

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasir merupakan jenis tanah non kohesif (*cohesionless soil*) yang mempunyai sifat yaitu antar butiran lepas, hal ini ditunjukkan dengan butiran tanah yang akan terpisah – pisah apabila dikeringkan dan hanya akan melekat apabila dalam keadaan yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan. Pasir dapat dideskripsikan sebagai bergradasi baik, bergradasi buruk, bergradasi seragam atau bergradasi timpang.

Tanah pasir merupakan tanah dimana kekuatan gesernya bergantung pada gesekan antar partikel (Terzaghi et al, 1993). Tanah non kohesif mempunyai sifat antar butiran lepas (*loose*), hal ini ditunjukkan dengan butiran tanah yang akan terpisah-pisah apabila dikeringkan dan hanya akan melekat apabila dalam keadaan basah yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan. Tanah non kohesif tidak mempunyai garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Tetapi dalam beberapa kondisi tertentu, tanah non kohesif dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental (Bowles, 1986).

Salah satu jenis tanah yang sering menjadi objek untuk distabilisasi adalah tanah pasir. Sifat tanah pasir yang memiliki daya dukung rendah dan cenderung mudah tidak stabil dan mudah terhambur terutama jika diberi tekanan ataupun tergeser. Salah satu dampak kegagalan struktur akibat tanah non-kohesif ini adalah likuifaksi, dimana kondisi tanah kehilangan daya dukungnya sehingga terjadi kerusakan pada bangunan dan struktur dalam tanah. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak kegagalan yang berlebihan pada tanah pasir disertai upaya meningkatkan daya dukungnya, maka perlu dilakukan usaha stabilisasi pada tanah tersebut. Kerusakan akibat tanah non-kohesif dapat diatasi dengan proses stabilisasi. Stabilisasi dapat dilakukan dengan meningkatkan kerapatan tanah sehingga terjadinya peningkatan mutu tanah pasir. Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang digunakan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah dasar sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik.

Hal tersebut dimaksudkan juga untuk dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya (Heryono, 2007). Ada beberapa metode stabilisasi tanah yang biasanya digunakan dalam upaya untuk memperbaiki mutu tanah dasar yang kurang baik mutunya. Metode tersebut antara lain yaitu stabilisasi mekanik dan stabilisasi kimiawi yang dilakukan dengan cara menambahkan *stabilizing agents* pada tanah dasar yang akan ditingkatkan mutunya.

Upaya perbaikan yang dapat dilakukan pada tanah jenis pasir adalah dengan penambahan bahan kimia dalam hal ini menggunakan metode *mixing soil*. Dalam penelitian ini pencampuran dilakukan dengan *mixing* manual. *Mixing* dilakukan dengan mencampurkan bahan stabilisasi bersamaan dengan tanah pasir. *Mixing Soil* ini dapat diterapkan untuk memperbaiki kondisi tanah pasir yang berisiko mengalami kerusakan, dengan kemampuan mengubah tanah berpasir yang memiliki sifat lepas menjadi lebih

padat. Dalam penelitian ini, digunakan metode pencampuran tersebut dengan menggunakan bahan stabilisasi berupa bakteri *bacillus subtilis* dan *bacillus tropicus*.

Berbagai penelitian telah dilakukan mengenai metode stabilisasi tanah menggunakan bakteri sebagai mikroorganisme. Sejumlah studi telah membuktikan efektivitas metode biosementasi dengan *bacillus subtilis* dalam memperkuat tanah lunak (Alkadri et al., 2023; Hasriana et al., 2018; Samang et al., 2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bakteri melalui biosementasi berhasil meningkatkan daya dukung tanah. Penggunaan mikroorganisme ini dianggap sebagai solusi alternatif yang menarik, terutama di tengah dominasi penggunaan bahan kimia dan sintesis dalam konstruksi sipil. Namun, sejauh ini belum ditemukan banyak studi yang secara khusus menggunakan *Bacillus tropicus* untuk stabilisasi tanah dalam konteks konstruksi atau teknik sipil. *Bacillus tropicus* memiliki potensi untuk menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat memperkuat tanah melalui proses biosementasi. Ini juga menjadi peluang besar untuk mengeksplorasi kemampuan bakteri ini dalam memperkuat tanah walaupun bakteri lain seperti *bacillus subtilis* telah terbukti efektif, *bacillus tropicus* bisa menjadi alternatif yang menarik untuk diuji.

Berdasarkan uraian di atas, maka akan dilakukan penelitian mengenai stabilisasi sifat mekanik tanah pasir dengan bakteri dengan metode biosementasi. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah pasir sedangkan jenis bakteri yang digunakan adalah *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus*.

Alasan menggunakan jenis bakteri ini adalah selain karena bakteri merupakan bahan yang ramah lingkungan, ada beberapa keunggulan lain yang bisa menjadi opsi dalam penggunaan bahan stabilisasi bakteri. Pertama, bakteri dapat menghasilkan kalsit atau kristal kalsium karbonat yang mengubah butiran pasir menjadi batuan pasir, memperkuat struktur tanah. Selain itu, tanah mudah beradaptasi dengan bakteri karena bakteri tersebut berasal dari pengembangbiakan mikroorganisme yang sudah ada dalam tanah. Hal ini memungkinkan bakteri untuk berinteraksi secara alami dengan tanah, meningkatkan efektivitas biosementasi tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Serta potensi peningkatan kekuatan tanah secara bertahap selama masa pemeraman. Adapun judul dari penelitian ini adalah **“Studi Kuat Geser dan Kuat Tekan Tanah Pasir Yang Distabilisasi Dengan Bakteri”**.

1.1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, rumusan masalah yang akan dikaji adalah:

1. Bagaimana karakteristik fisik dan mekanis pada tanah pasir ?
2. Berapa komposisi optimum campuran *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus* untuk stabilisasi tanah jenis pasir loose ?
3. Bagaimana pengaruh stabilisasi *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus* terhadap peningkatan kuat geser dan kuat tekan tanah pasir loose dengan alat uji *direct sheart test* dan *unconfined compression test*?

1.1.2 Tujuan Penelitian/Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian dalam tulisan ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik tanah pasir yang digunakan dalam penelitian.
2. Menentukan komposisi optimum campuran *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus* untuk stabilisasi tanah jenis pasir.
3. Mengetahui pengaruh nilai sudut geser dan nilai kuat tekan tanah stabilisasi *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus* menggunakan uji *direct sheart test* dan *unconfined compression test*.

1.1.3 Manfaat Penelitian/Perancangan

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang hasil stabilisasi yang optimum pada penelitian ini.
2. Hasil analisis dapat memberikan informasi bahwa bakteri *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus* sebagai bahan yang ramah lingkungan dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah jenis pasir yang diukur berdasarkan parameter geser langsung dan kuat tekan bebas.

1.1.4 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Ruang lingkup dalam penelitian pengujian stabilisasi tanah ini dibuat untuk menghindari cakupan penelitian yang lebih luas agar penelitian dapat berjalan efektif, serta dapat mencapai sasaran yang diinginkan. Penelitian ini mencakup;

1. Pengujian eksperimental laboratorium karakteristik mekanis tanah denganteknologi biosementasi bakteri meliputi sifat fisis dan mekanik tanah pasir yang distabilisasi dengan bakteri.
2. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah pasir.
3. Bakteri yang digunakan adalah bakteri *Bacillus subtilis* dan *Baccilus tropicus*.
4. Menggunakan kultur bakteri 4 hari serta persentase bakteri yang digunakan yaitu 4%, 6% dan 8% dengan pemeraman 3, 7, 14, 28 hari.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Defenisi dan Klasifikasi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain denganbahan-bahan

organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan zat gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat (Das et al., 2018)

Tanah mempunyai peran penting yang erat kaitannya dengan perencanaan struktur bangunan karena didirikan langsung diatas tanah. Tanah memiliki spesifikasi dan perilaku yang berbeda untuk setiap jenisnya, sehingga memerlukan perlakuan yang berbeda baik secara mekanis maupun kimiawi agar dapat memenuhi spesifikasi teknis tertentu. Perlakuan tersebut tidak dapat dipisahkan karena berkaitan erat satu sama lain (Dhani et al., 2021).

Tanah dapat dibagi atas tiga jenis sifat lekatan yaitu tanah kohesif, tanah non kohesif dan tanah organik yang didefinisikan sebagai berikut:

1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya atau mengandung lempung yang cukup banyak.
2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya atau hampir tidak mengandung lempung.
3. Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik.

Tanah terbentuk melalui proses pelapukan fisik dan kimiawi. Ukuran dari bagian penyusun batuan yang telah lapuk pun dapat berkisar dari yang terkecil (*Koloid*) hingga yang terbesar (*Boulders*). Ini menyiratkan bahwa semua unsur pelapukan dari batuan tidak dapat disebut tanah. Menurut ukuran butirannya, partikel tanah diklasifikasikan sebagai kerikil, pasir, lanau dan lempung.

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanahnya. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya. Umumnya klasifikasi didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (percobaan sedimentasi) dan plastisitasnya (Hardiyatmo, 2012)

Beberapa sistem klasifikasi yang umum digunakan dalam bidang teknik sipil yang telah dikembangkan *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, *U.S. Department of Agriculture (USDA)*, *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, dan oleh *U.S. Army Corps of Engineers* dan *U.S. Bureau of Reclamation* yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai Unified Soil Classification System (USCS). Pada saat sekarang sistem Unified (USCS) telah diterima di seluruh dunia, sistem ini telah dipakai pula oleh *American Society of Testing and Material (ASTM)*. Batasan-batasan ukuran golongan tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Batasan-batasan ukuran golongan tanah

Soil Classification System	Grain size (mm)			
	Gravel	Sand	Silt	Clay
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2-0.06	0.06-0.002	<0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2-0.05	0.05-0.002	<0.002
American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)	76.2-2	2-0.075	0.075-0.002	<0.002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S Bureau of Reclamation)	76.2-4.75	4.75-0.075	Fine-grained (i.e. silt and clay) <0.0075	

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

Saat ini, dua sistem klasifikasi yang biasanya digunakan untuk mempertimbangkan distribusi ukuran partikel dan batas *atterberg* yaitu sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dan *Unified Soil Classification System*. (Das et al., 2018)

1.2.2 Klasifikasi Menurut AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan; yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M 145).

Dalam sistem ini tanah diklasifikasikan menjadi tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang termasuk dalam golongan A-1, A-2 dan A-3 termasuk dalam tanah berbutir, dimana 35% atau kurang dari jumlah tanah tersebut lolos ayakan no. 200. Sedangkan tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos ayakan no.200 yang masuk dalam golongan A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah lempung atau lanau. Kriteria dalam menentukan golongan tanah dapat diperhatikan dalam lampiran 2 Klasifikasi Tanah berdasarkan sistem AASHTO. (L Braja et al., 1998). Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1. Ukuran butir:
 - a. Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2mm).

- b. Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).
- c. Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

Plastisitas:

Tanah berlanau mempunyai indeks plastisitas (*plasticity indeks*, PI) sebesar 10 atau kurang. Pasir adalah tanah yang lolos ayakan no.10 (2mm) dan tertahan ayakan no.200 (0.075 mm), Sedangkan lempung mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih dan lolos ayakan no.200.

2. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

1.2.3 Klasifikasi Unified (USCS)

Sistem yang diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 ini mulanya dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineer* selama Perang Dunia II. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

- 1.) Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- 2.) Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

1.3 Sifat Fisis Tanah

Sifat fisik atau properti tanah dasar pada suatu konstruksi sangat mempengaruhi berbagai elemen konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Properti tanah ditunjukkan dengan berbagai parameter yang disebut dengan indeks properti atau indeks sifat-sifat fisik tanah, seperti berat volume, kadar air, porositas, angka pori, derajat kejenuhan, derajat kepadatan, derajat kerapatan, berat jenis, analisis butiran, batas cair, batas plastis, batas susut dan sebagainya.

1. Kadar Air

Kadar air (water content) adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) di dalam massa tanah, yang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1)$$

dengan: w = Kadar Air, W_w = Berat air, W_s = Berat tanah kering

2. Berat jenis tanah

Berat jenis atau Berat spesifik (Specific Gravity) yaitu perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4°C yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2)$$

Pada Tabel 2 memperlihatkan berat jenis (G_s) pada berbagai jenis tanah.

Tabel 2. Berat jenis (G_s) berbagai jenis tanah

Type of Soil	Specific Gravity (G_s)
<i>Gravel</i>	2.65 – 2.68
<i>Sand</i>	2.65 – 2.68
<i>Inorganic Soil</i>	2.62 – 2.68
<i>Organic Clay</i>	2.58 – 2.65
<i>Inorganic Clay</i>	2.68 – 2.75
<i>Humus</i>	1.37
<i>Peat</i>	1.25 – 1.80

Sumber: Hardiyatmo (2012)

3. Angka Pori

Angka pori adalah perbandingan antara rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). Semakin besar nilai angka pori maka daya dukung tanah semakin kecil. Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad ($$

dengan: e = Angka pori, V_v = Volume pori, V_s = volume butir padat

4. Porositas

Porositas (*porosity*) adalah perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). Nilai porositas dapat dinyatakan dalam satuan persen (%) atau dalam satuan desimal. Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (4)$$

5. Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan (S) adalah perbandingan antara volume air (V_w) dengan volume total rongga pori (V_v). Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut:

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \% \quad (5)$$

Apabila tanah dalam kondisi jenuh air, maka nilai $S = 1$ (100%), jika tanah dalam keadaan kering maka nilai derajat kejenuhannya adalah 0 (0%). Nilai derajat kejenuhan ini dapat digunakan untuk mengklasifikasi konsistensi tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Derajat kejenuhan dan konsistensi tanah

Soil Consistency	Degree of Saturation (S)
<i>Dry Soil</i>	0.00
<i>Slightly damp soil</i>	>0 – 0.25
<i>Moist soil</i>	0.26 – 0.50
<i>Very moist soil</i>	0.51 – 0.75
<i>Wet Soil</i>	0.76 – 0.99
<i>Saturated soil</i>	1.00

Sumber :Hardiyatmo, (2012)

1.4 Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah yang dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis dengan tujuan memperbaiki sifat sifat tanah.

1.4.1 Pemadatan Tanah

Material tanah bukan hanya dimanfaatkan sebagai lapisan pendukung konstruksi, tetapi juga tidak jarang digunakan secara langsung sebagai bahankonstruksi. Tanah yang dimanfaatkan sebagai pendukung konstruksi seperti pada subgrade jalan, lapisan dasar pondasi untuk berbagai jenis konstruksi, dan lain lain. Sedangkan tanah yang digunakan secara langsung sebagai bahan konstruksi seperti *backfill* dinding penahan, *subbase* jalan, material bendung tipe urugan, material tanggul/pematang, dan lain sebagainya. Apabila kondisi tanah kurang baik, maka perlu dilakukan perbaikan, dan metode pemadatan adalah salah satu cara perbaikantanah yang sering dilakukan, baik

untuk tanah yang digunakan sebagai material bangunan maupun tanah yang dimanfaatkan sebagai lapisan dasar pendukung pondasi.

Pada dasarnya pemadatan tanah merupakan salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya dukung dan kekuatan geser, serta memperbaiki sifat-sifat fisis pada tanah. Ada beberapa rumus yang digunakan dalam pengujian ini, diantaranya:

- Menghitung kadar air

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (13)$$

- Menghitung kadar air akhir

$$\omega_{akhir} = \omega_{awal} + \left(\frac{\omega_{awal} + (\text{penambahan air})}{\text{berat tanah}} \right) \times 100 \quad (14)$$

- Menghitung berat volume basah

$$\gamma = \frac{W_w}{V_{mould}} \quad (15)$$

- Menghitung berat kering

$$W_{dry} = \frac{W_w}{1 + \left(\frac{\omega}{100} \right)} \quad (16)$$

- Menghitung berat volume kering

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t} \quad (17)$$

- Menghitung berat volume total

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} = (\gamma_d) \times 1 + \left(\frac{\omega}{100} \right) \quad (18)$$

Kepadatan tanah dapat diukur dengan nilai berat volume kering yang dapat

dicapai (γ_d). Pada proses pemadatan akan memperlihatkan fenomena bahwa “berat volume kering” akan bertambah seiring penambahan kadar air. Pada kadar air nol ($w = 0$), berat volume tanah basah (γ_b), akan sama dengan berat volume tanah kering (γ_d). Apabila kadar air ditambahkan secara berangsur-angsur dan pemadatan tetap dilakukan dengan nilai usaha pemadatan yang sama, maka berat butiran tanah per satuan volume juga akan bertambah.

1.4.2 Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah adalah kekuatan tanah untuk melawan pergeseran yang terjadi di dalam tanah. Apabila tegangan normal tanah melampaui kuat geser tanah, maka akan terjadi ke longoran. Kuat geser tanah diperlukan untuk berbagai macampersoalan praktis terutama untuk menghitung daya dukung tanah, tegangan tanah terhadap dinding penahan tanah dan kestabilan lereng. Uji geser langsung (*direct shear*) merupakan pengujian yang sederhana dan langsung.

Pengujian dilakukan dengan menempatkan contoh tanah ke dalam kotak geser. Kotak ini terbelah, dengan setengah bagian yang bawah merupakan bagian yang tetap dan bagian atas mudah bertranslasi.

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar seperti ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan pematatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada gesernya.
- Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya. Kekuatan geser dapat diukur langsung dengan pemberian beban konstan vertikal (normal) pada sampel dan pemberian gaya geser tertentu dengan kecepatan konstan dan perlahan-lahan untuk menjaga tegangan air pori tetap nol hingga tercapai kekuatan geser maksimum.
- Kekuatan geser tanah tak jenuh dapat dihitung dengan rumus:

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (19)$$

keterangan:

τ_f = Kekuatan Geser

σ = Tegangan total pada bidang geser

u = Tegangan Air Pori

c = Kohesi

ϕ = Sudut Geser

Kekuatan geser tanah dapat diartikan sebagai gaya lawan atau perlawanan yang dilakukan oleh butiran tanah terhadap desakan atau tarikan. Apabila tegangan normal tanah melampaui kuat geser tanah, maka tanah akan mengalami kegagalan atau

kelongsoran. Berdasarkan pengertian ini, ketika terjadi pembebanan pada tanah akan ditahan oleh kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah serta gesekan antar butiran tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya. Adapun Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ sebagai:

$$r = c + \sigma \tan \phi \quad (20)$$

keterangan:

r = Kekuatan Geser

σ = Tegangan total pada bidang

geser c = Kohesi

ϕ = Sudut Geser

Kuat geser sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- Tekanan efektif atau tekanan antar butir.
- Kemampuan partikel atau kerapatan
- Saling keterkuncian antar partikel: jadi, partikel-partikel yang bersudut akan lebih saling terkunci dan memiliki kuat geser yang lebih tinggi yang lebih besar daripada partikel-partikel yang bundar seperti pada tebing-tebing.
- Sementasi partikel, yang terjadi secara alamiah atau buatan. - Daya tarik antar partikel atau kohesi
- Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Shear Test*. Kohesi yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya tanah pada umumnya digolongkan sebagai berikut:

- Tanah berkohesi atau berbutir halus (misal lempung)
- Tanah tidak berkohesi atau berbutir kasar (misal pasir)
- Tanah berkohesi-gesekan, ada c dan ϕ (misal lanau)

Pada pengujian tertentu, tegangan normal dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Tegangan Normal } (\sigma) = \frac{P}{A}$$

Dimana;

σ = Tegangan Normal (kg/cm²)

P = Gaya Normal (kg)

A = Luas Permukaan bidang geser (cm²)

Pada saat melakukan percobaan, nilai tegangan geser didapat dengan menghitung gaya geser yang didapat dari pembacaan maksimum *load ring dial* setelah dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring (LRC), kemudian gaya geser tersebut dibagi dengan luas *shear box*.

$$(T) = \frac{G \times \text{Kalibrasi Proving Ring}}{A} \quad (22)$$

Dimana;

r = tegangan geser (kg/cm²)

G = gaya geser dari pembacaan maksimum *load ring dial*

A = luas penampang *shear box*

- Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini jugadidapatkan dari pengujian *Direct Shear Test*.

1.4.3 Kuat Tekan Bebas

Unconfined Compression Test adalah pengujian laboratorium untuk mengukur seberapa besar kuat dukung tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya dan juga regangan tanah akibat tekanan tersebut.. Metode uji kuat tekan bebas tanah kohesif dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan bebas contoh tanah yang memiliki kohesi, baik tanah tidak terganggu (*undisturbed*), dicetak ulang (*remolded*) maupun contoh tanah yang dipadatkan (*compacted*). Dari kuat tekan bebas dapat diketahui kekuatan geser undrained (C_u), dan juga akan didapat klasifikasi tanah berdasarkan pada konsistensi tanah pada sampel uji (Wani & Mir, 2021).

Percobaan ini merupakan suatu cara pemeriksaan untuk mendapatkan daya dukung tanah. Dalam percobaan ini didapatkan kuat tekan bebas dari suatu tanah yaitu besarnya tekanan aksial yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanh sampai pecah atau sebesar 20% dari tinggi tanah mengalami perpendekan bila tanah tersebut tidak pecah. Pada Tabel 4 memperlihatkan kekuatan tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya. Pada saat benda uji diberi beban maka luascontoh di bagian tengah akan membesar seiring dengan ditambahkannya tegangan. Tegangan aksial berangsur - angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan.

Pada saat keruntuhan karena $\sigma_3 = 0$, maka :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f \quad (23)$$

Kohesi tanah undrained (C_u) adalah :

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad (24)$$

dengan:

σ_1 = tegangan utama mayor tegangan aksial (kg/cm²)

σ_3 = tegangan sel (kg/cm²)

$\Delta\sigma_f$ = tegangan deviator (kg/cm²)

q_u = kuat tekan bebas (kg/cm²)

C_u = kohesi tanah undrained (kg/cm²)

Rumus-rumus yang digunakan untuk pengujian UCT adalah sebagai berikut:

- 1) Regangan aksial (ε)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{h} \quad (25)$$

- 2) Tegangan normal rata-rata (σ_r)

$$\sigma_r = \frac{P}{A_r} \quad (26)$$

- 3) Luas penampang benda uji rata-rata/ terkoreksi (A_r)

$$A_r = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad (27)$$

Dengan :

ε = regangan aksial (%)

σ_r = tegangan normal rata-rata (kg/cm²)

A_r = luas penampang rata-rata (cm²)

h = tinggi benda uji semula (cm)

P_a = beban normal (kg)

ΔL = deformasi (cm)

P = beban (kg)

A_0 = luas penampang (cm²)

N = Pembacaan dial beban (div)

Tabel 4. Kekuatan tekan bebas (q_u) tanah dengan konsistensinya

Consistency	q_u (kg/cm²)
<i>Hard</i>	> 4.00
<i>Very Stiff</i>	2.00 – 4.00
<i>Stiff</i>	1.00 – 2.00
<i>Modarate Stiffness</i>	0.50 – 1.00
<i>Soft Soil</i>	0.25 – 0.50
<i>Very Soft soil</i>	< 0.25

Sumber : Hardiyatmo, (2012)

1.5 Tanah Pasir

Tanah pasir adalah jenis tanah yang terdiri dari butiran mineral kasar dengan ukuran partikel antara 0,06 mm hingga 2 mm. Tanah ini biasanya memiliki karakteristik yang longgar dan berpori, dengan daya ikat antar partikel yang rendah. Karena itu, tanah pasir cenderung memiliki permeabilitas yang tinggi, yang berarti air dapat dengan mudah mengalir melalui tanah ini. Karena butirannya yang besar dan tidak adanya daya ikat yang signifikan, tanah pasir sering kali tidak stabil dan rentan terhadap erosi. Namun, tanah pasir memiliki kompresibilitas rendah, yang berarti tidak mudah memadat atau mengerut di bawah tekanan. Dalam konteks konstruksi, tanah pasir memerlukan teknik stabilisasi tambahan untuk meningkatkan kekuatannya, seperti pemadatan atau penggunaan bahan pengikat seperti semen atau mikroorganisme dalam metode biosementasi. menurut sistem USCS pasir mempunyai ukuran butiran 0.25-0.5 mm. Pasir yang merupakan butiran kasar mempunyai sifat-sifat yang tidak menguntungkan, antaralain;

- Daya ikat antar butiran yang rendah.
- Kompresibilitas rendah
- Permeabilitas tinggi.

1.5.1 Parameter Uji Sifat Fisis dan Mekanis Pasir

Sifat fisik tanah yaitu sifat yang berhubungan dengan elemen penyusunan massa tanah, sedangkan sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari strukturmassa tanah yang dikenai suatu gaya atau tekanan. Uji laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat fisik yang meliputi kadar air, batas-batas atterberg, berat jenis, dan analisa saringan, sedangkan uji sifat mekanis meliputi uji pemadatan, ujikuat tekan, dan uji kuat geser. Berikut Tabel parameter uji dan standar pengujian fisik dan mekanis.

Tabel 5. Parameter uji dan standar pengujian fisik dan mekanik

No	Type of testing	Standard	
		ASTM	SNI
1	Sieve Analysis	C-136-06	SNI 03-1968-1990
2	Specific Gravity (Gs)	D-162	SNI 03-1964-1990
3	Water Content (w)	D-2216-98	SNI 03-1965-1990
4	Dry Unit Weight (γ_{dry})	D-854-72	SNI 03-1970-2008
5	Unconfined compressive strength (q_u)	D-633-1994	SNI 03-6887-2002
6	Direct Shear Test (Cu)	D-3080	SNI 03-3420-1994

1.6 Stabilisasi Tanah Pasir Menggunakan Teknik Biosementasi

Secara garis besarnya Stabilisasi Tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni: (1) Stabilisasi tanah melalui teknik perbaikan tanah (*soil improvement*); (2) Stabilisasi tanah melalui teknik perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Teknik perbaikan tanah adalah merupakan tindakan stabilisasi tanah dengan memperbaiki karakteristik tanah yang asli, hingga memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan oleh konstruksi, seperti peningkatan daya dukung dan kuat geser tanah, penurunan kompresibilitas tanah, peningkatan atau penurunan permeabilitas tanah, dan lain sebagainya. Sedangkan teknik perkuatan tanah adalah bentuk- bentuk rekayasa yang dilakukan agar terjadi aksi komposit antara tanah dengan material sisipan, sehingga dihasilkan berbagai jenis kapasitas pada tanah sesuai yang dikehendaki (kepentingan konstruksi). Contoh teknik perkuatan tanah antara lain ; perkuatan tebing atau perkuatan tanah dasar dengan material sisipan dari metal strip atau geosynthetic, pembuatan lapis separator dalam tanah dengan menggunakan material sisipan dari geomembrane, dan lain sebagainya (Panguriseng, 2017). Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat.

Menurut Bowles, 1979, beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut : meningkatkan kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul, menambah bahan untuk menyebabkan perubahan- perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah, menurunkan muka air tanah (drainase tanah), mengganti tanah yang buruk.

Sementasi merupakan suatu proses pencampuran suatu bahan tambah ke dalam rongga, rekah dan retakan tanah/batuan, yang mana cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi. Biosementasi merupakan salah satu cabang baru yang berkembang di bidang geoteknik yang berhubungan dengan penerapan aktivitas mikrobiologi untuk meningkatkan sifat rekayasa dari tanah. Salah satu proses yang paling umum digunakan untuk mencapai bio-sementasi tanah adalah melalui presipitasi kalsit yang diinduksi secara mikroba atau *microbially induced calcite precipitation* (MICP). Teknik ini menggunakan jalur metabolisme bakteri untuk membentuk kalsit (CaCO_3) yang mengikat partikel tanah, sehingga meningkatkan

kekuatan dankekakuan tanah.

Kristal kalsium karbonat (CaCO_3) yang terbentuk dari teknologi ini akan menjadi jembatan antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi, dan mengubah pasir menjadi batuan pasir. Secara alami, proses ini memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Oleh karena itu digunakan bakteri untuk mempercepat proses pembentukan kalsit dengan memanfaatkan proses presipitasi karbonat hasilaktivitas metabolisme bakteri.

1.7 Pengaruh Bakteri *Bacillus subtilis* dan *Bacillus Tropicus* Pada Pasir

- **Klasifikasi *Bacillus subtilis***

Kingdom : Procaryorae
 Divisi : Firmicutes
 Kelas : Schizomycetes
 Bangsa (Ordo) : Eubacteriales
 Suku (Familia) : Bacillaceae
 Marga (Genus) : Bacillus
 Jenis (Specsies) : Baciilus Subtilis

- **Klasifikasi *Bacillus tropic***

Kingdom : Bacteria
 Divisi : Firmicutes
 Kelas : Bacilli
 Bangsa (Ordo) : Bacillales
 Suku (Familia) : Bacillaceae
 Marga (Genus) : Bacillus
 Jenis (Specsies) : Baciilus Tropicus

- **Sifat dan Morfologi**

Bacillus subtilis adalah bakteri berbentuk batang dengan ukuran 0,5–2,5 x 1,2–10 mikron yang dapat tersusun berpasangan atau membentuk rantai. Permukaan selnya dilapisi silika, dan bakteri ini mampu membentuk spora dalam kondisi ekstrem. *Bacillus subtilis* dapat tumbuh pada suhu 25–75°C dengan pH optimal 5,5–8,5, serta ditemukan di berbagai lingkungan seperti udara, air, tanah, bulu hewan, dan bangkai (Cheng et al., 2016). Menurut Mujah et al. (2019), bakteri ini menghasilkan enzim hidrolitik yang memecah polisakarida, asam nukleat, dan lemak, sehingga dapat memanfaatkan senyawa tersebut sebagai sumber karbon dan energi.

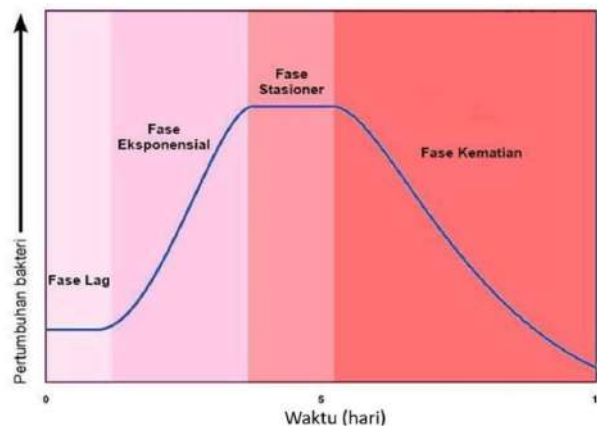
Bacillus tropicus adalah salah satu spesies bakteri dari genus *Bacillus*, yang termasuk dalam kelompok bakteri Gram-positif. Bakteri ini telah ditemukan di berbagai lingkungan dan dikenal karena kemampuannya dalam bioremediasi dan stabilisasi tanah.

Selain itu bakterigenus *Bacillus* juga mengandung enzim protease, lipase, amilase, dan selulose. Menurut (Mahawish et al., 2018), bakteri genus *Bacillus* termasuk bakteri pengurai dan mampu memanfaatkan komponen bahan organik yang berbeda-beda seperti selulosa, hemiselulosa, tepung, pectin, khitin, protein dan asam nukleat. Selanjutnya dijelaskan bahwa *Bacillus* termasuk bakteri denitrifikasi, juga tergolong bakteri amonifikasi (Jeong et al., 2017) mampu mengurai penumpukan senyawa nitrogen. Bakteri urease akan mengkatalisis urea sehingga melepas ion karbonat, yang selanjutnya akan terikat dengan ion kalsium dari CaCl_2 dan mempresipitaskan Kalsium Karbonat/Kalsit (CaCO_3). Kalsit inilah yang mengikat partikel tanah satu sama lain. Sehingga presipitasi kalsium karbonat merupakan proses yang utama dalam teknik biogrouting. Teknik tersebut bekerja pada tingkat pori-pori yaitu memperbaiki kondisi tanah dengan meningkatkan kekuatan dan kekakuan (stiffness) serta sedikit mempengaruhi permeabilitas. Berikut reaksi / proses yang terjadi saat presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri pada tanah.

Peran bakteri dalam menstabilkan tanah tersebut pada saat proses presipitasi kalsium karbonat, beberapa penelitian (Gusmawati, N.F dkk. 2009) menyebutkan bahwa presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri diakibatkan oleh adanya aktivasi sel bakteri, ion Ca^{2+} dari senyawa CaCl_2 yang ditarik oleh bakteri dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel, dan enzim urease yang mengambil urea ke dalam bakteri yang mendekomposisinya dengan ammonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Suatu investigasi terhadap kinetika telah mengindikasikan bahwa presipitasi kalsit merupakan fungsi dari konsentrasi sel, kekuatan ionik dan pH media (Mukherjee et al., 2019). Mikroorganisme menarik kation termasuk ion Ca^{2+} dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel.

Uji pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui sifat pertumbuhan suatu jenis bakteri melalui kurva pertumbuhan yang ditandai dengan kekeruhan pada media cair dengan bantuan alat penggoyang (shaker) dan inkubator. Kultur mikrobiologi (*Culture*) adalah metode memperbanyak mikroba pada media kultur dengan pembiakan di laboratorium yang terkendali.

Uji laju pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui sifat pertumbuhan bakteri melalui kurva pertumbuhan bakteri. Media kultur biasanya terdiri dari bahan-bahan yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri seperti nutrisi dan garam, serta kondisi lingkungan yang optimal seperti suhu dan kelembaban yang sesuai. Kurva pertumbuhan bakteri dibuat untuk mengetahui fase pertumbuhan bakteri yaitu fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian (Sharma et al., 2021) yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 1. Kurva pertumbuhan bakteri

- **Fase Lag (Penyesuaian)**

Fase lag adalah fase penyesuaian bakteri dengan lingkungannya yang baru. Durasi berlangsungnya fase ini bervariasi dan ditentukan dari komposisi media, pH, suhu, aerasi, jumlah sel, dan sifat fisiologis. Ketika sel telah menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya, barulah sel mulai membelah hingga mencapai populasi maksimum. Fase itu kemudian dinamakan fase logaritma atau fase eksponensial.

- **Fase Logaritma/Eksponensial**

Fase logaritma atau eksponensial ditandai dengan periode pertumbuhan yang terbilang cepat. Setiap sel dalam populasi membelah menjadi dua. Derajat pertumbuhan bakteri pada fase ini sangat dipengaruhi oleh sifat genetik yang diturunkan. Derajat pertumbuhan juga dipengaruhi oleh kadar nutrisi dalam media, suhu inkubasi, kondisi pH, dan aerasi. Ketika populasi yang dihasilkan oleh derajat pertumbuhan sudah maksimum, akan terjadi keseimbangan antara jumlah sel mati dan jumlah sel hidup.

- **Fase Stasioner**

Fase ini terjadi ketika laju pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematiannya, sehingga jumlah populasi organisme ini akan tetap. Keseimbangan ini terjadi karena adanya pengurangan derajat pembelahan sel akibat kadar nutrisi yang tidak cukup dan akumulasi produk yang beracun bagi sel sehingga mengganggu proses pembelahan. Fase stasioner kemudian dilanjutkan dengan fase kematian yang ditandai oleh peningkatan laju kematian yang melebihi laju pertumbuhan.

- **Fase Kematian**

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, fase kematian terjadi ketika laju kematian lebih tinggi dari laju pertumbuhan. Beberapa faktor yang memengaruhinya adalah suhu, kelembaban, cahaya, zat kimia, dan nutrisi.

1.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 6. Penelitian terdahulu terkait dengan topik penelitian

No	Nama Penulis/Tahun	Judul dan Sumber	Hasil Penelitian
1.	Hasriana, Lawalenna Samang, M. Natsir Djide, dan Tri Harianto (2017)	Pengaruh penambahan bakteri (<i>Bacillus subtilis</i>) pada tanah lunak terhadap karakteristik kuat tekan Konferensi Nasional Teknik Sipil 11 Universitas Tarumanagara, 26-27 Oktober 2017	Menentukan karakteristik tanah lunak yang dicampur larutan konsentrasi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> dengan melakukan pengujian kuat tekan Unconfined Compression Test (UCT) Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum didapatkan pada penambahan larutan konsentrasi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% dengan waktu pemeraman 28 hari. Peningkatan nilai kuat tekan dari 26 kN/m ² menjadi 382,86 kN/m ² atau sebesar 15 kali dari tanah tanpa stabilisasi. Hal ini menunjukkan penggunaan larutan konsentrasi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> cukup signifikan meningkatkan nilai kuat tekan.

2. Tri Harianto , M.A. Walenna , and M. C. P. A. Torano (2022)	Shear Strength Characteristics of Stabilized Sedimentary Soil with Bacillus Subtilis Bacteria	Hasil menunjukkan bahwa Penambahan Bacillus Subtilis dengan campuran urea dan CaCl_2 pada tanah pengendapan disertai dengan masa curing terbukti dapat meningkatkan tegangan geser pada persentase penambahan bahan penstabil 8% dari 1,25 kg/cm², 1,45 kg/cm², dan 1,77 kg/cm² di awal menjadi 1,73 kg/cm², 2,09 kg/cm², dan 2,39 kg/cm² pada pemeraman 28 hari, dengan peningkatan rata-rata 35 persen dan nilai kohesi kohesi terus meningkat dari nilai awal 0,72 kg/cm² menjadi 1,57 kg/cm² pada pemeraman 28 hari, sehingga terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 118 persen.
	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1117, 4 th International Conference on Civil and Environmental Engineering 03-05 Agustus 2022	
3. Alkadri, Rahman Djamaluddin, Tri Harianto, dan Ardy Arsyad (2022a)	Pengaruh Biosementasi Bakteri Terhadap Karakteristik Campuran Tanah Kohesif Dan Organik	kuat tekan tanah kohesif dan tanah organik 10% yang di stabilisasi bakteri memiliki nilai kuat tekan sebesar 28,74 kN/ m², atau meningkat 5 kali dari tanah yang tanpa stabilisasi bakteri, variasi 20% tanah organik 20.16 kN/m², dan variasi 30 % nilai tekan 17.92 kN/m², atau meningkat 9 kali dari tanah yang tanpa stabilisasi bakteri. Tanah yang tidak distabilisasi bakteri (untreated) relatif lebih rendah yaitu untuk variasi 10 % tanah organik dengan nilai kuat tekan 6.85 kN/m², 20 % nilai kuat tekan 2.84 kN/m², sedangkan 30% memiliki nilai kuat tekan 2.54 kN/m².
	Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2022 227-232 ISSN: 2459-9727	

4. Angelina Lynda	Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Metode Stabilisasi Biogrouting Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, 2013	Hasil stabilisasi biogrouting bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> yang optimum diperoleh pada sampel tanah dengan 3x injeksi (6cc larutan bakteri dan 6cc larutan sementasi). Dimana nilai kohesi yang diperoleh sebesar 1,192 kg/cm² dan nilai sudut geser dalam sebesar 35.07°. karakteristik mekanis tanah yang mengalami stabilisasi optimum mengalami perubahan parameter kuat gesernya yaitu, terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 297% terhadap nilai kohesi sampel tanah asli. Terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86% terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli.
5. Muhammad Saleh Nasution, Yusep Muslih Purwana, dan Bambang Setiawan	Penurunan Permeabilitas Dan Peningkatan Kuat Geser Tanah Lanau Menggunakan Pengaruh Mikrobakteri <i>Bacillus Subtilis</i> dan <i>Pseudomonas SP</i> e-Jurnal Teknik Sipil, Desember 2017, pages 1- 8	Hasilnya kuat geser tanah lanau dengan campuran bakteri pada waktu pemeraman 15 hari mengalami peningkatan sebesar 38.37 % dan 34.88 % dibandingkan dengan hasil uji tanah lanau tanpa bakteri, sedangkan pada pemeraman 30 hari kuat geser meningkat sebesar 48.88 % dan 59.30 %. Hasil pengujian permeabilitas dengan konsentrasi <i>Bacillus Subtilis</i> dan <i>Pseudomonas sp</i> yaitu $1,34 \times 10^{-9}$ m/dt. Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> lebih menguntungkan dibanding dengan <i>pseudomonas sp</i>. <i>Bacillus subtilis</i> lebih efektif dalam mengisi rongga dan merekatkan antar partikel tanah hal ini didasari sifat koloni yang berkelompok dan bukan menyebar seperti <i>Pseudomonas sp</i>.

6	Megawati Cahaya Putri A.T, Tri Harianto, Ariningsih Suprpti	Karakteristik Kuat Geser Tanah Sedimen Yang Distabilisasi Dengan Bakteri Baccilus Subtilis	Penambahan bakteri Bacillus Subtilis yang di campur menggunakan urea dan CaCl_2 terbukti dapat meningkatkan nilai tegangan geser, kohesi, dan sudut geser dalam tanah. Dari hasil pengujian, waktu pemeraman 0, 3, 7, 14, 21 dan 28 hari meningkatkan nilai tegangan geser, kohesi, dan sudut geser dalam tanah. Dalam hal ini nilai maksimum yang berhasil dicapai pada waktu pemeraman 28 hari dengan penambahan bakteri 8%. Untuk nilai tegangan geser meningkat sebesar 35%. Untuk nilai kohesi terjadi peningkatan sebesar 118%. Untuk nilai sudut geser dalam tanah terjadi peningkatan dari nilai sudut geser tanah asli sebesar 22° menjadi 31° sehingga terjadi peningkatan sebesar 40%.
---	---	--	--

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Gowa. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental di laboratorium berupa pengujian geser langsung dan kuat tekan bebas menggunakan bahan stabilisasi 2 bakteri yaitu *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus*. Waktu pelaksanaan penelitian ini direncanakan kurang lebih selama 3 bulan yakni mulai bulan Juni 2024 – Agustus 2024.

2.2 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini meliputi (i) peralatan yang akan digunakan beserta fungsinya dan material yang digunakan; (ii) rencana komposisi bahan stabilisasi yang akan ditambahkan; (iii) rencana prosedur pembuatan sampel; dan (iv) skema pengujian yang akan dilaksanakan.

2.2.1 Penyiapan Alat dan Bahan

Peralatan merupakan kumpulan alat yang digunakan untuk pembuatan dan pengujian sampel dari benda uji. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Alat Pengujian

Peralatan untuk pengujian sifat fisik tanah meliputi alat pengukur kadar air, alat untuk uji berat jenis tanah, dan alat untuk analisis saringan. Sementara itu, peralatan untuk pengujian sifat mekanis tanah mencakup alat uji pemadatan (standar proctor), alat uji kuat tekan bebas, dan kuat geser (uji unconfined compression dan direct shear).

Selain itu, pipa paralon digunakan dengan ukuran yang disesuaikan dengan cetakan sampel UCT berdiameter 5,50 cm dan tinggi 11,00 cm, serta cetakan sampel direct shear berdiameter 6,00 cm dan tinggi 2,00 cm.

Sebelum digunakan dalam penelitian ini, seluruh peralatan diperiksa kondisinya, diuji kemampuannya, dan dikalibrasi terlebih dahulu. Prosedur dan cara kerja peralatan perlu dipahami dengan seksama, termasuk kemampuan, ketelitian, dan kapasitasnya, untuk menghindari kesalahan selama pelaksanaan pengujian. Sampel tanah disiapkan sesuai dengan standar prosedur yang berlaku untuk setiap jenis pengujian. Daftar peralatan dan gambar pengujian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Daftar pengujian dan gambar alat

No.	Type of testing	Equipment Illustration
1	<i>Specific Gravity</i>	
2	<i>Sieve and hydrometer</i>	
3	<i>Compaction</i>	
4	<i>Unconfined Compression Test</i>	
5	<i>Direct Shear Test</i>	

2. Penyiapan Material

Jenis tanah yang digunakan adalah tanah pasir sedangkan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus* diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi di Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.

2.2.2 Tahapan Pengujian

Rancangan uji dari penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu :

- a) *Basic test.*
- b) Pengujian sifat fisik dan mekanis tanah pasir.
- c) *Element test*

Pengujian mekanis tanah asli yang distabilisasi bakteri kultur 4 hari dengan persentase larutan bakteri sebesar 4%, 6% dan 8% untuk menentukan persentase dan kultur optimum pencampuran bakteri *Bacillus subtilis* dan *Bacillus tropicus*. Setiap pengujian akan dilakukan berdasarkan variasi lama waktu pemeraman yang ditentukan yaitu 3, 7, 14 dan 28 hari.

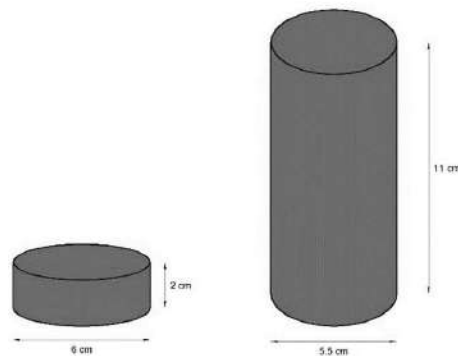
Untuk memudahkan proses pengerjaan jumlah sampel yang disiapkan untuk setiap pengujian dapat dilihat pada tabel 8 dan tabel 9.

Tabel 8. Persiapan benda uji geser langsung

Testing Type	Material	Bacterial Culture Age (Day)	Bacterial Solution (%)	Curing Period (Day)				Data
				3	7	14	28	
Direct Shear Test	Sand + (<i>Bacillus Subtilis</i> & <i>Bacillus Tropicus</i>)	4	4	6	6	6	6	Mechanical Property Parameters
			6	6	6	6	6	
			8	6	6	6	6	

Tabel 9. Persiapan benda uji kuat tekan bebas

Testing Type	Material	Bacterial Culture Age (Day)	Bacterial Solution (%)	Curing Period (Day)				Data
				3	7	14	28	
Unconfined Compression Test	Sand + (<i>Bacillus Subtilis</i> & <i>Bacillus Tropicus</i>)	4	4	3	3	3	3	Mechanical Property Parameters
			6	3	3	3	3	
			8	3	3	3	3	



Gambar 2. Sketsa bentuk sampel benda uji, a) Direct Shear; b) UCT

2.2.3 Pembuatan Benda Uji

1. Tahapan pembuatan benda uji

Sampel tanah yang akan digunakan adalah tanah pasir yang lolos saringan No.10 yang telah dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ untuk mendapatkan kondisi tanah kering oven. Untuk membuat sampel, dihitung berdasarkan berat kering tanah. Contoh perhitungan penentuan berat tanah dan larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Bacillus Tropicus* pengujian UCT. Berikut contoh hasil perhitungannya:

Sampel (Tanah Pasir + Larutan bakteri)

($\gamma_{\text{dry}} = 1,61 \text{ gr/cm}^3$) ; $\omega_{\text{opt}} = 13,00 \%$

$$V_{\text{mould}} = 1/4 \pi d^2 h$$

(9)

$$= 0,25 \times 3,14 \times 5,5^2 \times 11 = 261,21 \text{ cm}^3$$

$$W_s = \gamma_{dry} \times V_{mould} \quad (10)$$

$$= 1,61 \times 261,21 = 420,55 \text{ gr}$$

Kadar Air mula – mula = 0

(kering oven) Total

Penambahan Air:

$$W_w = \omega_{opt} \times W_s \quad (11)$$

$$= 13,00 \% \times 420,55 = 54,67 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air} &= \frac{\omega_{opt} - 6}{100} \times W_{dry} \quad (12) \\ &= \frac{13,00 - 6}{100} \times 420,55 = 29,44 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\text{Bakteri } 6\% = \text{Total Penambahan Air} - \text{Air}$$

$$= 54,76 - 29,44 = 25,32 \text{ ml}$$

Kebutuhan pembuatan sampel

- Tanah kering = 420,55 gr
- Air = 29,44 ml
- Bakteri = 25,32 ml

2. Tahapan pencetakan benda uji

Penyiapan dan pembuatan benda uji penelitian dilakukan dengan mencampur seluruh bahan material yaitu tanah pasir serta bakteri. Penambahan air pada proses pencampuran sampel didasarkan pada kadar air optimum yang diperoleh dari hasil pengujian kompaksi pada tanah yang digunakan pada penelitian ini. Komposisi berat tanah dan bahan stabilisasi yang telah ditentukan berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya kemudian dimasukkan ke dalam cetakan yang kemudian dilakukan dengan metode pemadatan statis. Prosedur pemadatan statis yang dimaksud didasarkan pada volume konstan dan tekanan konstan.

2.2.4 Bakteri dan Penumbuhannya

Kultur bakteri/media tumbuh bakteri

1. Komposisi

- Urea 20 g
- Nutrient Broth 3 gr
- NaHCO_3 2,12 gr
- CaCl_2 4,14 gr
- NH_4Cl 10 gr



Gambar 3. Komposisi campuran larutan media tumbuh bakteri

2. Proses pencampuran dan pembuatan bakteri.

Larutkan 20 gram urea, 3 gram Nutrient Broth, 2,12 gram NaHCO_3 , 4,14 gram CaCl_2 , dan 10 gram NH_4Cl dalam 1 liter air di dalam wadah mangkuk. Aduk hingga semua bahan tercampur rata. Setelah itu, lanjutkan dengan proses shaking yang dilakukan dalam wadah tertutup selama 4 hari.



Gambar 4. Larutan bakteri dalam media gelas ukur

2.3 Alur penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk menguji karakteristik pasir dengan stabilisasi 2 jenis bakteri yang berbeda untuk meningkatkan daya dukung tanah. Tahapan yang dilakukan; pertama, melakukan kajian literatur dan survey pendahuluan untuk mengidentifikasi masalah dan lokasi pengambilan sampel; kedua, melakukan uji pendahuluan terhadap sampel untuk mengetahui karakteristik pasir; ketiga melakukan pengujian bakteri. Prosedur penelitian secara detail diperlihatkan pada bagan alur di bawah ini.

