadi lebih besar, tekstur yang kasar dan sifatnya nonkohesif dapat mempengaruhi gradasi butirannya dengan demikian dapat meningkatkan kuat gesernya.

**Tabel 5.** Analisa Parameter Kuat Geser Tanah

No	Tanah Geotermal	Masa Peram	Nilai Kohesi (c)	Sudut Geser Dalam (Phi)
1	Tanah Asli	0	9.414	28.62°
2	Tanah Camp. 5%	7	10.947	31.54°
3	Tanah Camp. 10%	7	12.261	32.94°
4	Tanah Camp. 15%	7	13.136	40.45°
5	Tanah Camp. 5%	14	15.764	44.68°
6	Tanah Camp. 10%	14	16.640	49.22°
7	Tanah Camp. 15%	14	18.391	50.84°

Pada Tabel 5 di atas menjelaskan hasil keseluruhan nilai parameter kuat geser tanah akibat pengaruh dari penambahan persentase larutan bakteri *Bacillus Subtilis* serta masa peram yaitu 7 dan 14 hari.

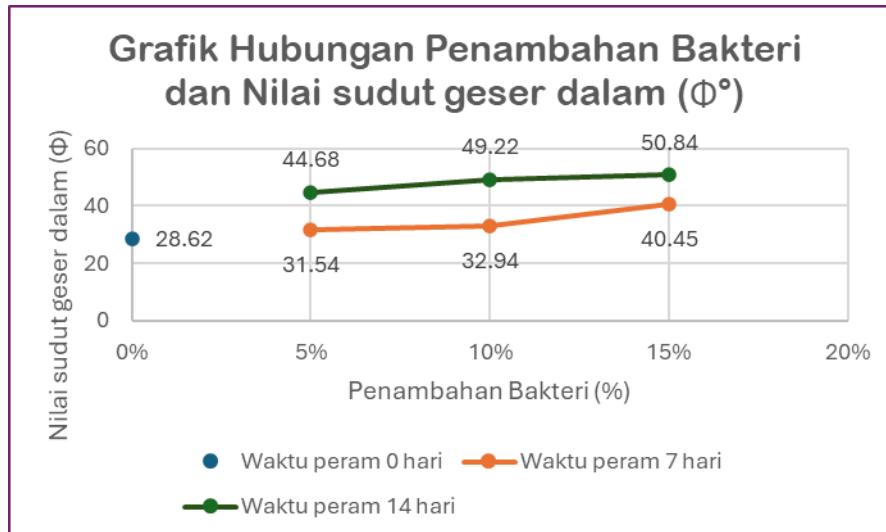
### A. Hubungan Penambahan Bakteri dan Nilai Kohesi (c)



Gambar 8. Grafik Hubungan Penambahan Bakteri (%) dan Nilai kohesi (c)

Dari Gambar 8 di atas menunjukkan bahwa peningkatan kualitas geser tanah akibat penambahan larutan bakteri tersebut dapat dilihat dari adanya peningkatan nilai kohesi seiring dengan penambahan bakteri *Bacillus Subtilis*. Sebelumnya tanah asli mempunyai nilai kohesi (c) 9.414 kPa dan setelah dilakukan pencampuran larutan bakteri nilai kohesi (c) terus mengalami kenaikan hingga penambahan larutan bakteri sebanyak 15%. Selain itu juga menunjukkan bahwa seiring bertambahnya masa pemeraman hingga 14 hari nilai kohesi tanah juga mengalami peningkatan.

### B. Hubungan Penambahan Bakteri dan Nilai Sudut Geser Dalam ( $\Phi$ )



Gambar 9. Grafik Hubungan Penambahan Bakteri (%) dan Nilai Sudut geser dalam ( $\Phi$ )

Dari Gambar 9 di atas menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan larutan bakteri hingga 15% dan masa pemeraman hingga 14 hari, sudut geser tanah mengalami peningkatan. Dengan meningkatnya sudut geser tersebut berarti pula, bahwa kualitas geser tanah menjadi semakin baik sebab sudut keruntuhan tanah akibat beban horisontal semakin besar.

#### 4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah yang

digunakan pada penelitian, menunjukkan bahwa tanah geotermal yang digunakan sebagai benda uji memiliki kadar air sebesar 8.86%, berat jenis 2.5 gr/cm<sup>3</sup>, batas cair 56.26 %, batas plastis 36.42 %, dan indeks plastisitas 19.83 %, serta kadar air optimum 34.43 % dan berat isi kering sebesar 1.33 gr/cm<sup>3</sup>.

Pengujian kuat geser tanah dilakukan untuk mengetahui pengaruh perawatan tanah dengan bakteri *Bacillus Subtilis* dalam memperbaiki daya dukung tanah. Pengujian kuat geser dilakukan melalui uji kuat geser langsung (*direct shear test*) terhadap tanah asli (tanpa pengaruh bakteri *Bacillus Subtilis*) dan tanah yang terstabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* untuk melihat perbandingan nilai daya dukung tanah tersebut sebelum dan sesudah terstabilisasi bakteri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah yang terstabilisasi *Bacillus Subtilis* memiliki kuat geser yang lebih tinggi dibandingkan tanah asli. Dengan pencampuran bakteri sebanyak 5%, 10%, dan 15% serta masa pemeraman selama 7 dan 14 hari, nilai parameter kuat geser tanah mengalami peningkatan yang berbanding lurus dengan penambahan bakteri dan waktu peramnya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis* dapat mempengaruhi kuat geser tanah dan meningkatkan daya dukungnya.

Hasil analisis pengujian menunjukkan bahwa tanah yang terstabilisasi dengan *Bacillus Subtilis* dapat meningkatkan kuat gesernya dibandingkan tanah yang tidak terstabilisasi. Hal ini membuktikan bahwa bakteri tersebut dapat berperan sebagai agen pengikat tanah yang efektif serta ramah terhadap lingkungan hidup karena bakteri ini adalah jenis bakteri yang tidak bersifat patogen sehingga tidak menimbulkan penyakit bagi makhluk hidup.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian-pengujian yang telah dilakukan dan sesuai dengan tujuan penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil pengujian fisik diperoleh nilai kadar air 8.86%, berat jenis tanah sebesar 2,5 gr/cm<sup>3</sup>, berat isi kering maksimum 1.339 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air optimum 34.432%, batas cair (LL) 56.266 %, batas plastisitas (PL) 36.429 %, dan indeks plastisitas (PI) 19.838%. Berdasarkan klasifikasi *Unified* tanah pada penelitian ini tergolong ke dalam golongan SW yaitu tanah berpasir dengan butiran kasar dan berdasarkan klasifikasi AASHTO, tergolong pada kelompok tanah A-2-7.
2. Penambahan *Bacillus Subtilis* terbukti dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Dimana nilai parameter kuat geser tanah, yaitu: Nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi^\circ$ ) mengalami peningkatan yang berbanding lurus dengan penambahan konsentrasi larutan bakteri.
3. Seiring bertambahnya masa pemeraman, nilai kuat geser tanah terstabilisasi *Bacillus Subtilis* mengalami peningkatan. Dengan penambahan bakteri sebesar 15% dan pemeraman 14 hari memberikan kenaikan yang lebih besar dibandingkan tanah tanpa stabilisasi *Bacillus Subtilis*.

#### Referensi

- Antoni. (2019). Biosementasi Tanah Pasir dengan Cangkang Telur Ayam (*Gallus domesticus*). Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Syarif Hidayattullah.
- Boleng, D. (2015). Bakteriologi. UMM Press.
- Chlara, C. A. (2019). Evaluasi Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah Ekspansif Terstabilisasi *Bacillus Subtilis*. Program Sarjana Depatemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
- Darwis, H. (2018). Dasar-dasar Mekanika Tanah. Pena Indis.
- Dejong, J. T., Mortensen, B. M., Martinez, Brian. C., & Nelson, D. C. (2010). Bio-mediated Soil Improvement. Ecological Enggining 36(2010) 197-210, 197–210.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I. Gadjah Mada University Press.
- Hartono, A. (2020). Studi Eksperimental Perbaikan Sifat Fisik Tanah Gambut Menggunakan Campuran Pasir dan Teknik Bio-Grouting Dengan Bantuan Bakteri *Bacillus Subtilis*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau.
- Mawardi. (2021). Penambahan Mikroba *Bacillus Subtilis* dan Pasir Untuk Stabilisasi Tanah Gambut.
- M.Das, B., Noor, E., & B.M, I. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Erlangga.
- Riwayati, RR. S., Yuniar, & Risma. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Kapur Untuk Lapisan Tanah Dasar Konstruksi. Jurnal Teknik Sipil UNPAL Vol 8, No 2, Nov 2018.

- Rugayya, S., Badaruddin, & Asrafil. (2023). Distribusi Temperatur Tanah Pada Area Manifestasi Panas Bumi Lompo, Kabupaten Donggala Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat Volume 20, Nomor 3, Oktober 2023 1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)*.
- Sinambela, A., Rondonuwu, S., & Legrans, R. (2023). Potensi Penggunaan *Bacillus Subtilis* Untuk Stabilisasi Tanah Bekas Tambang. *TEKNO Volume 21, No. 86, Tahun 2023 p-ISSN: 0215-9617*.