

PENURUNAN PERMEABILITAS DAN PENINGKATAN KUAT GESER TANAH LANAU MENGGUNAKAN PENGARUH MIKROBAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* DAN *PSEUDOMONAS SP*

Muhammad Saleh Nasution¹⁾, Yusep Muslih Purwana²⁾, Bambang Setiawan³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2),3)} Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir. Sutami 36 A, Surakarta 57126

Email : sannynasution@gmail.com

ABSTRACT

Geotechnical engineering is one kind how to maintenance soil stability. Some improved stability of the soil by lowering the permeability and shear strength. Generally, the added material in geotechnical engineering in the form of chemicals and materials that are solid. In this reasearch the authors will try to analyze the effect of the impairment mycobacteria to lowering permeability and increase shear strength of silt soil as an alternative to maintenance material as an geotechnical engineering. Mycobacteria expected to improve the stability of silt soil by reducing the permeability and increase the value of shear strength were research.

Pseudomonas sp and Bacillus subtilis is a variation of mycobacteria were used in this study. Phase ripening soil inoculated mycobacteria were performed for 15 and 30 days. Testing this study aims to determine the percentage of the increase in shear strength and decrease the permeability of soil were using mycobacteria affected and unaffected soil bacteria as the control value of reasearch. SEM test was conducted to determine the growth and development of the affected soil bacteria with the curing time at days 30th.

Bacillus subtilis can improve shear strength Pseudomonas sp 59.30% and 48.84% of the shear strength ratio does not use mycobacteria as a control comparison. The percentage decrease in soil permeability test results obtained for 60.29% of the soil with affected mycobacteria bacillus subtilis and 48.92% soil with Pseudomonas sp affected compare with soil samples that do not use mycobacteria.

Keywords: silt, permeability, shear strength, SEM

ABSTRAK

Rekayasa geoteknik merupakan salah satu cara dalam meningkatkan stabilitas tanah. Beberapa peningkatan stabilitas tanah dilakukan dengan cara menurunkan nilai permeabilitas dan meningkatkan kuat geser tanah. Umumnya bahan tambah dalam rekayasa geoteknik berupa bahan kimia dan bahan yang bersifat solid. Pada penelitian ini penulis mencoba melakukan analisa terhadap pengaruh mikrobakteri terhadap penurunan nilai permeabilitas dan peningkatan nilai kuat geser tanah lanau sebagai alternatif bahan rekayasa geoteknik. penambahan mikrobakteri diharapkan dapat meningkatkan stabilitas tanah lanau dengan cara mereduksi nilai permeabilitas dan meningkatkan nilai kuat geser tanah yang diteliti.

Mikrobakteri *Pseudomonas sp* dan *Bacillus subtilis* merupakan variasi bakteri yang digunakan pada penelitian ini. Tahap pemeraman tanah yang diinokulasi bakteri dilakukan selama 15 dan 30 hari. Pengujian penelitian ini bertujuan mengetahui prosentase peningkatan kuat geser dan penurunan nilai permeabilitas antara tanah terpengaruh bakteri dan tanah tidak terpengaruh bakteri sebagai nilai kontrol pengujian. Uji SEM dilakukan guna mengetahui pertumbuhan dan perkembangan pada tanah yang terpengaruh bakteri dengan waktu pemeraman 30 hari.

Bakteri *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan nilai kuat geser 59.30% dan *Pseudomonas sp* 48.84% terhadap perbandingan kuat geser tanah yang tidak menggunakan bakteri sebagai kontrol perbandingan. Nilai prosentase penurunan hasil uji permeabilitas tanah diperoleh sebesar 60.29% dari tanah yang dipengaruhi bakteri bacillus subtilis dan 48.92% dari hasil tanah yang menggunakan *Pseudomonas sp* terhadap sampel tanah yang tidak menggunakan pengaruh bakteri.

Kata kunci: lanau, permeabilitas, kuat geser, SEM

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beberapa rekayasa geoteknik yang dapat dilakukan yaitu melalui rekayasa rembesan (permeabilitas) dan kuat geser. Penggunaan mikrobakteri sebagai bahan bioremediasi merupakan alternatif yang lebih potensial karena lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan menggunakan bahan-bahan kimia. Bioremediasi merupakan penggunaan pengaruh mikrobakteri dalam memperbaiki struktur tanah. Jenis mikrobakteri dijadikan sebagai bahan bioremediasi dalam penelitian ini yaitu *Bacillus Subtilis* dan *Pseudomonas sp.*

Penggunaan mikrobakteri sebagai bahan bioremediasi merupakan alternatif yang lebih potensial karena lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan menggunakan bahan-bahan kimia. Bioremediasi merupakan penggunaan pengaruh mikrobakteri dalam memperbaiki struktur tanah. Jenis mikrobakteri dijadikan sebagai bahan bioremediasi dalam penelitian ini yaitu *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp.* Akumulasi massa sel yang terjadi pada mikrobakteri, *slime ekstraselular polisakarida* dan gas yang dihasilkan oleh mikrobakteri yang berada pada tanah akan membuat tanah lebih impermeabel terhadap air serta meningkatkan kuat gesernya (Ivanov dkk, 2008).

Penelitian rekayasa geoteknik menggunakan mikrobakteri telah banyak dilakukan di beberapa Negara termasuk Indonesia. Beberapa penelitian terdahulu yang terdapat di Indonesia merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Thomas (2016), Handayani (2014), Fadillah (2014), dan Sofyan (2013). Hal ini mendorong peneliti dalam mengembangkan penelitian rekayasa geoteknik terhadap tanah lanau sebagai jenis tanah yang diteliti melalui rekayasa permeabilitas dan kuat geser tanah.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Perbandingan penurunan permeabilitas tanah asli dengan tanah yang terpengaruh mikrobakteri.
2. Perbandingan kuat geser tanah asli dengan tanah yang dicampur mikrobakteri.

Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi karakteristik mekanis tanah yang telah distabilisasi dengan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp* dengan variasi waktu pemeraman 15 dan 30 hari.
2. Membandingkan nilai koefisien permeabilitas dan kuat geser tanah antara tanah tanpa asli dan tanah yang telah dicampur bakteri.
3. Menganalisis morfologi (bentuk) dan topografi (ukuran) tanah yang diaplikasi mikrobakteri dengan uji SEM (*Scan Electron Microscope*).

LANDASAN TEORI

Tinjauan Pustaka

Koefisien permeabilitas mengalami penurunan saat tanah sudah di inokulasi mikrobakteri dengan masa pemeraman 15 hari dan 30 hari. Nilai permeabilitas yang di dapat sebesar $1,11 \times 10^{-9}$ m/dt hingga $4,85 \times 10^{-10}$ m/dt yang menyebabkan lempung hampir tidak dapat dirembes oleh air. Kuat geser sampel natural sebagai kontrol mempunyai nilai q_u sebesar 176,80 kN/m². Sampel tanah yang telah dicampur mikrobakteri dengan masa pemeraman 15 hari dan 30 hari menunjukkan adanya perubahan dari tanah lempung konsistensi sedang menjadi tanah lempung dengan konsistensi kaku dengan peningkatan q_u sebesar 239,53 kN/m² hingga 317,47 kN/m² (Setianto, 2016).

Pengujian karakteristik mekanis (kuat tekan bebas, permeabilitas, dan geser langsung) terhadap tanah lempung dengan penambahan larutan bakteri *Bacillus subtilis* yang diinjeksikan ke dalam sampel tanah dilakukan sebanyak empat kali (4) injeksi dengan masa pemeraman selama 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan bebas diperoleh peningkatan nilai kuat tekan sebesar 60% terhadap nilai kuat tekan tanpa bakteri. Permeabilitas tanah yang distabilisasi dengan bakteri menunjukkan penurunan nilai koefisien permeabilitas. Penambahan volume bakteri kedalam sampel tanah dengan pengujian Geser langsung mengalami peningkatan nilai kohesi (c) (Fadliah, 2013).

Hasil pengujian permeabilitas terhadap sampel pasir sungai yang memiliki nilai permeabilitas terendah terjadi pada sampel pasir hasil inokulasi *Agrobacterium tumefaciens* dengan prosentase reduksi angka permeabilitas sebesar 62,94% terhadap sampel pasir kontrol. Pegujian kuat geser sampel dengan nilai kuat geser tertinggi adalah hasil inokulasi *Lactobasillus sakei* dengan prosentase kenaikan sebesar 62,84% terhadap sampel pasir kontrol (Haryani, 2014).

Hasil pengujian permeabilitas dengan uji tinggi tekan konstan didapatkan persentase reduksi nilai permeabilitas terendah yang menggunakan lima variasi jenis mikrobakteri yaitu *Lactobacillus Sakei*, *Agrobacterium Tumefaciens*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus Subtilis*, dan *Nitrobacter sp.* Presentase penurunan hasil inokulasi *Bacillus subtilis* sebesar 74,425 % terhadap sampel natural tanah kepasiran sebagai nilai kontrol. Pada pegujian kuat geser dengan uji geser langsung didapatkan prosentase peningkatan nilai kuat geser tertinggi pada sampel hasil inokulasi *Pseudomonas sp* sebesar 78,913 % terhadap sampel natural tanah kepasiran (Handayani, 2014).

Bakteri *Bacillus Subtilis* dapat berkembang biak dengan suhu di Indonesia serta menghasilkan kalsit/kristal terbanyak berasal dari wilayah Papua. Peneliti melakukan pengujian dengan mencampurkan bakteri terhadap pasir, lalu diperam atau didiamkan selama 1 bulan pada suhu ruang. Hasil yang diperoleh menunjukkan perubahan dari pasir menjadi batuan pasir, hal ini disebabkan oleh pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* selama masa pemeraman dapat menghasilkan *Kristal/kalsit* yang membentuk batuan pada pasir. Hasil penelitian ini didukung hasil foto SEM yang menunjukkan adanya kristal didalam kandungan benda uji (Puspita, 2011).

Landasan Teori

Tanah Lanau

Batas-batas ukuran butir tanah menurut Standard ASTM (American Society of Testing & Materials)

Mikrobakteri

Bacillus subtilis

Bakteri *Bacillus subtilis* memiliki katalase positif, katalase positif yang umum ditemukan di tanah. *Bacillus subtilis* merupakan jenis kelompok bakteri *termofilik* yang dapat bertahan pada suhu optimum antara 60 °C - 80 °C (Graumann, 2007).

Pseudomonas sp

Bentuk sel *Pseudomonas sp* berupa batang lurus terkadang berbentuk bulat. diameter koloni 0,5 µm hingga 0,8 µm. *Pseudomonas sp* memiliki kemampuan dalam mendegradasi *hidrokarbon* dan menghasilkan *Biosurfaktan* (Budiyanto, 2002).

SEM (Scan Electron Microscope)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 µm.

Permeabilitas

Uji permeabilitas dengan alat modifikasi *Constant pressure head* (Fatoni, 2014).

Koefisien permeabilitas (k), dapat dihitung dengan persamaan:

$$k = \frac{V \cdot L \cdot \gamma_w}{P \cdot A \cdot t}$$

dengan :

- k : Koefisien permeabilitas (cm/detik)
- V : Volume air rembesan (cm³)
- L : Panjang benda uji (cm)
- γ_w : Berat isi air (gr/cm³)
- P : Tekanan yang diberikan (gr/cm²)
- A : Luas penampang benda uji (cm²)
- t : Waktu pengamatan (detik)

Uji Tekan Bebas

Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan (Soedarmo dkk, 1997). Pada saat keruntuhannya, karena $\sigma_3 = 0$, maka pada persamaan:

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = c_u$$

dengan :

- τ_f = Kuat geser (kN)
- σ_1 = Tegangan utama (devisi)
- q_u = Kuat tekan bebas tanah (kN/m²)
- c_u = Kohesi (kgf)

METODE PENELITIAN

1. Persiapan

Pada tahapan persiapan ini, sampel tanah lanau yang ada dianalisa:

- a. Gradasi butiran tanah
- b. Berat jenis tanah
- c. Kadar air tanah
- d. Permeabilitas tanah
- e. Kekuatan geser tanah

Hasil dari analisa permeabilitas dan kekuatan geser tanah ini nantinya akan menjadi kontrol yang bersifat sebagai pembanding sampel tanah lain yang nantinya akan diinokulasikan dengan mikrobakteri.

2. Pembuatan media dan kultur bakteri

- a. Sampel bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp*, masing-masing bakteri *Bacillus subtilis* diambil satu ose kemudian digoreskan kedalam cawan pada suhu 37 °C selama waktu 24 jam.

b. Pembuatan Media B4

Komposisi; Urea (20 gr), Nutrien Brouth (3 gr), NaHCO₃ (2.12 gr), CaCl₂.2H₂O (4.14 gr), NH₄Cl (10 gr)

c. Pembuatan media kultur bakteri

Air sebanyak 1 Liter dicampurkan dengan komposisi Medium B4 ke dalam gelas *erlenmeyer*. Gelas *erlenmeyer* selanjutnya dimasukkan ke dalam alat *autoclave* dengan suhu 121 °C dengan waktu 15 menit pada tekanan 1 atm, kemudian di dinginkan. Setelah medium dingin selanjutnya dilakukan proses pencampuran bakteri kedalam medium B4 yang telah dipersiapkan dan semua pengerjaan dilakukan di dalam alat *laminar airflow* untuk menjaga kesterilannya. Bakteri pada medium B4 kemudian ditumbuhkan selama 3 hari pada suhu ruang di ruang *shaker*. Tutup labu dengan aluminium foil. Panaskan dalam pemanas. Setelah dipanaskan selama +1jam, keluarkan labu dari pemanas. Tunggu hingga labu dingin dengan sendirinya. Setelah labu benar-benar dingin, masukkan biang bakteri. Beri label nama setiap labu untuk setiap jenis bakteri. Taruh labu pada tempat yang tidak terlalu banyak terkena sinar cahaya matahari. Tempatkan pada suhu ruangan, dan tunggu hingga beberapa hari.

3. Uji scanning electron microscopy (SEM)

Sampel tanah pada masa pemeraman 30 hari dilakukan analisa Scanning Electron Microscopy guna mengetahui potensi mikroorganismenya dalam mengisi pori tanah,. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Jakarta.

4. Pengujian permeabilitas dengan metode constant pressure head.

uji permeabilitas mengacu pada ASTM D 2434-68

5. Pengujian kuat geser dengan metode kuat tekan bebas/UCS (*unconfined compression test*)

uji kuat tekan bebas mengacu pada standart pengujian ASTM D2166-06

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Klasifikasi Tanah

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat-sifat yang dimiliki tanah lanau, sehingga hasilnya dapat untuk mengklasifikasikan tanah lanau di daerah Desa Triharjo, Bantul. Sifat-sifat fisik tanah dapat diketahui dengan melakukan uji klasifikasi tanah di laboratorium. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh data-data karakteristik fisik tanah pada Tabel 1 dan tabel konsistensi tanah yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik fisik tanah

Propertis tanah	Notasi	Nilai
Kadar air (%)	w	30.7
Berat jenis tanah	G_s	2.654
Kadar air optimum (%)	w_{opt}	34.77
Hasil Gradasi		
1. Lanau (%)		57.32

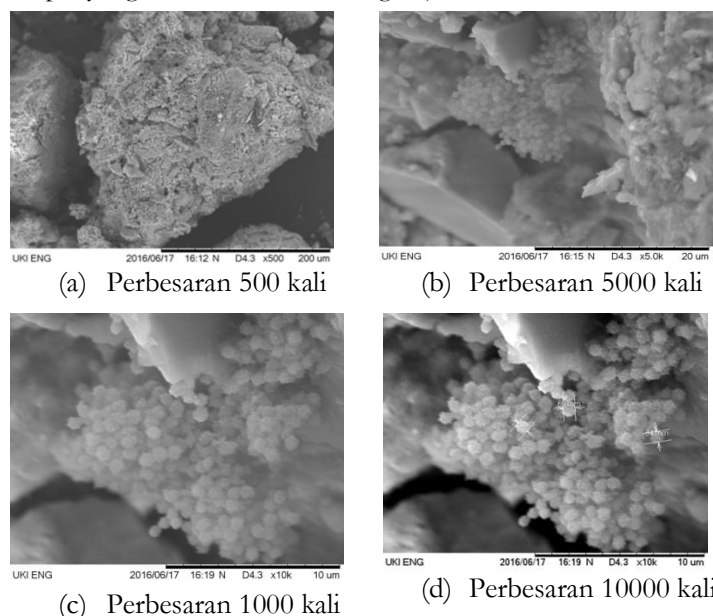
2. Lempung (%)		26.85
----------------	--	-------

Tabel 2. Konsistensi tanah penelitian

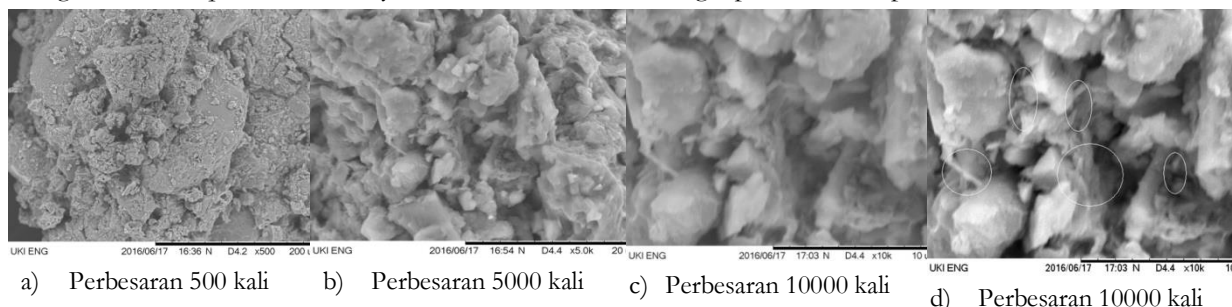
Batas-batas Konsistensi	Notasi	Nilai		
		Tanah asli	Tanah + <i>B. Subtilis</i>	Tanah + <i>Pseudomonas sp</i>
1) Batas cair (%)	LL	52.78	50.49	50.58
2) Batas plastis (%)	PL	42.34	41.78	40.31
3) Indeks plastisitas	PI	10.44	8.71	10.27
Klasifikasi tanah (USCS)		MH	MH	MH

Hasil uji SEM

Uji SEM dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui secara visual adanya *ekstraselular polisakarida* yang terbentuk pada sampel yang telah diinokulasi dengan jenis mikrobakteri tertentu selama 30 hari.



Gambar 1. Hasil uji SEM sampel tanah lanau dengan bakteri *Bacillus subtilis* pada masa pemeraman 30 hari. Gambar (a) menunjukkan partikel tanah lanau yang diperbesar dengan perbesaran 500 kali kemudian diperbesar dengan perbesaran sebesar 5000 kali seperti pada Gambar (b). Gambar (b) menunjukkan koloni *Bacillus subtilis* yang terdapat pada dinding partikel tanah lanau. Gambar (c) dan (d) menunjukkan koloni *Bacillus subtilis* terlihat tersebar pada dinding partikel tanah dan mengalami pertumbuhan secara *soliter* dan menghasilkan *eksopolisakarida* senyawa kalsium karbonat sebagai perekat antar partikel tanah.



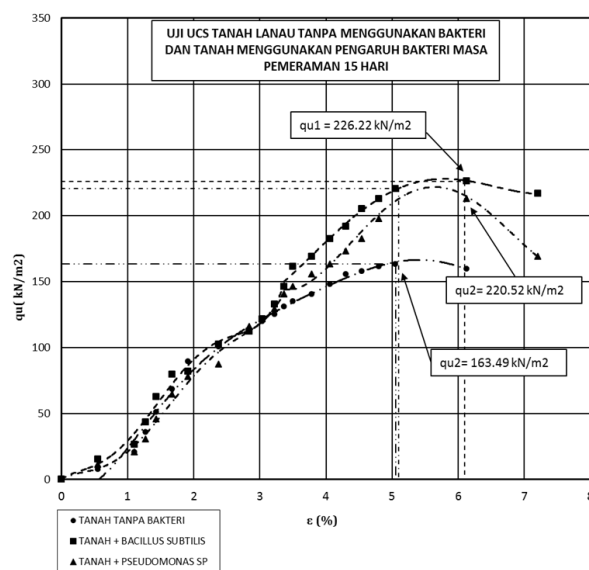
Gambar 2. Hasil uji SEM sampel tanah dengan Bakteri *Pseudomonas sp* pada masa pemeraman 30 hari. Gambar (a) adalah sampel tanah lanau yang menggunakan pengaruh bakteri *pseudomonas sp*. Gambar (b) perbesaran dilakukan pada partikel tanah lanau guna mengetahui keberadaan bakteri *Pseudomonas sp*. Gambar (c) dan (d) menunjukkan koloni bakteri *Pseudomonas sp* dapat tumbuh dan berkembang yang terdapat pada tanah sampel.

Hasil uji kuat geser

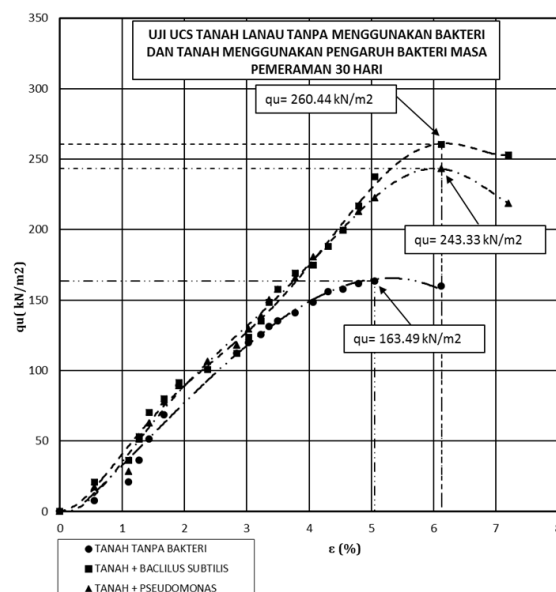
Prosentase peningkatan yang didapat akan menentukan seberapa besar pengaruh mikrobakteri tersebut dalam skala persen. Rekapitulasi prosentase peningkatan kuat geser sampel yang telah diinokulasi mikrobakteri terhadap sampel natural sebagai kontrol dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Prosentase peningkatan nilai kuat geser

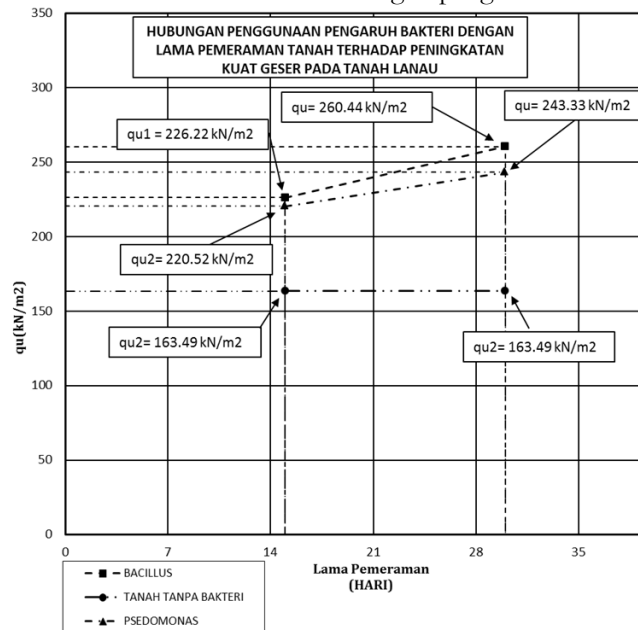
Jenis Mikrobakteri	Masa Pemeraman (Hari)	Nilai Kuat Geser (kN/m ²)	Kuat Geser Kontrol (kN/m ²)	Besarnya Peningkatan (kN/m ²)	Prosentase Peningkatan (%)
Bacillus Subtilis	15	226.22	163.49	62.73	38.37
	30	260.44		96.95	59.30
Pseudomonas sp	15	220.52		57.03	34.88
	30	243.33		79.84	48.84



Gambar 3. Hubungan tegangan dan regangan masa pemeraman 15 hari sampel tanah asli, tanah dengan pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* dan tanah dengan pengaruh bakteri *Pseudomonas sp*.



Gambar 4. Hubungan tegangan dan regangan masa pemeraman 30 hari sampel tanah asli, tanah dengan pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* dan tanah dengan pengaruh bakteri *Pseudomonas sp*



Gambar 5. Hubungan tegangan dan masa inokulasi bakteri sampel tanah asli dan tanah dengan pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp*

Hasil uji permeabilitas

Rekapitulasi prosentase penurunan permeabilitas sampel yang telah diinokulasi beberapa jenis mikrobakteri terhadap sampel natural sebagai kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Prosentase penurunan nilai permeabilitas

Jenis Mikrobakteri	Masa Pemeraman (Hari)	Nilai Permeabilitas (cm/detik)	Permeabilitas Kontrol (cm/detik)	Besarnya Penurunan (cm/detik)	Persentase Penurunan (%)
Bacillus Subtilis	15	1.16×10^{-7}	1.38×10^{-7}	2.15×10^{-8}	15.60
	30	5.47×10^{-8}		8.30×10^{-8}	60.29
Pseudomonas sp	15	1.26×10^{-7}		1.17×10^{-8}	8.49
	30	7.03×10^{-8}		6.73×10^{-8}	48.92

Prosentase penurunan tanah pada masa pemeraman 15 hari yaitu sebesar 16.66 % dengan nilai penurunan 2.29×10^{-8} cm/detik dengan pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* dan 8.49 % dengan menggunakan pengaruh *Pseudomonas sp*. Pada masa pemeraman 30 hari prosentase penurunan permeabilitas tanah yang menggunakan pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* yaitu sebesar 60.29 % dengan nilai penurunan sebesar 8.3×10^{-8} cm/detik sedangkan pengaruh bakteri *Pseudomonas sp* hanya dapat menurunkan nilai permeabilitas tanah sebesar 6.73×10^{-8} cm/detik atau setara dengan 48.92 %.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil uji kuat geser tanah tanpa menggunakan bakteri yang dijadikan acuan nilai kontrol dalam pengujian kuat geser tanah lanau yaitu 163.49 kN/m^2
2. 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.
3. Konsentrasi bakteri didalam tanah lanau dengan waktu pemeraman 30 hari dapat meningkatkan kuat geser sebesar 48.88 % dan 59.30 %.

4. Hasil pengujian permeabilitas sampel tanah tanpa bakteri sebagai nilai kontrol angka permeabilitas pada tanah lanau dengan konsentrasi bakteri *Bacillus Subtilis* dan *Pseudomonas sp* yaitu $1,34 \times 10^{-9}$ m/dt
5. Tanah lanau dengan campuran bakteri pada waktu pemeraman 15 hari penurunan permeabilitas sebesar 8.49 % dan 15.60 %.
6. Tanah lanau dengan campuran bakteri pada waktu pemeraman 30 hari mengalami penurunan permeabilitas sebesar 48.92 % dan 60.29 % dibandingkan hasil uji permeabilitas tanah tanpa bakteri .
7. Hasil uji SEM menunjukkan *ekstraseluler polisakarida* yang dihasilkan oleh bakteri *Bacillus Subtilis* dan *Pseudomonas sp* dapat mengikat antar partikel dan menutup pori pada partikel tanah lanau sehingga tanah lanau lebih kuat terhadap pengaruh geser dan sulit ditembus oleh air.
8. Bentuk bakteri *Bacillus subtilis* lebih menguntungkan dibandingkan dengan *pseudomonas sp*. *Bacillus subtilis* lebih efektif dalam mengisi rongga dan merekatkan antar partikel tanah hal ini didasari sifat koloni yang berkelompok dan bukan menyebar seperti *pseudomonas sp*.

SARAN

Saran dan masukan yang di sampaikan oleh peneliti yaitu :

1. Untuk mengetahui optimalisasi konsentrasi bakteri terhadap tanah lanau perlu dilakukan penelitian lanjutan menggunakan variasi takaran mikrobakteri yang akan dicampur kedalam tanah.
2. Diperlukan penelitian lanjutan untuk melihat lebih jauh pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp* menggunakan variasi waktu yang lebih lama maupun lebih pendek dari waktu yang dilakukan oleh peneliti yaitu 15 dan 30 hari.
3. Di perlukan tes dilapangan sebagai tindak lanjut dari hasil uji laboratorium.
4. Perlu diadakan Penelitian lanjutan uji permeabilitas menggunakan metode *falling head*.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyanto, M.A.K. 2002. *Mikrobiologi Terapan*. UMM Press. Malang.
- Fadliah, I., 2013. *Studi Eksperimental Stabilisasi Biogrouting Bacillus subtilis pada Tanah Lempung Kepasiran*. Thesis. Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Fatoni, M., 2014. *Tinjauan Kuat Tekan Bebas dan Permeabilitas Terhadap Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Kapur Dan Abu Ampas Tebu*. Fakultas Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Graumann, P. 2007. *Bacillus: Cellular and Molecular Biology*. Caister Academic press.
- Handayani, M., 2014. *Studi Efektivitas Penurunan Permeabilitas dan Peningkatan Kuta Geser Tanah Pasir Pantai Dengan Menggunakan Biopolimer Ekso polisakarida*. Malang, Universitas Brawijaya
- Haryani, D.H. *Studi Efektivitas Penurunan Permeabilitas dan Peningkatan Kuat Geser Menggunakan Ekstraseluler Polisakarida Mikrobakteri Terhadap Material Pasir Sungai*. Jurnal. Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya
- Madigan M. T., J. Martinko, J. Parker, et al. 2003, *Brock Biology of Microorganisms, 10th ed.*, Pearson Education, Inc., New York.
- Purwoko, 2007. *Fisiologi Mikroba*. Bumi Aksara : Jakarta.
- Puspita, L., 2011. *Bacterial Carbonate Precipitation for Biogrouting*. Prosiding Simposium Nasional Ekohidrologi, PP 219-232.
- Soedarmo, G. D. dkk, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta : Kanisius.
- Thomas. E., 2016. *Studi Pengaruh Mikrobakteri Terhadap Permeabilitas Dan Kuat Geser Tanah Lempung Dengan Variasi Waktu Pemeraman*. Surakarta, Universitas Sebelas Maret Surakarta.