

STUDI PENGARUH MIKROBAKTERI TERHADAP PERMEABILITAS DAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG DENGAN VARIASI WAKTU PEMERAMAN

Thomas Edi Setianto¹⁾, Yuseph Muslih P²⁾, Bambang Setyawan³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret²⁾.

³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Prodi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: Advent_boy@yahoo.com

Abstract

*Permeability and shear strength values have a very close relationship with the stability of soil. Generally in Indonesia, the materials used to increase stability of soil are chemicals, but in this research the authors will try to analyze the addition of mycobacterial producer of exopolysaccharide on sandy soil for that alternative materials. Where the expected the addition of mycobacterial can add soil stability by reducing its permeability and increase its shear strength. Inoculation of mycobacterial process was done two mycobacterial species variation (*Pseudomonas sp* and *Bacillus subtilis*). Ripening after inoculation of mycobacterial to the soil for 15 and 30 days then testing permeability and shear strength. This study aimed to determine how much influence mycobacterial in reducing the permeability and increase the value of shear strength after inoculation process is completed. The results of this study are supported by SEM photo scan test results to determine changes to the original soil and the soil mix of bacteria during ripening 30 days. Based on the test results can be concluded that inoculation of mycobacterial very influential on clay soils, expressed in percentage. Permeability test results obtained percentage decrease in permeability values inoculation samples of *Bacillus subtilis* amounted to 67.18% and samples of *Pseudomonas sp* inoculation results by 58.73% of the natural samples as a control. While the shear strength test results obtained percentage increase in shear strength sample results inoculation samples of *Bacillus subtilis* amounted 79.57% and sampel of *Pseudomonas sp* inoculation results by 70.97% of the natural sample as a control.*

Keywords: Clay, permeability, shear strength, SEM.

Abstrak

Nilai permeabilitas dan kuat geser memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan stabilitas tanah. Jika di Indonesia pada umumnya bahan yang digunakan untuk material peningkatan stabilitas tanah adalah bahan kimia, namun pada penelitian ini penulis akan mencoba menganalisa penambahan mikrobakteri penghasil *eksopolisakarida* pada tanah lempung sebagai alternatif bahan tersebut. Dimana diharapkan penambahan mikrobakteri ini dapat menambah stabilitas tanah dengan cara mereduksi nilai permeabilitas dan meningkatkan nilai kuat geser tanahnya. Proses inokulasi mikrobakteri ini dilakukan terhadap dua variasi jenis mikrobakteri (*Pseudomonas sp* dan *Bacillus subtilis*). Pemeraman setelah inokulasi mikrobakteri kedalam tanah selama 15 dan 30 hari yang kemudian dilakukan pengujian permeabilitas dan kuat geser. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh mikrobakteri dalam mereduksi nilai permeabilitas dan meningkatkan nilai kuat geser tanah setelah proses inokulasi selesai. Hasil penelitian ini didukung dengan foto scan hasil uji SEM untuk mengetahui perubahan pada tanah asli dan tanah campuran bakteri pada masa pemeraman 30 hari. Hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa inokulasi mikrobakteri sangat berpengaruh terhadap tanah lempung yang dinyatakan dalam presentase. Hasil pengujian permeabilitas didapatkan prosentase penurunan nilai permeabilitas sampel hasil inokulasi *Bacillus subtilis* sebesar 67,18% dan sampel hasil inokulasi *Pseudomonas sp* sebesar 58,73% terhadap sampel natural sebagai kontrol. Sedangkan hasil pengujian kuat geser didapatkan prosentase peningkatan nilai kuat geser sampel hasil inokulasi *Bacillus subtilis* sebesar 79,57% dan hasil inokulasi *Pseudomonas sp* sebesar 70,97% terhadap sampel natural sebagai kontrol.

Kata-kata kunci : Tanah lempung, Permeabilitas, Kuat geser, SEM

PENDAHULUAN

Berbagai macam perlakuan fisik, kimia, atau gabungan keduanya telah lama digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanah. Namun penggunaan mikroorganisme sebagai bioremediasi yang menawarkan suatu metode alternatif yang relatif lebih potensial dibandingkan dengan pengelolaan tanah lainnya. Bioremediasi didefinisikan sebagai penggunaan mikroorganisme hidup untuk memperbaiki struktur tanah. Metode ini merupakan sistem yang ramah lingkungan, salah satunya menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp* sebagai bahan bioremediasi dalam penelitian ini. Dari hasil penelitian stabilisasi tanah lempung dengan biosementasi *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp*.

Alternatif metode biogrouting yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan mikroorganisme dari bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp* menjadi pilihan dalam penelitian ini yang diharapkan akan menghasilkan kalsit/kristal kalsium karbonat yang bisa berpengaruh terhadap struktur tanah.

TUJUAN PENELITIAN

Penggunaan alternatif material stabilisasi tanah yang lebih ramah lingkungan terhadap penurunan permeabilitas tanah dengan metode biogrouting larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp*, serta dapat mengurangi nilai rembesan atau koefisien permeabilitas dan peningkatan nilai kuat geser tanah yang akan di uji di laboratorium

LANDASAN TEORI

Penambahan berbagai macam bahan bioremediasi bakteri telah digunakan dan diteliti. Penelitian ini memakai dasar dari hasil beberapa penelitian yang pernah dilakukan menyangkut tentang stabilisasi tanah.

Anggapan-Anggapan

Handayani (2014), menjelaskan proses inokulasi mikrobakteri ini dilakukan pada lima variasi jenis mikrobakteri. Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas dengan uji tinggi tekan konstan didapatkan prosentase terendah inokulasi *Bacillus subtilis* sebesar 74,425% dan pengujian kuat geser dengan uji geser langsung didapatkan prosentase tertinggi hasil inokulasi *Pseudomonas sp* sebesar 78,913% terhadap sampel natural tanah kepasiran sebagai kontrol.

Fadliah (2013), melakukan penelitian pengujian dengan menginjeksikan bakteri *Lactobacillus sakei*, larutan sementasi, dan tanah lempung kepasiran, kemudian diperam selama 28 hari dengan suhu ruang. Kenaikan nilai kuat tekan bebas sebesar 60 % terhadap nilai kuat tekan bebas tanpa bakteri.

Puspita (2011), melakukan pengamatan dan menjelaskan bahwa jenis 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 dan pasir, lalu diperam atau dibiarkan selama 1 bulan lamanya dengan suhu ruang. Hasil penelitian didukung hasil foto SEM yang menunjukkan adanya Kristal didalam pasir tersebut.

Suprpto (2011), melakukan penelitian menggunakan mikroorganisme untuk meningkatkan kapasitas tanah dan beton. Dengan menambahkan bakteri bisa meningkatkan kapasitas tanah hingga lima kali lipat dan mampu menghasilkan kalsit untuk mengisi pori beton yang meningkatkan nilai kekuatan tekan pada beton

TAHAPAN PENELITIAN

Penelitian ini digunakan sampel tanah asli yang berasal dari Desa Telukan, Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo. Pengambilan sampel tanah ini diambil dalam kondisi tanah terganggu (disturbed sample), dengan cara mencangkul tanah sampai kedalaman tanah kurang lebih 0,5 hingga 1 meter dari permukaan tanah. Pengujian yang dilakukan meliputi :

1. Proses pembuatan media pertumbuhan dan perkembangan bakteri
 - a. Peremajaan kultur murni bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp*
Biakan murni *Bacillus subtilis* masing-masing diambil satu ose kemudian diinokulasikan dengan cara digoreskan pada suhu 37 °C selama 24 jam
 - b. Medium B4
 - c. Pencampuran dan Pembuatan Medium Pertumbuhan Bakteri
 1. Mencampurkan air sebanyak 1 Liter dengan komposisi Medium B4 ke dalam gelas erlenmeyer.
 2. Memasukkan ke dalam alat *Autoclave* dengan suhu 121 °C dengan waktu 15 menit tekanan 1 atm.
 3. Medium yang sudah dingin kemudian dilakukan proses inokulasi bakteri yaitu pencampuran isolat bakteri ke dalam medium B4 yang sudah dibuat dan semua dikerjakan di dalam alat Laminar Airflow untuk menjaga kesterilannya.

4. Bakteri pada medium B4 ditumbuhkan di ruang shaker selama 3 hari pada suhu ruang.

2. Inokulasi Bakteri

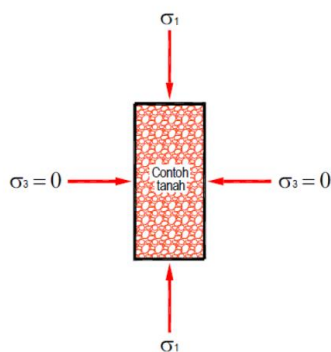
- Dalam proses inokulasi bakteri, yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah yang lolos saringan 4,75 mm yaitu saringan no. 4.
- Tanah yang lolos saringan no.4 tadi akan dioven untuk sterilisasi agar bakteri yang ada dalam tanah tersebut mati dan tidak mengganggu perkembangan bakteri yang akan diinokulasi.
- Sampel tanah yang telah dioven didiamkan dalam suhu ruangan selama beberapa waktu hingga suhunya turun. Sampel tanah dibagi menjadi 3 bagian masing – masing seberat 2500 gram dalam plastik polybag. 2 bagian tanah diinokulasikan dengan 2 jenis mikrobakteri yang berbeda sedang 1 bagian sebagai kontrol.
- Bakteri yang akan diinokulasikan pada sampel tanah lempung, bakteri dapat ditempatkan pada tabung tertutup untuk menghindari bersinggungan dengan udara luar.
- Tanah yang telah dibagi menjadi 2 bagian dicampurkan dengan media pertumbuhan bakteri. Dalam campuran tanah lempung dan media pertumbuhan diinokulasikan mikroorganisme sejumlah 25 ml dengan konsentrasi 10^9 CFU/ml. Proses pemindahan bakteri dari tabung digunakan pipet untuk menjaga tetap steril.
- Sampel tanah dalam polybag yang sudah diinokulasi bakteri ditutup rapat dengan karet gelang setelah itu diberi label nama bakteri pada sampel tanah tersebut.
- Sampel tanah dibiarkan selama kurang lebih 30 hari dalam suhu ruangan serta dijaga kelembapannya dengan membasahi sampel tersebut dalam jangka waktu tertentu. Untuk menjaga tetap steril maka ditempatkan pada ember tertutup.

3. Pemasatan Tanah

Pemasatan adalah peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis. Bertambahnya berat volume kering tanah ini adalah sebagai akibat merapatnya partikel tanah yang diikuti dengan berkurangnya volume udara pada volume air tetap (Hardiyatmo, 2001). Dari pengujian Standard *Proctor* pada penelitian di laboratorium ini didapatkan berat volume kering maksimum (γ_d maks) dan kadar air optimum (w_{opt}), yang kemudian kadar air optimum (w_{opt}) tersebut digunakan sebagai acuan penambahan air pada pembuatan sampel untuk pengujian Kuat Tekan Bebas dan Permeabilitas.

4. Kuat tekan bebas tanah

Kuat tekan bebas ialah besar beban aksial tiap satuan luas penampang benda uji saat mengalami keruntuhan atau pada saat regangan mencapai 20% (Soedarmo dan Purnomo, 1997b). Pada pengujian jenis ini benda uji diberi tegangan utama mayor (σ_1), sedangkan tegangan kekang atau tegangan selnya (σ_3) sama dengan nol. Berikut adalah gambar skematik dari prinsip pembebanannya dilihat pada **Gambar 1**.

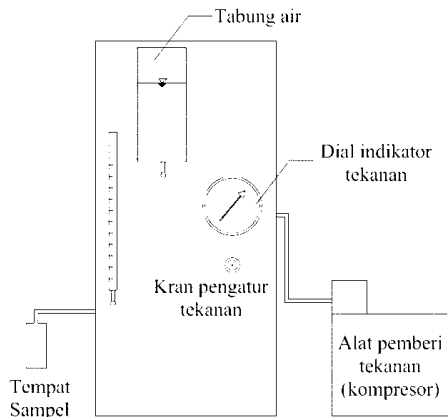


Gambar 1. Skema prinsip pembebanan uji kuat tekan bebas.

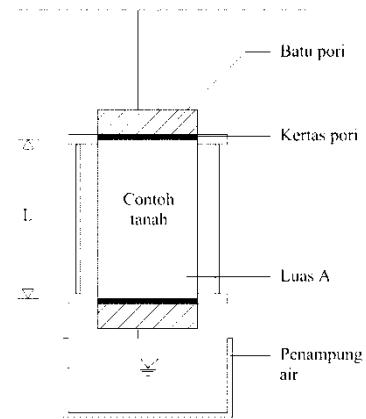
5. Uji Permeabilitas dengan Alat Modifikasi *Constant Pressure Head*

Modifikasi yang dilakukan terhadap alat *Constant Pressure Head* adalah dengan memberikan alat pemberi tekanan berupa kompresor. Yang mana fungsi dari alat pemberi tekanan tersebut adalah untuk menekan air, sehingga

membantu air untuk lebih cepat meresap terhadap sampel dan mempercepat proses uji permeabilitas. Lebih jelasnya tentang alat uji permeabilitas ini dapat dilihat pada **Gambar 2** dan detail sampel akan dijelaskan pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Skema alat uji permeabilitas *constant pressure head*



Gambar 3. Detail sampel pada alat uji *constant pressure head*

6. Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Untuk mengetahui potensi mikrobakteri dalam mengisi pori tanah, sampel tanah inokulasi mikrobakteri yang memiliki nilai permeabilitas terendah dan nilai kuat geser tertinggi dianalisa dengan menggunakan uji *scanning electron microscope*.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil uji klasifikasi tanah lempung pada Desa Tanon diperoleh uji *specific gravity* (G_s) 2,591. Hasil *grain size analysis* diperoleh gradasi butiran terdiri dari lanau dan lempung sebesar 95,05%. Hasil uji pemadatan diperoleh berat volume kering maksimum (γ_d maks) 1,064 dan kadar air optimum (w_{opt}) 36,50. Percobaan *Atterberg Limit* diperoleh nilai LL 72,27%, PL 29,55% dan PI 42,27% sehingga dari hasil tersebut sampel tanah dikategorikan lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH).

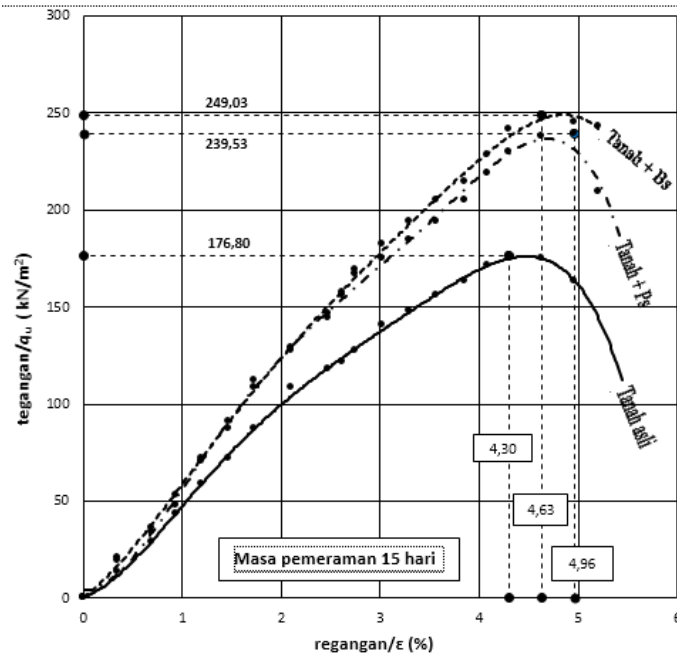
Pengaruh inokulasi mikrobakteri terhadap peningkatan kuat geser

a. Hasil uji kuat geser pada tanah asli sebagai kontrol

Pengujian kuat geser pada sampel tanah lempung asli bertujuan sebagai nilai kontrol seberapa besar peningkatan kuat geser tanah lempung setelah di inokulasi mikrobakteri. Hasil percobaan kuat geser pada sampel natural di dapatkan nilai q_u sebesar 176,80 kN/m².

b. Hasil uji kuat geser tanah campuran pada waktu pemeraman 15 hari

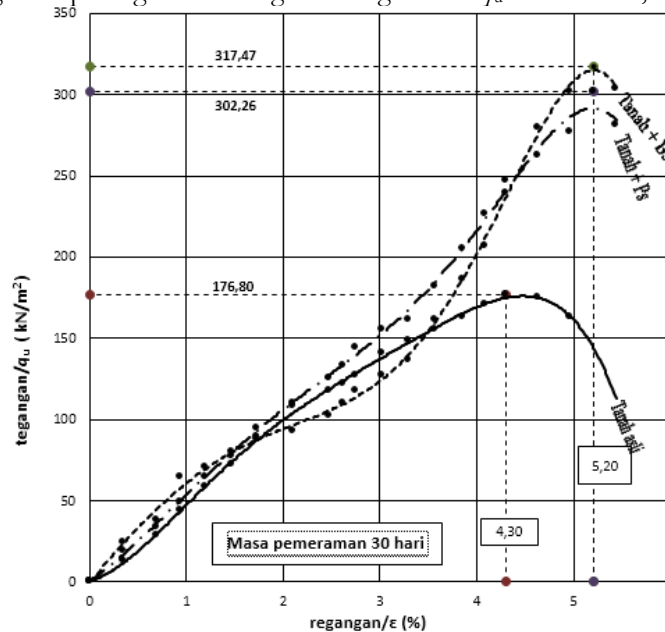
Hasil pengujian diperoleh nilai q_u tanah asli yang dicampur dengan suspensi bakteri *Bacillus subtilis* adalah 249,03 kN/m², sedangkan nilai q_u tanah asli yang dicampur suspensi bakteri *Pseudomonas sp* adalah 239,53 kN/m². Nilai q_u mengalami kenaikan secara kontinu sejalan dengan masa pemeraman dan volume larutan bakteri yang dicampurkan ke dalam tanah, dengan demikian jika dilihat grafiknya pada **Gambar 4** kenaikan yang terjadi tidak signifikan.



Gambar 4. Grafik hubungan tegangan dan regangan masa pemeraman 15 hari sampel tanah asli dan tanah dengan campuran bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp*

Fase ini bakteri masih melakukan penyesuaian diri dengan lingkungannya yang baru. Berbagai macam enzim dan zat-zat perantara yang dibentuk pada fase ini sehingga memungkinkan akan terjadinya pertumbuhan lebih lanjut. Beberapa sel bakteri mulai membesar dan sebagiannya lagi telah melakukan pembelahan diri, tetapi waktu generasinya masih panjang. fase ini sering disebut fase adaptasi (Lay dkk, 1992).

c. Hasil uji kuat geser tanah campuran pada waktu pemeraman 30 hari
 Hasil pengujian kuat tekan bebas dengan pembanding tanpa bakteri, campuran bakteri *Bacillus subtilis* pada masa pemeraman 30 hari mengalami peningkatan kuat geser yaitu dengan nilai q_u sebesar 317,47 kN/m² dan campuran bakteri *Pseudomonas sp* mengalami peningkatan kuat geser dengan nilai q_u sebesar 302,26 kN/m².



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan dan regangan masa pemeraman 30 hari sampel tanah asli dan tanah dengan campuran bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp*

Prosentase peningkatan didapatkan dengan menghitung selisih antara besarnya besarnya kuat geser pasca inokulasi mikrobakteri dan kuat geser sampel natural. Prosentase peningkatan yang didapat akan menentukan seberapa besar pengaruh mikrobakteri tersebut dalam skala persen dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut :

Tabel 1. Prosentase peningkatan nilai kuat geser

Jenis Sampel	Masa Pemeraman (Hari)	Nilai Kuat Geser (kN/m ²)	Kuat Geser Kontrol (kN/m ²)	Besarnya Peningkatan (kN/m ²)	Prosentase Peningkatan (%)
Tanah + <i>Bacillus Subtilis</i>	15	249,03	176,80	72,24	40,86
	30	317,47		140,68	79,57
Tanah + <i>Pseudomonas Sp</i>	15	239,53		62,73	35,48
	30	302,26		125,47	70,97

Batas - batas konsistensi tanah lempung sebelum dan setelah dicampur dengan mikrobakteri pada masa pemeraman 15 hari maupun 30 hari **Tabel 2.** Sampel tanah lempung asli dengan nilai q_u sebesar 176,80 kN/m² termasuk lempung dengan konsistensi sedang. Sampel tanah setelah dicampur mikrobakteri dengan masa pemeraman 15 hari dan 30 hari menunjukkan menjadi tanah lempung konsistensi kaku dengan nilai q_u sebesar 239,53 s/d 317,47 kN/m².

Tabel 2. Hubungan kuat tekan bebas (q_u) lempung dengan konsistensinya (*Terzaghi & Peck, 1967*)

Konsistensi	q_u (kN/m ²)
Lempung keras	> 400
Lempung sangat kaku	200 – 400
Lempung kaku	100 – 200
Lempung Sedang	50 – 100
Lempung lunak	25 – 50
Lempung sangat lunak	< 25

Pengaruh inokulasi mikrobakteri terhadap penurunan permeabilitas

a. Hasil uji permeabilitas pada tanah asli sebagai kontrol

Pengujian permeabilitas pada sampel tanah lempung asli bertujuan sebagai nilai kontrol seberapa besar penurunan permeabilitas tanah lempung setelah di inokulasi mikrobakteri pada rentang waktu pemeraman yang telah ditentukan yaitu 15 hari dan 30 hari. Pada pengujian sampel natural di dapatkan nilai permeabilitas sebesar $1,12 \times 10^{-9}$ m/dt.

b. Hasil uji permeabilitas tanah campuran pada waktu pemeraman 15 hari

Penurunan permeabilitas belum begitu signifikan yaitu sebesar $7,41 \times 10^{-10}$ m/dt untuk tanah dengan suspensi bakteri *Bacillus subtilis* dan $8,03 \times 10^{-10}$ m/dt untuk sampel tanah dengan suspensi bakteri *Pseudomonas sp*.

c. Hasil uji permeabilitas tanah campuran pada waktu pemeraman 30 hari

Dari hasil pengujian permeabilitas dengan pembandingan tanpa bakteri, campuran Bakteri *Bacillus subtilis* mengalami penurunan nilai permeabilitas sebesar $3,85 \times 10^{-10}$ m/dt dan campuran Bakteri *Pseudomonas sp* mengalami penurunan nilai permeabilitas sebesar $4,58 \times 10^{-10}$ m/dt.

Prosentase penurunan didapatkan dengan menghitung selisih antara besarnya permeabilitas sampel natural dan besarnya permeabilitas pasca inokulasi mikrobakteri. Prosentase penurunan yang didapat menunjukkan seberapa besar pengaruh mikrobakteri tersebut dalam skala persen dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut ini :

Tabel 3. Prosentase penurunan nilai permeabilitas

Jenis Mikrobakteri	Masa Pemeraman (Hari)	Nilai Permeabilitas (m/dt)	Permeabilitas Kontrol (m/dt)	Besarnya Peningkatan (m/dt)	Prosentase Peningkatan (%)
Tanah + <i>Bacillus Subtilis</i>	15	$9,78 \times 10^{-10}$	$1,48 \times 10^{-9}$	$4,99 \times 10^{-10}$	33,80
	30	$4,85 \times 10^{-10}$		$9,93 \times 10^{-10}$	67,18
Tanah + <i>Pseudomonas Sp</i>	15	$1,11 \times 10^{-9}$		$3,73 \times 10^{-10}$	25,21
	30	$6,10 \times 10^{-10}$		$8,68 \times 10^{-10}$	58,73

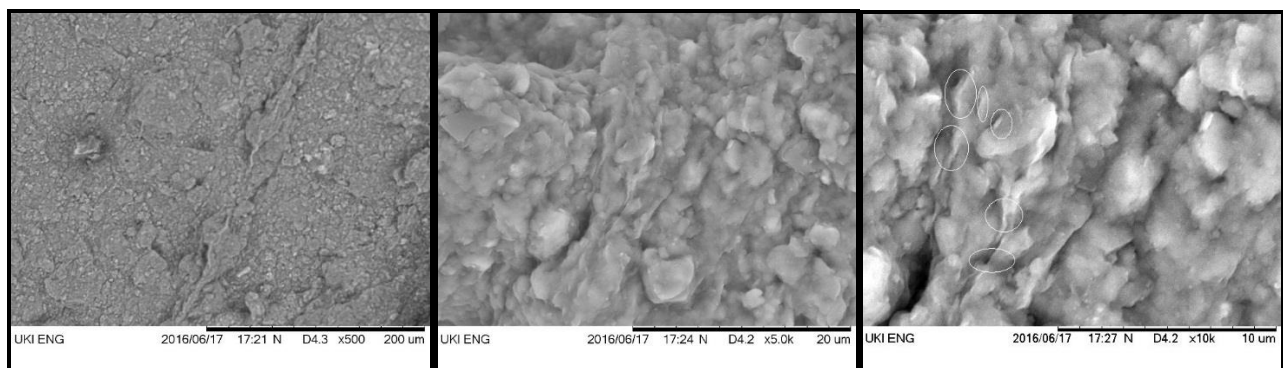
Tabel 4 menunjukkan bahwa tanah lempung asli dengan permeabilitas sebesar $1,12 \times 10^{-9}$ m/dt air tidak dapat mengalir keluar dari rongga akibat gravitasi. Nilai koefisien permeabilitas mengalami penurunan saat tanah sudah di inokulasi mikrobakteri dengan masa pemeraman 15 hari maupun 30 hari. nilai permeabilitas yang di didapat sebesar $1,11 \times 10^{-9}$ s/d $4,85 \times 10^{-10}$ m/dt dimana lempung hampir tidak dapat dirembes oleh air.

Tabel 4 Klasifikasi permeabilitas tanah (Wesley, 2012)

Bahan	Koefisien Rembesan (m/detik)	Uraian
Kerikil	$\geq 0,01$	Dapat dikeringkan dengan pemompaan, yaitu air akan keluar dari rongga karena gravitasi
Pasir Kasar	10^{-2} sampai 10^{-3}	
Pasir Sedang	10^{-3} sampai 10^{-4}	
Pasir Halus	10^{-5} sampai 10^{-6}	
Lanau	10^{-6} sampai 10^{-7}	Air tidak dapat mengalir keluar dari rongga karena gravitasi
Lempung Kelanauan	10^{-7} sampai 10^{-9}	
Lempung	10^{-8} sampai 10^{-11}	Hampir tidak dapat dirembes air

Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Sampel tanah yang digunakan untuk uji SEM dipilih dengan pertimbangan yang memiliki nilai permeabilitas terendah dan nilai kuat geser tertinggi setelah proses inokulasi selesai. Hasil pengujian SEM dilihat pada **Gambar 6** berikut.



Gambar 6. Hasil uji SEM sampel tanah dengan Bakteri *Bacillus Subtilis* pada masa pemeraman 30 hari

Pengambilan sampel untuk pengujian SEM adalah random, yaitu sampel diambil secara acak. Sampel kemudian. **Gambar 6.** dengan perbesaran 10.000 kali dapat dilihat adanya mikrobakteri *Bacillus subtilis* yang melekat pada dinding-dinding lempung yang hidup secara *soliter*. *Bacillus subtilis* mampu menghasilkan *enzim urease* yang kemudian dapat menghasilkan *eksopolisakarida* senyawa *kalsium karbonat* sebagai perekat pori-pori sampel dan melekatkan antar partikel tanah lempung. Hal ini membuktikan bahwa mikrobakteri yang dibiakkan atau diinokulasikan ke dalam sampel tanah lempung dapat hidup, mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Hasil uji SEM tersebut juga membuktikan bahwa penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan yaitu mikrobakteri menghasilkan *eksopolisakarida*

SIMPULAN

Hasil dari analisis dan pembahasan diperoleh kesimpulan :

Nilai koefisien permeabilitas mengalami penurunan saat tanah sudah di inokulasi mikrobakteri dengan masa pemeraman 15 hari maupun 30 hari. Nilai permeabilitas yang di didapat sebesar $1,11 \times 10^{-9}$ s/d $4,85 \times 10^{-10}$ m/dt dimana lempung hampir tidak dapat dirembes oleh air.

Kuat geser sampel natural sebagai kontrol mempunyai nilai q_u sebesar 176,80 kN/m² yang termasuk lempung dengan konsistensi sedang. Sampel tanah setelah dicampur mikrobakteri dengan masa pemeraman 15 hari dan 30 hari menunjukkan adanya perubahan dari tanah lempung konsistensi sedang menjadi tanah lempung dengan konsistensi kaku q_u sebesar 239,53 s/d 317,47 kN/m².

Hasil uji SEM membuktikan bahwa bahwa mikrobakteri yang dibiakkan atau diinokulasikan ke dalam sampel lempung dapat hidup, mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Eksopolisakarida yang terbentuk menempel pada dinding partikel tanah lempung, kemudian mengisi dan menutup pori-pori diantara partikel tanah dan melekatkan antar partikel tanah lempung. Proses inilah yang menyebabkan tanah lempung menjadi lebih kuat terhadap geser dan impermeabel terhadap air.

REKOMENDASI

Penelitian ini masih perlu kajian lanjutan untuk melihat lebih jauh pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas sp* dalam rentang waktu yang lama dan perbandingan volume suspensi bakteri. Alat-alat yang digunakan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan mikrobakteri harus dalam keadaan steril agar meminimalisir pertumbuhan organisme lain selain mikrobakteri tersebut.

REFERENSI

- Atlas and Bartha, 1987. *Microbial Ecology : Fundamentals and Application.*, Menlo Park, USA
- Fadliah, I., 2013. *Studi Eksperimental Stabilisasi Biogrouting Bacillus subtilis pada Tanah Lempung Kepasiran*. Thesis. Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Handayani, M., 2014. *Studi Efektivitas Penurunan Permeabilitas dan Peningkatan Kuda Geser Tanah Pasir Pantai Dengan Menggunakan Biopolimer Eksopolisakarida*. Malang, Universitas Brawijaya
- Hardiyatmo, C. H., 2006. *Mekanika Tanah 2*, Gadjah Mada University Press, Jakarta.
- Lay dkk, 1992. *Mikrobiologi*, Rajawali Press, Jakarta.
- Puspita, L., 2011. *Bacterial Carbonate Precipitation for Biogrouting*. Prosiding Simposium Nasional Ekohidrologi, PP 219-232.

Suprpto, H. Y., 2011. *Application of Microbiology to Improve Mechanical Properties of Soil and Concrete*. Faculty of Engineering University Indonesia.

Terzaghi, K., And Peck, R.B., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd Ed. John Woley and Sons, New York.

Wesley, L. D., 2012. *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan & Residu*. Y