

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Teknik Pengumpulan Data Primer

Teknik pengumpulan data merupakan faktor penting dalam keberhasilan penelitian. Hal ini berkaitan dengan bagaimana cara mengumpulkan data, asal-usul sumbernya, dan apa saja alat yang digunakan. Sedangkan metode pengumpulan data merupakan teknik atau cara yang dilakukan untuk mengumpulkan data.

Sumber perolehan data terbagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh penulis secara langsung (dari tangan pertama), sementara data sekunder adalah data yang diperoleh penulis/peneliti dari sumber yang sudah ada.

Dalam studi analisa efektivitas ini, penulis sepenuhnya menggunakan data primer. Teknik pengumpulan data primer merupakan data asli yang dikumpulkan oleh penulis untuk menjawab masalah penelitiannya secara khusus. Karena data primer ini dikumpulkan sendiri oleh penulis, maka tentu dibutuhkan komitmen yang lebih besar dibandingkan perolehan data sekunder. Penelitian yang mengandalkan data primer relatif membutuhkan biaya, sumber daya yang lebih besar, waktu yang lebih lama dan lebih rumit dibandingkan dengan data sekunder. Metode pengumpulan yang digunakan untuk mendapatkan data ialah berupa percobaan (uji) laboratorium.

Dalam penelitian ini, data primer didapat dari beberapa macam pengujian, diantaranya yaitu :

1. Uji gradasi butiran (*grain size*)
2. Uji berat jenis (*specific gravity*)
3. Uji kadar air (*water content*)
4. Uji tinggi tekan konstan (*constant head*)
5. Uji geser langsung (*direct shear*)
6. Uji *scanning electron microscope* (SEM)

4.2 Hasil Penelitian dan Pengujian Laboratorium

Hasil-hasil penelitian diperoleh dari pengujian sampel natural sebagai kontrol dan sampel yang telah diinokulasi mikrobakteri. Pengujian meliputi pengujian gradasi butiran, berat jenis, kadar air, tinggi konstan, dan geser langsung. Hasil-hasil penelitian dapat dilihat pada bahasan selanjutnya.

4.2.1 Hasil Analisa Ayakan Pengujian Gradasi Butiran (*Grain Size*)

Tanah pasir pantai merupakan agregat halus. Agregat halus adalah agregat yang semua butirannya lolos ayakan no. 4 atau ayakan dengan saringan berdiameter 4,75 mm. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk menentukan pembagian butir (gradasi) pada tanah pasir pantai, menentukan kadar lanau dan lempung.

Pelaksanaan dari pengujian analisa gradasi butiran tanah pasir pantai ini adalah sebagai berikut:

- Bahan uji harus dalam keadaan kering oven.
- Timbang beratnya.
- Bahan disaring dengan susunan saringan no.4 (4,76 mm); no.8 (2,38 mm); no.16 (1,19 mm); no.30 (0,59 mm); no.50 (0,297 mm); no. 100 (0,149 mm); no.200 (0,075 mm); PAN.
- Selama 15 menit guncangkan saringan atau ayakan dengan mesin pengayak.
- Bahan yang tertinggal di atas saringan masing-masing ayakan ditimbang.

Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 pada halaman selanjutnya.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Gradasi Butiran Sampel Tanah Asli

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		Kumulatif (%)	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	0	0	0	100
2.5"	63,5	0	0	0	100
2"	50,8	0	0	0	100
1.5"	38,1	0	0	0	100
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,1	0	0	0	100
1/2"	12,7	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
4	4,76	0	0	0	100
8	2,38	1,1	0,22	0,22	99,78
16	1,19	2,2	0,44	0,66	99,34
30	0,59	25,6	5,16	5,82	94,18
50	0,297	35,9	7,23	13,05	86,95
100	0,149	317,6	63,97	77,02	22,98
200	0,075	91,2	18,37	95,39	4,61
Pan		22,9	4,61	100,00	0,00
Total		496,5		192,17	

Sumber: Hasil Pengolahan Data





Dari hasil pengujian diperoleh nilai:

- $D_{60} = 0,22$
- $D_{30} = 0,17$
- $D_{10} = 0,10$
- $Cu = D_{60} / D_{10}$
 $= 0,22 / 0,10$
 $= 2,200$
- $Cc = \frac{D_{30}^2}{(D_{10} \times D_{60})}$
 $= \frac{(0,17)^2}{(0,10 \times 0,22)}$
 $= 1,314$

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah pada diameter butir “*Unified Standard Classification System*”, pasir bergradasi baik (SW) adalah memenuhi $Cu > 6$ dan $1 < Cc < 3$. Selain itu, pasir dapat dikatakan berlanau/berlempung dilihat dari persentase kandungan lanau/lempungnya. Pasir dapat diklasifikasi menggunakan simbol ganda apabila gradasi yang lolos saringan No. 200 melebihi 5% berat total. Dari hasil perhitungan Cu dan Cc, kandungan lanau sebesar 18,369%, dan kandungan lempung (lolos saringan No. 200) sebesar 4,612%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa klasifikasi gradasi sampel uji terletak diantara pasir bersih bergradasi buruk (SP).

4.2.2 Hasil Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Harga berat jenis tanah sering dibutuhkan dalam berbagai keperluan perhitungan dalam bidang mekanika tanah. Harga tersebut dapat ditentukan dengan akurat di laboratorium. Tanah yang digunakan dalam pengujian ini adalah tanah lolos saringan no.4. Untuk tanah berlempung dan berlanau, harga berat jenisnya berkisar antara 2,6 – 3,0.

Pelaksanaan dari pengujian analisa berat jenis tanah pasir pantai ini adalah sebagai berikut:

- a) Siapkan labu yang sudah dikalibrasi;
- b) Siapkan sampel tanah kering lolos saringan no. 4;
- c) Masukkan sampel tanah ke dalam labu ukur dan tambahkan air sampai setengah bagian dan dididihkan;
- d) Setelah mendidih tambahkan air pelan-pelan kemudian angkat (saat mendidih tutup jangan dipasang);
- e) Tambahkan air sampai penuh kemudian ditimbang;
- f) Ukur suhu labu tersebut dengan menggunakan *termometer* suhu;
- g) Ulangi langkah e) dan f) pada suhu di *termometer* suhu diintervalkan kalibrasi labu ukur.

Dari hasil pengujian, didapat nilai $G_s = 2,949$. Hasil perhitungan uji berat jenis dilampirkan pada Lampiran-1.

4.2.3 Hasil Pengujian Kadar Air (*Water Content*)

Istilah yang digunakan untuk hubungan berat adalah kadar air (*water content*). Kadar air yang dimaksud yakni persentase perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat tanah yang diselidiki.

Pelaksanaan dari pengujian analisa kadar air tanah pasir pantai ini adalah sebagai berikut:

- ❖ Sampel tanah ditempatkan pada cawan yang bersih yang telah diketahui beratnya kemudian diukur berapa penambahan berat setelah ditambahkan partikel sampel tanah;
- ❖ Sampel tanah kemudian dimasukkan ke dalam oven selama ± 6 jam sampai keadaan sampel mencapai berat konstan;
- ❖ Setelah ± 6 jam dikeluarkan dari oven, ditimbang dan beratnya dicatat.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kadar Air Sampel Tanah Asli

No.	Keterangan	Satuan	1	2
1	Berat cawan	(gr)	4,20	5,60
2	Berat cawan + Tanah Basah	(gr)	18,10	15,20
3	Berat cawan + Tanah Kering	(gr)	17,30	14,80
4	Berat Air (2) - (3)	(gr)	0,80	0,40
5	Berat tanah kering (3) - (1)	(gr)	13,10	9,20
6	Kadar Air (W) (4)/(5)	(%)	6,11	4,35
7	Rata-rata kadar air	(%)	5,23	

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Dari pengujian yang telah dilakukan dan setelah melalui perhitungan maka didapatkan bahwa kadar air sampel tanah (1) adalah sebesar 6,11 % , kadar air sampel tanah (2) adalah sebesar 4,35 %. Maka rerata kadar air dari keduanya adalah 5,23 %.

Selanjutnya, pengujian kadar air juga dilakukan pada sampel yang telah diinokulasi mikrobakteri. Hasil pengujiannya telah direkapitulasi pada Tabel 4.3. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel dengan kadar air terbesar adalah *Nitrobacter sp* dengan kadar air sebesar 18,27%. Sampel dengan kadar air terbesar yang kedua adalah *Bacillus subtilis* dengan kadar air sebesar 18,17%. Selanjutnya kadar air *Agrobacterium tumefaciens*, *Pseudomonas sp*, dan *Lactobasillus sakei* berturut turut adalah 16,12%, 14,11% dan 12,73%. Prosentase pada sampel natural sebagai kontrol adalah sebesar 5,23%. Hasil pengujian kadar air sampel yang telah diinokulasi mikrobakteri dapat dilihat pada Lampiran-2.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kadar Air

Jenis Mikrobakteri	Kadar Air
	(%)
<i>Lactobasillus sakei</i>	12,73
<i>Pseudomonas sp</i>	14,11
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	16,12
<i>Basillus subtilis</i>	18,17
<i>Nitrobacter sp</i>	18,27
Sampel Natural sebagai Kontrol	5,23

Sumber: Hasil Pengolahan Data

4.2.4 Hasil Pengujian Tinggi Tekan Konstan (*Constant Head*)

Permeabilitas adalah kemampuan air untuk meloloskan dalam tanah. Pada pengujian ini sampel tanah merupakan tanah pasir sehingga dilakukan uji tinggi tekan konstan (*constant head*). Permeabilitas tanah didapatkan dari pengujian dengan menggunakan alat uji *constant head permeameter*. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat maka pada pengujian *constant head* ini dilakukan 3 kali terhadap 1 sampel dengan waktu pengaliran yang sama. Jadi, pada setiap 1 sampel didapatkan 3 nilai permeabilitas. Rerata ketiga nilai permeabilitas inilah yang selanjutnya ditetapkan sebagai nilai permeabilitas sampel tersebut. Data hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Lampiran-3. Sedangkan rekapitulasi hasil perhitungan pengujiannya, penulis tampilkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tinggi Tekan Konstan

Jenis Mikrobakteri	Nilai Permeabilitas (cm/dt)
<i>Lactobacillus sakei</i>	0,00185
<i>Pseudomonas sp.</i>	0,00199
<i>Agrobacterium tumifaciens</i>	0,00131
<i>Bacillus subtilis</i>	0,00090
<i>Nitrobacter sp.</i>	0,00150
Sampel Natural sebagai Kontrol	0,00351

Sumber: Hasil Pengolahan Data

4.2.5 Hasil Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear*)

Dalam pengujian *direct shear*, sampel dicetak dalam *ring* dan akan mendapatkan pembebanan sebesar 400gr, 800gr dan 1200gr. Masing-masing sampel yang dicetak dalam *ring* memiliki berat isi yang sama, dimana berat isi ini disesuaikan dengan kondisi lapangan asal tanah pasir pantai tersebut. Berikut perhitungan berat isi untuk sampel pengujian geser langsung:

$$\bullet \quad \gamma = \frac{Gs(1+wc)}{1+e} \gamma_w$$

$$\gamma = \frac{2,95(1 + 0,0523)}{1 + 0,70} \times 0,989$$

$$\gamma = 1,822 \text{ gr/cm}^3$$

- $\frac{w}{V} = \gamma$
 $w = \gamma \cdot v$
 $w = \gamma \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot h\right)$
 $w = 1,822 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6^2 \cdot 1,7\right)$
 $w = 87,578 \text{ gr} \rightarrow \text{berat isi sampel}$
- Berat isi sampel + berat ring = 87,578 + 63,2
 Berat isi sampel + berat ring = 150,778 gr

Dari pengujian akan didapat hasil berupa nilai c yaitu kohesi tanah dan nilai sudut geser tanah yang kemudian diolah lebih lanjut untuk mendapatkan nilai kuat geser tanah. Hasil pengujian *direct shear* dapat dilihat pada Lampiran-4. Sedangkan rekapitulasi hasil perhitungan pengujiannya, penulis tampilkan pada Tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Geser Langsung

Sampel	Sudut Geser	Kohesi	Kuat Geser
	(°)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
<i>Lactobasilus sakei</i>	41,02	0,035	0,7310
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	35,45	0,008	0,5776
<i>Pseudomonas sp</i>	32,33	0,002	0,5084
<i>Bacillus subtilis</i>	30,33	0,004	0,4720
<i>Nitrobacter sp</i>	36,02	0,008	0,5896
Sampel Natural sebagai Kontrol	29,68	0,004	0,4600

Sumber: Hasil Pengolahan Data

4.3 Pengaruh Inokulasi Terhadap Struktur Sampel

Selama 30 hari penginokulasian, mikrobakteri menghasilkan sintesis eksopolisakarida yang berbeda-beda komposisi sifat kimiawi dan fisiknya. Produksi eksopolisakarida ini dipengaruhi oleh fase pertumbuhan dan perkembangan mikrobakteri, nutrisi yang tersedia dalam media perkembangannya, juga pH dan temperatur. Proses sintesis ini adalah proses dimana terbentuknya polimer-polimer dan *peptidoglycan* pada dinding sel mikrobakteri. Kesatuan polimer-polimer dan *peptidoglycan* tersebut kemudian disebut sebagai

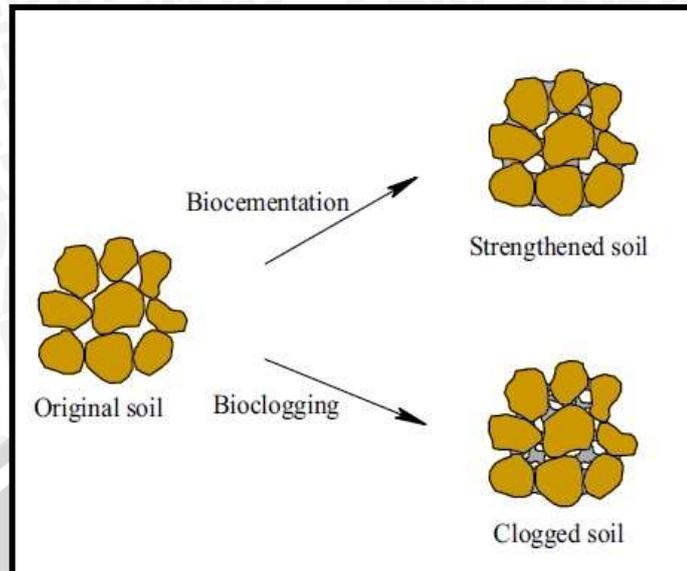
eksopolisakarida. Eksopolisakarida-eksopolisakarida, yang disekresi oleh komunal mikrobakteri dalam sampel, dapat menyumbat dan merekatkan struktur sampel melalui pori butiran tanah pasir tersebut.

Dalam proses inokulasi mikrobakteri dalam tanah pasir, maka akan terjadi 3 proses yaitu (Ivanov V and Chu J. 2008):

1. Terjadi proses *bioclogging* yaitu proses dimana mikrobakteri akan menghasilkan material maupun massa sel mikrobakteri itu sendiri yang mampu yang mengisi rongga-rongga antar tanah pasir yang dapat mereduksi porositas dan angka permeabilitas tanah pasir tersebut.
2. Terjadi proses *biocementation* yaitu proses dimana mikrobakteri menghasilkan material berupa *slime ekstraselular polisakarida* yang mampu meningkatkan kuat geser dan kekakuan tanah pasir.
3. Terjadi proses yang menghasilkan *biogas* yaitu proses dimana dihasilkan *bubbles* (udara) melalui aktivitas mikrobakteri yang dapat menurunkan resiko *liquefaction potential* tanah pasir.

Akumulasi massa sel yang terjadi pada mikrobakteri, *slime* dan gas yang dihasilkan mikrobakteri yang berada pada tanah pasir akan membuat tanah pasir lebih impermeabel terhadap air (Ivanov V and Chu J. 2008). Hal ini terjadi karena *ekstraselular polisakarida* yang diproduksi oleh mikrobakteri akan mengubah susunan struktur tanah pasir. Produksi dari *ekstraselular polisakarida* tersebut akan mengikat partikel-partikel tanah pasir dan mengisi rongga-rongga antar butiran tanah pasir.

Berdasarkan Gambar 4.2 yang terletak pada halaman selanjutnya, dapat dilihat bahwa dalam proses *biocementation* material yang dihasilkan oleh mikrobakteri akan mengikat partikel-partikel tanah pasir sehingga tanah pasir menjadi lebih padat dan kemampuan untuk menahan gaya gesernya akan meningkat. Disamping itu pada proses *bioclogging* terjadi *clogging* atau penyumbatan oleh material yang dihasilkan oleh mikrobakteri maupun oleh



Gambar 4.2 Pengaruh Inokulasi Mikrobakteri terhadap Struktur Sampel
 Sumber : *Research For Solution for Sustainable Development in Construction*
School of Civil and Environmental Engineering Nanyang Technology University

aktivitas mikrobakteri yang menyumbat atau mengisi rongga-rongga antar partikel tanah pasir sehingga dapat menghambat adanya aliran air saat melewati partikel tanah pasir dan menurunkan angka permeabilitas tanah pasir tersebut.

Secara umum, faktor yang mempengaruhi produksi *ekstraselular polisakarida* yang dihasilkan mikrobakteri adalah medium pertumbuhan, kondisi lingkungan, dan pembentukan dari reaksi samping. Medium yang digunakan untuk memproduksi senyawa *polisakarida* biasanya mengandung unsur karbon yang tinggi digunakan untuk membatasi perbandingan nutrisi dengan unsur nitrogen. Perubahan 60-80 % dari sumber karbon kompleks yang digunakan menjadi senyawa polimer yang sederhana (hidrolisis) didapatkan hasil yang tinggi dari proses fermentasi senyawa *polisakarida* tersebut. Langkah penting dalam pertumbuhan mikroorganisme dan pembentukan produk adalah formulasi medium yang baik. Medium pertumbuhan dan produksi yang baik sebaiknya mengandung unsur karbon, nitrogen, fosfor, sulfur, kalium, dan garam magnesium (Chawla *et al.* 2009). Disamping itu menurut DeJong *et al.* 2006, mikroorganisme seringkali berada pada sementasi sedimen yang mengandung kalsium, magnesium, besi, mangan dan aluminium yang berbentuk kristal karbonat, silica, fosfat, sulfide dan hidroksida, terutama besi hidroksida.

Pada penelitian ini media yang digunakan berupa gula (sukrosa) dan garam mineral, yaitu berupa CaCl_2 , MgSO_4 , K_2HPO_4 , dan sukrosa. Unsur karbon yang dibutuhkan dalam proses produksi *ekstraselular polisakarida* didapatkan dari *sucrose* ($\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$). Garam-garam yang dibutuhkan yaitu kalium didapat dari K_2HPO_4 , magnesium didapat dari MgSO_4 , Kalsium didapat dari CaCl_2 . Kalsium (Ca) berfungsi sebagai bahan presipitasi dalam pembentukan *calcite* yang nantinya berpengaruh dalam proses *bioclogging* atau penurunan nilai permeabilitas. Magnesium (Mg) berfungsi dalam fermentasi anaerobic yang berperan dalam *biocementation*. Selain itu, terdapat pula zat Nitrogen (N_2) yang didapat dari unsur tanah sampel.

4.3.1 Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Lactobacillus sakei*

Kemampuan *Lactobacillus sakei* untuk menghasilkan EPS telah diakui selama bertahun-tahun. Pada tahun 1968, Kooiman (dari Sikkema dan Oba 1998) pertama kali melaporkan struktur heteropolisakarida yang dihasilkan oleh *Lactobacillus*. Polisakarida ini terdiri dari hexasaccharide mengulangi unit dengan D-galaktosa dan D-glukosa dalam rasio 1:1 molar. Dalam beberapa dekade terakhir, sejumlah heteropolisakarida yang dihasilkan oleh spesies *Lactobacillus* telah diselidiki.

Mikrobakteri fermentasi sejenis *Lactobacillus sakei* dapat digunakan dalam pembentukan sementasi pada tanah dengan adanya mineral berupa kalsium, magnesium atau besi (Ivanov V and Chu J. 2008). Pada proses sementasi akan meningkatkan pH disebabkan oleh reaksi amonifikasi (pelepasan ammonia) dan memproduksi karbondioksida pada tanah yang ditambahkan dengan urea atau limbah protein (Bachmeier et al.2002; Castanier et al.1999; Hammes and Verstraete 2002; Kucharski et al. 2005; Stoch-Fischer and Galinat 1999). Karbonat dan hidroksida dari logam akan mengalami presipitasi pada pH yang tinggi sehingga secara kimia akan mengikat partikel tanah dan menyumbat tanah. Jika karbohidrat ditambahkan mikrobakteri akan menurunkan pH yang disebabkan oleh pembentukan asam organik selama fermentasi karbohidrat tersebut.

Hal tersebut akan potensial untuk proses *bioclogging* dan *biocementation* untuk presipitasi silikat dari suspensi koloidal silikat. Di samping itu, asam organik yang dihasilkan dalam fermentasi karbohidrat dapat memecahkan karbonat dan hidroksida sehingga mampu mengikat partikel tanah. Pengikatan inilah yang kemudian memberikan manfaat secara signifikan terhadap kekuatan geser sampel. Berikut adalah foto sampel hasil inokulasi mikrobakteri *Lactobacillus sakei*.



Gambar 4.3 Sampel Hasil Inokulasi Mikrobakteri *Lactobacillus sakei*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

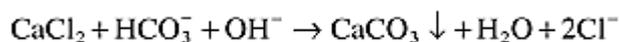
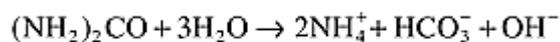
4.3.2 Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Bacillus subtilis*

Ketika mikrobakteri ini diinokulasi ke dalam sampel, *Bacillus subtilis* dapat mempresipitasi substansi inorganik dalam pori-pori tanah, sebagai contoh presipitasi dari kalsium karbonat pada peningkatan pH (Bachmeier et al. 2002). Hal ini berperan dalam proses mediasi-mikroba untuk mereduksi porositas dan nilai permeabilitas dari struktur geologi permukaan tanah.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi pertumbuhan *Bacillus subtilis*, diantaranya yang terpenting ialah persediaan oksigen dan air dalam tanah, temperatur, jumlah dan sifat bahan organik tanah, dan konsentrasi ion H larutan tanah, serta jumlah kalsium yang dapat dipertukarkan. Tiga transformasi enzim yang dialami oleh mikrobakteri ini ialah nitrifikasi, oksidasi sulfur dan fiksasi nitrogen.

Salah satu aplikasi yang menjanjikan adalah pembentukan rekatan tanah oleh *Bacillus subtilis* dalam medium yang mengandung urea dan

kalsium klorida. Mikrobakteri ini menghasilkan enzim urease yang menghidrolisis urea dengan reaksi berikut:



Karena reaksi enzimatik ini, pH meningkat dan *hydrocarbonate* diproduksi. Hal ini memulai pengendapan kalsium karbonat, yang merekatkan pori-pori tanah (Kucharski et al 2005). Peretakan inilah yang kemudian memberikan manfaat secara signifikan terhadap penurunan kemampuan permeabilitas sampel. Berikut adalah foto sampel hasil inokulasi mikrobakteri *Bacillus subtilis*.



Gambar 4.4 Sampel Hasil Inokulasi Mikrobakteri *Bacillus subtilis*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

4.3.3 Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Agrobacterium tumefaciens*

Mikrobakteri ini mampu menghasilkan *slime* polisakarida dalam jumlah yang besar, membentuk rangkaian dan filamen, mampu meningkatkan pH dan mengoksidasi substansi organik dan inorganik yang berbeda (Babu Sivakumar: 2008).

Kenaikan pH dikarenakan reaksi amonifikasi dan presipitasi karbonat untuk membentuk partikel yang menyumbat pori-pori tanah. *Agrobacterium tumefaciens* termasuk mikrobakteri yang dapat memproduksi ekstraseluler

polisakarida untuk merekatkan partikel tanah atau *biocementation* dan mengisi pori-pori tanah atau *bioclogging*. Dalam tanah mikrobakteri ini biasanya mengalami katalase positif, juga oksidase dan urease yang biasanya juga positif. Dalam media yang kaya akan karbohidrat (gula) akan banyak menghasilkan lendir ekstraseluler polisakarida yang mampu merekatkan partikel tanah. Namun dalam pemanfaatan glukosa (gula) tidak terjadi produksi gas. Berikut adalah reaksi urease yang terjadi pada *Agrobacterium tumifaciens* dan foto sampel hasil inokulasi mikrobakteri *Agrobacterium tumifaciens*.



Gambar 4.5 Sampel Hasil Inokulasi Mikrobakteri *Agrobacterium tumifaciens*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

4.3.4 Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Pseudomonas sp*

Pertumbuhan mikrobakteri dalam media alam berpori sering menyebabkan terjadinya penyumbatan melalui kombinasi faktor yang melibatkan akumulasi biomassa, sekresi lendir *ekstraseluler polisakarida*, dan pembentukan biogas tidak larut. *Pseudomonas sp.* dipilih untuk digunakan berdasarkan kemampuannya untuk menghasilkan lendir *ekstraselular polisakarida*.

Mikrobakteri aerobik bisa cocok untuk *bioclogging* tanah dan *biocementation*, dan biobinding partikel tanah karena banyak spesies mampu menghasilkan jumlah besar lendir, rantai bentuk dan filamen, meningkatkan pH, dan mengoksidasi zat organik dan anorganik yang berbeda. Namun khusus untuk *Pseudomonas sp.*, tidak cukup baik untuk *bioclogging*, *biocementation* dan *biobinding* dalam skala yang besar karena *Pseudomonas sp.* juga melakukan proses denitrifikasi dalam tanah, dimana mikrobakteri ini memiliki kemampuan untuk *bioreduction* nitrat dan nitrit menjadi gas nitrogen. Mikrobakteri ini dapat menghasilkan gas dinitrogen dalam volume yang cukup banyak selama denitrifikasi.

Dari pernyataan diatas, disimpulkan bahwa mikrobakteri ini dapat memproduksi ekso polisakarida dan menghasilkan *bubble* secara bersamaan. Pada akhirnya, inokulasi mikrobakteri ini dapat digunakan sebagai upaya penurunan permeabilitas maupun peningkatan kuat geser, namun hasil yang dihasilkan tidak maksimal. Berikut adalah foto sampel hasil inokulasi mikrobakteri *Pseudomonas sp.*



Gambar 4.6 Sampel Hasil Inokulasi Mikrobakteri *Pseudomonas sp.*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

4.3.5 Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Nitrobacter sp*

Mikrobakteri nitrifikasi yang termasuk didalamnya adalah *Nitrobacter sp* memproduksi ekstraseluler polisakarida yang berasal dari CO₂ selama proses oksidasi ammonia (Stehr et al.1995). Berdasarkan pengujian di laboratorium, maka dapat diidentifikasi bahwa mikrobakteri nitrifikasi dapat

digunakan untuk proses *bioclogging*. Mikrobakteri nitrifikasi tumbuh dan berkembang dengan melarutkan ammonia, kemudian memproduksi polisakarida dari ammonia dan CO₂ yang didapat dari udara.

Mikrobakteri nitrifikasi berperan dalam proses *bioclogging* dan *biocementation* dengan cara menghasilkan *slime* (ekstraseluler polisakarida) pada tanah dengan kondisi dasar yang dibutuhkan adalah keberadaan ammonia dan oksigen, karena mikrobakteri dalam golongan mikrobakteri nitrat adalah mikrobakteri aerob yang memerlukan oksigen.

Di dalam tanah sebagian besar dari setiap biofilm alami nitrat mengandung mikrobakteri nitrat, yang tertanam pada lapisan *slime* mikrobakteri. (Nanov et al.2006). Kemudian akumulasi dari agregat sel mikrobakteri dalam pori tanah dapat berkontribusi terhadap proses *bioclogging* tanah tersebut. Disamping itu kemampuan mikrobakteri ini dengan agregasi yang cepat dan kuat juga dimanfaatkan dalam pengolahan air limbah (Ivanov et al 2005, Ivanov and Tay 2006). Berikut adalah reaksi yang dapat dilakukan oleh mikrobakteri nitrifikasi dan foto sampel hasil inokulasi mikrobakteri *Nitrobacter sp.*



Gambar 4.7 Sampel Hasil Inokulasi Mikrobakteri *Nitrobacter sp.*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

4.4 Analisa Efektivitas Inokulasi Mikrobakteri Terhadap Permeabilitas

Mengacu pada Tabel 4.4 pengujian tinggi tekan konstan, maka dapat dilihat perbedaan antara keenam sampel tersebut bahwa nilai permeabilitas, antara sampel yang telah diinokulasi beberapa jenis mikrobakteri terhadap sampel natural sebagai kontrol menurun. Prosentase penurunan didapatkan dengan menghitung selisih antara besarnya permeabilitas sampel natural dan besarnya permeabilitas pasca inokulasi mikrobakteri. Prosentase penurunan yang didapat akan menentukan efektivitas penggunaan mikrobakteri tersebut dalam skala persen. Rekapitulasi perhitungan nilai permeabilitas dan prosentase penurunan permeabilitas sampel yang telah diinokulasi beberapa jenis mikrobakteri terhadap sampel natural sebagai kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Permeabilitas

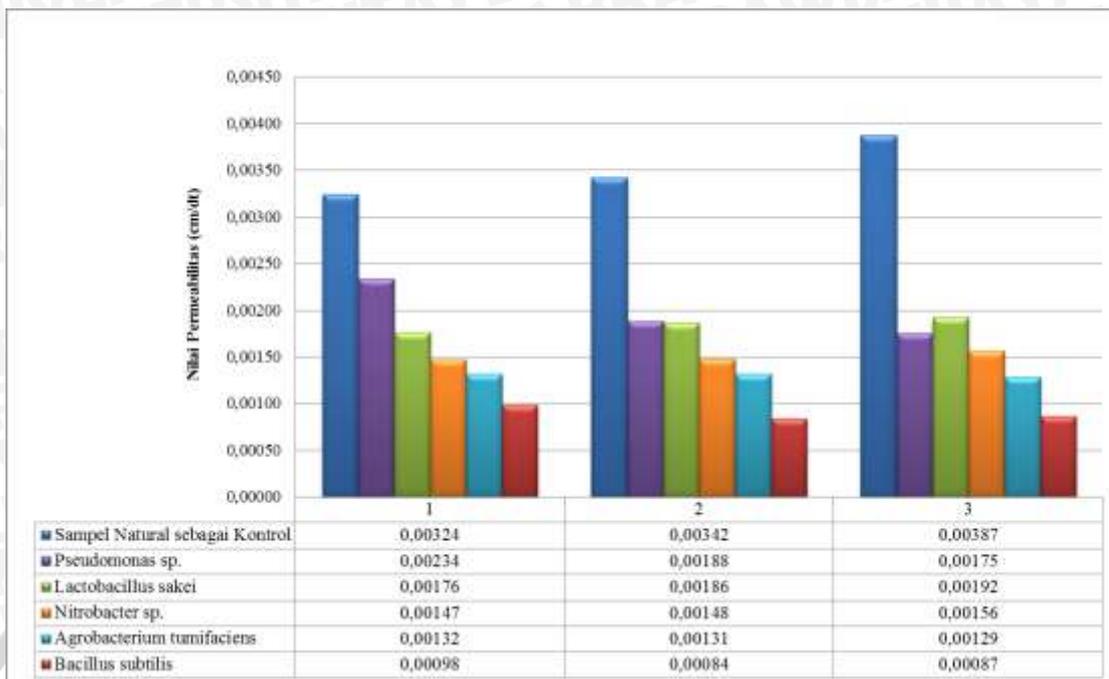
Jenis Mikrobakteri	Nilai Permeabilitas (cm/dt)	Nilai Permeabilitas (m/day)
<i>Lactobacillus sakei</i>	0,00185	1,59551
<i>Pseudomonas sp.</i>	0,00199	1,71975
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	0,00131	1,12840
<i>Bacillus subtilis</i>	0,00090	0,77560
<i>Nitrobacter sp.</i>	0,00150	1,30007
Sampel Natural sebagai Kontrol	0,00351	3,03355

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.7 Rekapitulasi Prosentase Penurunan Nilai Permeabilitas

Jenis Mikrobakteri	Nilai Permeabilitas (cm/dt)	Permeabilitas Kontrol (cm/dt)	Besarnya Penurunan (cm/dt)	Prosentase Penurunan (%)
<i>Lactobacillus sakei</i>	0,00185	0,00351	0,00166	47,389
<i>Pseudomonas sp.</i>	0,00199		0,00152	43,292
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	0,00131		0,00220	62,791
<i>Bacillus subtilis</i>	0,00090		0,00261	74,425
<i>Nitrobacter sp.</i>	0,00150		0,00201	57,131

Sumber: Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.8 Grafik Nilai Permeabilitas Tanah Pasir Pantai

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 2.1 Nilai Permeabilitas Pada Beberapa Jenis Tanah dan Batuan, maka sampel tanah pasir pantai termasuk dalam tipe 'Fine Sand'. Kemudian, pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa penurunan permeabilitas terbesar terjadi pada *Bacillus subtilis* yaitu memiliki nilai permeabilitas sebesar 0,00090 cm/detik dengan prosentase reduksi permeabilitas sebesar 74,425% terhadap sampel natural sebagai kontrol. Penurunan permeabilitas terbesar kedua terjadi pada *Agrobacterium tumifaciens* dimana nilai permeabilitasnya adalah sebesar 0,00131 cm/detik dengan prosentase reduksi permeabilitas sebesar 62,791% terhadap sampel natural sebagai kontrol. Sementara angka permeabilitas yang tertinggi adalah *Pseudomonas sp* yaitu sebesar 0,00199 cm/detik dengan prosentase reduksi permeabilitas sebesar 43,292%. Untuk *Lactobasilus sakei* dan *Nitrobacter sp* memiliki angka permeabilitas sebesar 0,00185 cm/detik dan 0,00150 cm/detik dan prosentase reduksi permeabilitas sebesar 47,389% dan 57,131%.

Dari hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa sampel dengan inokulasi *Bacillus subtilis* dan *Agrobacterium tumefaciens* yang paling cocok untuk upaya penurunan nilai permeabilitas. Hal ini dikarenakan mikrobakteri

tersebut dapat tumbuh, berkembang, dan menjalani proses inokulasi dengan baik. *Bacillus subtilis* mampu menghasilkan enzim urease yang kemudian dapat menghasilkan eksopolisakarida senyawa kalsium karbonat sebagai perekat pori-pori sampel. Berbeda dengan *Bacillus subtilis*, *Agrobacterium tumefaciens* mengalami reaksi amonifikasi dan presipitasi karbonat untuk membentuk eksopolisakarida partikel penyumbat pori-pori sampel.

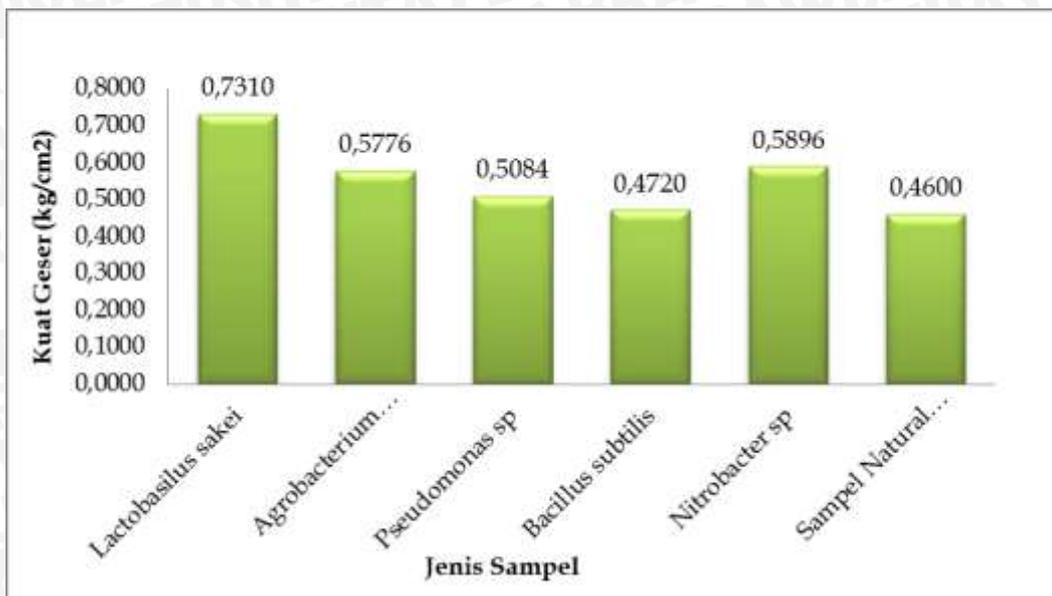
4.5 Analisa Efektivitas Inokulasi Mikrobakteri Terhadap Kuat Geser

Mengacu pada Tabel 4.5 pengujian geser langsung, maka dapat dilihat perbedaan antara keenam sampel tersebut bahwa nilai kuat geser, antara sampel yang telah diinokulasi beberapa jenis mikrobakteri terhadap sampel natural sebagai kontrol meningkat. Prosentase peningkatan didapatkan dengan menghitung selisih antara besarnya besarnya permeabilitas pasca inokulasi mikrobakteri dan permeabilitas sampel natural. Prosentase peningkatan yang didapat akan menentukan efektivitas penggunaan mikrobakteri tersebut dalam skala persen. Rekapitulasi prosentase peningkatan kuat geser sampel yang telah diinokulasi beberapa jenis mikrobakteri terhadap sampel natural sebagai kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

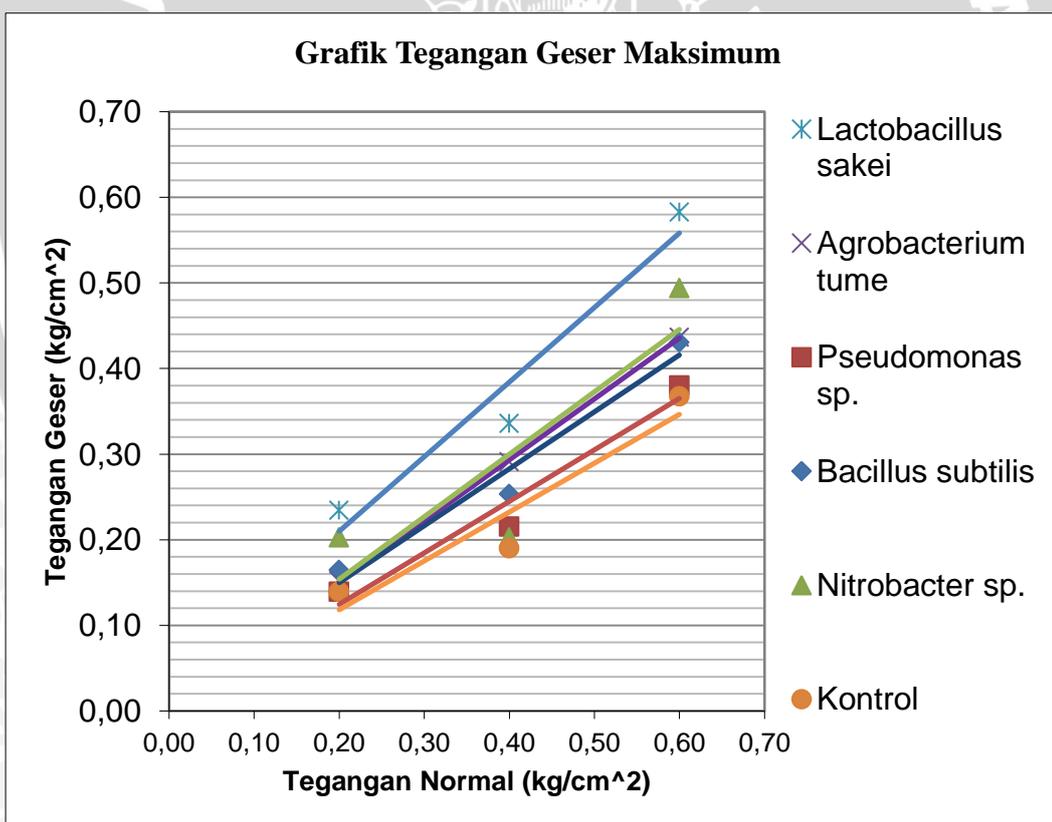
Tabel 4.8 Rekapitulasi Prosentase Peningkatan Nilai Kuat Geser

Jenis Mikrobakteri	Nilai Kuat Geser (kg/cm ²)	Kuat Geser Kontrol (kg/cm ²)	Besarnya Peningkatan (kg/cm ²)	Prosentase Peningkatan (%)
<i>Lactobacillus sakei</i>	0,73100	0,46000	0,27100	58,913
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	0,57760		0,11760	25,565
<i>Pseudomonas sp</i>	0,50840		0,04840	10,522
<i>Bacillus subtilis</i>	0,47200		0,01200	2,609
<i>Nitrobacter sp.</i>	0,58960		0,12960	28,174

Sumber: Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.9 Grafik Nilai Kuat Geser Tanah Pasir Pantai
 Sumber: Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.10 Grafik Tegangan Geser Maksimum Tanah Pasir Pantai
 Sumber: Hasil Pengolahan Data

Pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa peningkatan kuat geser terbesar terjadi pada *Lactobacillus sakei* yaitu memiliki nilai kuat geser sebesar $0,73100 \text{ kg/cm}^2$ dengan prosentase peningkatan kuat geser sebesar 58,913% terhadap sampel natural sebagai kontrol. Penurunan permeabilitas terbesar kedua terjadi pada *Nitrobacter sp* dimana nilai kuat gesernya adalah sebesar $0,58960 \text{ kg/cm}^2$ dengan prosentase peningkatan kuat geser sebesar 28,174% terhadap sampel natural sebagai kontrol. Sementara nilai kuat geser yang terendah adalah *Bacillus subtilis* yaitu sebesar $0,47200 \text{ kg/cm}^2$ dengan prosentase peningkatan kuat geser sebesar 2,609%. Untuk *Agrobacterium tumifaciens* dan *Pseudomonas sp* memiliki nilai kuat geser sebesar $0,57760 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,50840 \text{ kg/cm}^2$ dan prosentase peningkatan kuat geser sebesar 25,565% dan 10,522%. Disamping itu, dilihat dari Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa semua sampel hasil inokulasi memiliki tegangan geser lebih kuat dibandingkan dengan sampel natural sebagai kontrol. Sampel yang memiliki tegangan geser maksimum paling kuat ialah sampel dengan inokulasi *Lactobacillus sakei*, kemudian sampel yang memiliki tegangan geser maksimum terkuat kedua ialah sampel dengan inokulasi *Nitrobacter sp*, disusul kemudian terkuat ketiga hingga kelima yaitu: *Agrobacterium tumifaciens*, *Bacillus subtilis*, dan *Pseudomonas sp*.

Dari hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa sampel dengan inokulasi *Lactobacillus sakei* yang paling cocok untuk upaya peningkatan kuat geser. Hal ini dikarenakan mikrobakteri tersebut dapat tumbuh, berkembang, dan menjalani proses inokulasi dengan baik. *Lactobacillus sakei* mampu menghasilkan asam organik, yang dihasilkan dalam fermentasi karbohidrat, yang dapat membentuk eksopoisakarida karbonat dan hidroksida sehingga mampu mengikat partikel sampel secara sempurna.

4.6 Korelasi Antara Permeabilitas dan Kuat Geser

Korelasi adalah hubungan keterkaitan antara satu subyek dengan subyek lainnya. Dalam penelitian ini, penulis juga meneliti hubungan keterkaitan antara permeabilitas dan kuat geser baik sampel natural sebagai kontrol maupun sampel-sampel yang telah diinokulasi mikrobakteri. Dari analisa korelasi tersebut didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.9 Rekapitulasi Nilai Kuat Geser dan Permeabilitas

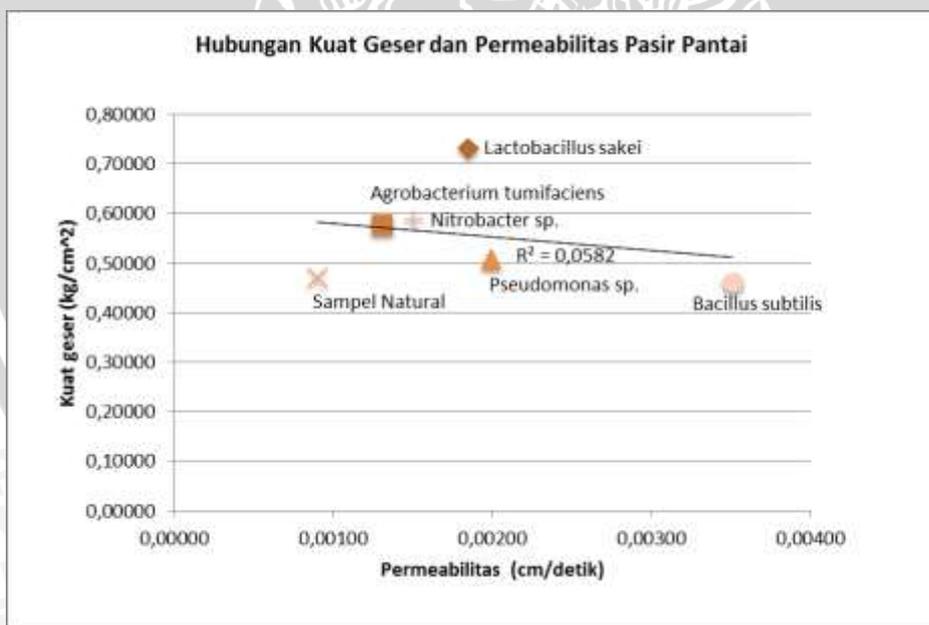
Jenis Mikrobakteri	Nilai Kuat Geser (kg/cm ²)	Nilai Permeabilitas (cm/dt)
<i>Lactobacillus sakei</i>	0,73100	0,00185
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	0,57760	0,00131
<i>Pseudomonas sp</i>	0,50840	0,00199
<i>Bacillus subtilis</i>	0,47200	0,00090
<i>Nitrobacter sp.</i>	0,58960	0,00150
Sampel Natural sbg Kontrol	0,46000	0,00351

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.10 Hasil Korelasi Data Kuat Geser dan Data Permeabilitas

Korelasi	Kuat Geser	Permeabilitas
Kuat Geser	1	
Permeabilitas	-0,2411511	1

Sumber: Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.11 Hubungan antara kuat geser dengan permeabilitas

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Secara umum masing-masing sampel yang diinokulasi lima jenis mikrobakteri ini dapat menurunkan nilai permeabilitas dan nilai kuat geser, namun penulis juga menghitung analisa perbandingan nilai permeabilitas dan nilai kuat

gesernya secara kelompok. Dari korelasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa koefisien korelasi (r) antara kuat geser dan permeabilitas adalah 0,241 memiliki keterkaitan yang lemah. Artinya, dalam kasus penginokulasian mikrobakteri ini apabila kuat geser suatu sampel tinggi maka belum tentu permeabilitasnya turun juga seiring peningkatan kuat gesernya. Hal ini di pengaruhi oleh seberapa besar perkembangan *bioclogging* dan *biocementation* yang terjadi akibat aktivitas mikrobakteri pada proses inokulasi. Penetapan kualitas korelasi ini ditabelkan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Interpretasi Koefisien Korelasi

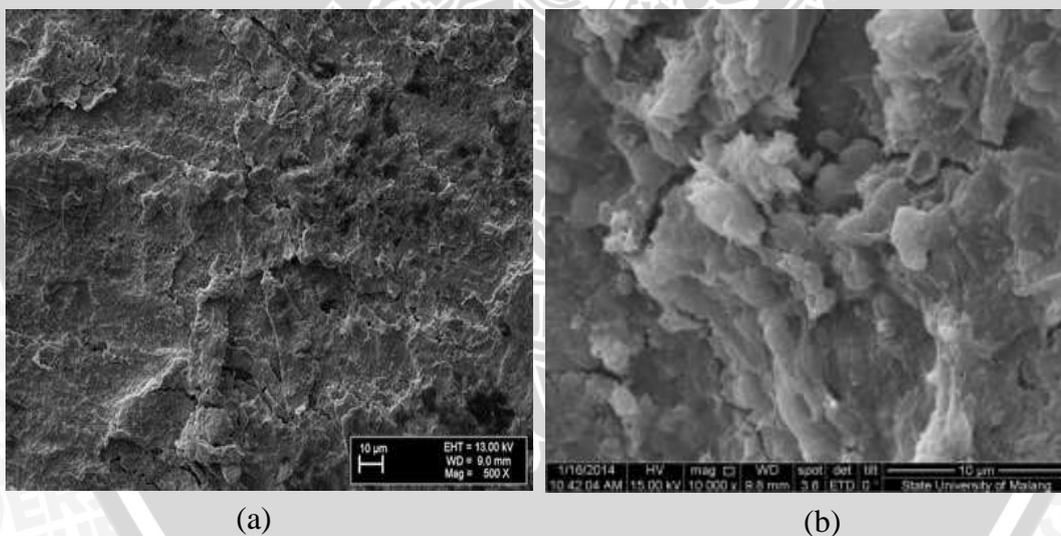
Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,800 – 1,000	Sangat Kuat
0,600 – 0,799	Kuat
0,400 – 0,599	Cukup Kuat
0,200 – 0,399	Lemah
0,000 – 0,199	Sangat Lemah

Sumber: Sarmono, 2006

Proses *bioclogging* dan *biocementation* yang terjadi pada jenis mikrobakteri tertentu akan memiliki tingkat perkembangan yang berbeda. Dari pengamatan diatas maka dapat disimpulkan bahwa apabila kita membutuhkan tanah pasir pantai untuk perkuatan lereng, kita dapat menggunakan tanah pasir pantai dengan inokulasi *Lactobacillus sakei*, namun tanah pasir pantai dengan jenis mikrobakteri tersebut tidak bekerja maksimal untuk kemampuan menurunkan nilai permeabilitas. Sehingga dapat dikatakan inokulasi *Lactobacillus sakei* cocok untuk *bioclogging*. Sebaliknya, tanah pasir pantai dengan inokulasi *Bacillus subtilis* maupun *Agrobacterium tumefaciens* adalah sampel terbaik apabila kita membutuhkan tanah pasir pantai bersifat *impermeable*, misal digunakan untuk konstruksi inti bendungan yang bersifat *impermeable*, namun jenis mikrobakteri tersebut tidak bekerja maksimal untuk kemampuan meningkatkan nilai kuat geser. Sehingga dapat dikatakan inokulasi *Bacillus subtilis* maupun *Agrobacterium tumefaciens* cocok untuk *biocementation*.

4.7 Hasil Uji SEM Struktur Tanah Sampel yang Telah Diinokulasi Mikrobakteri

Uji SEM adalah pengujian mikroskopis dengan perbesaran hingga lebih dari dua ribu kali perbesaran, yang dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui adanya ekstraselular polisakarida yang terbentuk pada sampel yang telah diinokulasi dengan jenis mikrobakteri tertentu selama 30 hari. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah yang diinokulasikan dengan *Bacillus subtilis*, *Agrobacterium tumefaciens*, dan *Lactobacillus sakei*. Sampel tanah yang digunakan untuk uji SEM dipilih dengan pertimbangan yang memiliki nilai permeabilitas terendah dan nilai kuat geser tertinggi setelah proses inokulasi selesai. Pada pengujian tinggi konstan didapatkan tanah hasil inokulasi *Bacillus subtilis* dan *Agrobacterium tumefaciens* memiliki nilai permeabilitas terendah dan pada pengujian geser langsung didapatkan tanah hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* memiliki nilai kuat geser tertinggi, sehingga sampel tersebut diuji lebih lanjut dengan uji SEM. Hasil uji SEM adalah berupa gambar dari sampel yang dilakukan pengujian. Berikut beberapa hasil uji SEM tersebut.



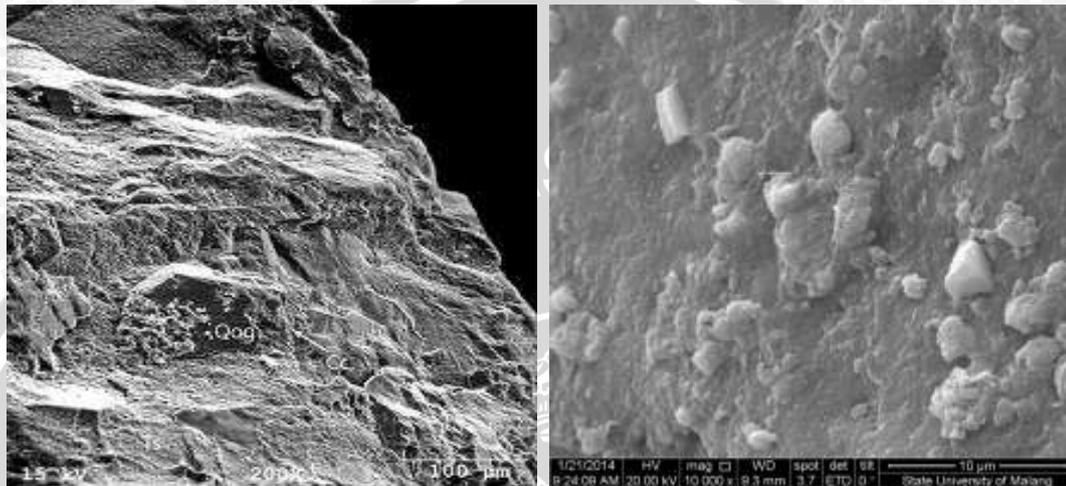
Gambar 4.12 Perbandingan hasil uji SEM pasir murni (kiri) dengan tanah pasir pantai inokulasi *Bacillus subtilis* (kanan)

Sumber: (a) <http://fannowidy.blogspot.com/2011/10/analisa-dan-karakterisasi-permukaan.html> dan (b) Dokumentasi Penelitian

Berdasarkan hasil uji SEM antara pasir murni tanpa bakteri dan sampel tanah pasir hasil inokulasi pada Gambar 4.12 dapat dilihat adanya perbedaan. Pada gambar hasil pengujian sampel hasil inokulasi bakteri *Bacillus subtilis* tersebut terlihat pada dinding sampel tanah pasir terbentuk *ekstraselular*

polisakarida sedangkan pada hasil pengujian SEM terhadap pasir murni tidak ditemukan adanya *ekstraselular polisakarida* pada dinding-dindingnya.

Pada gambar pengujian pasir hasil inokulasi dapat dilihat *ekstraselular polisakarida* yang terbentuk menempel pada dinding pasir yang nantinya akan mengisi ruang pori diantara partikel tanah pasir dan melekatkan antar partikel tersebut.



(a)

(b)

Gambar 4.13 Perbandingan hasil uji SEM pasir murni (kiri) dengan tanah pasir pantai inokulasi *Lactobacillus sakei* (kanan)

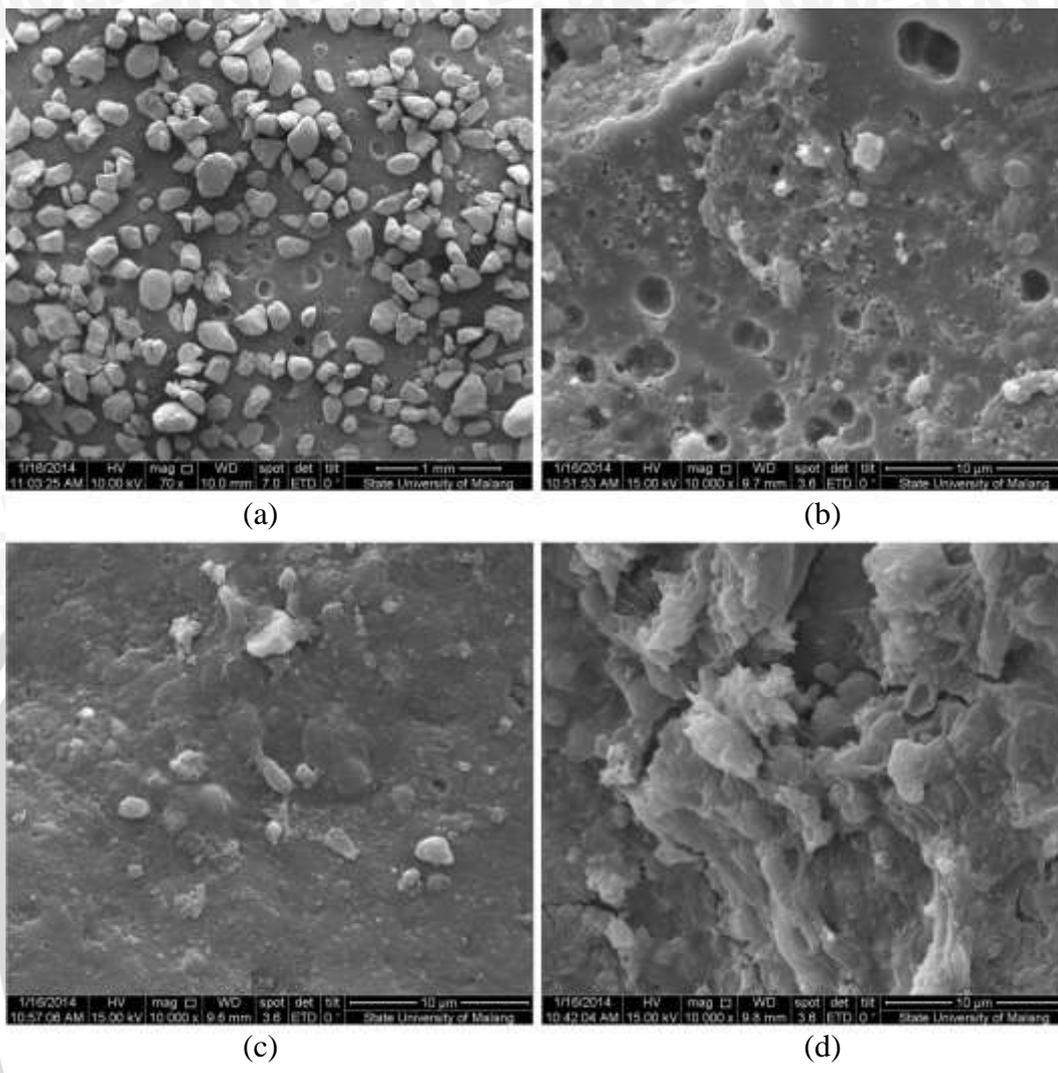
Sumber: (a) http://throughthesandglass.typepad.com/through_the_sandglass/2010/01/never-leave-home-without-it-the-.html dan (b) Dokumentasi Penelitian

Seperti halnya hasil pengujian SEM pada Gambar 4.12 sebelumnya, hasil pengujian SEM pada Gambar 4.13 di atas juga membuktikan adanya perbedaan antara hasil uji SEM pasir murni tanpa bakteri dengan hasil uji SEM tanah pasir pantai dengan inokulasi bakteri. Pada gambar hasil pengujian sampel hasil inokulasi bakteri *Lactobacillus sakei* tersebut terlihat pada dinding sampel tanah pasir terbentuk *ekstraselular polisakarida* sedangkan pada hasil pengujian SEM terhadap pasir murni tidak ditemukan adanya *ekstraselular polisakarida* pada dinding-dindingnya.

Berdasarkan Gambar 4.14 (a) dan Gambar 4.15 (a), uji SEM tanah pasir pantai dengan perbesaran 50-70 kali pada pengujian SEM terhadap sampel tanah hasil inokulasi *Bacillus subtilis* dan *Agrobacterium tumefaciens* dapat dilihat bentuk tanah pasir pantai yang digunakan sebagai sampel adalah bersudut dan lepas. Pada Gambar 4.16 (a) dapat dilihat jelas bahwa *Lactobacillus sakei* sedang

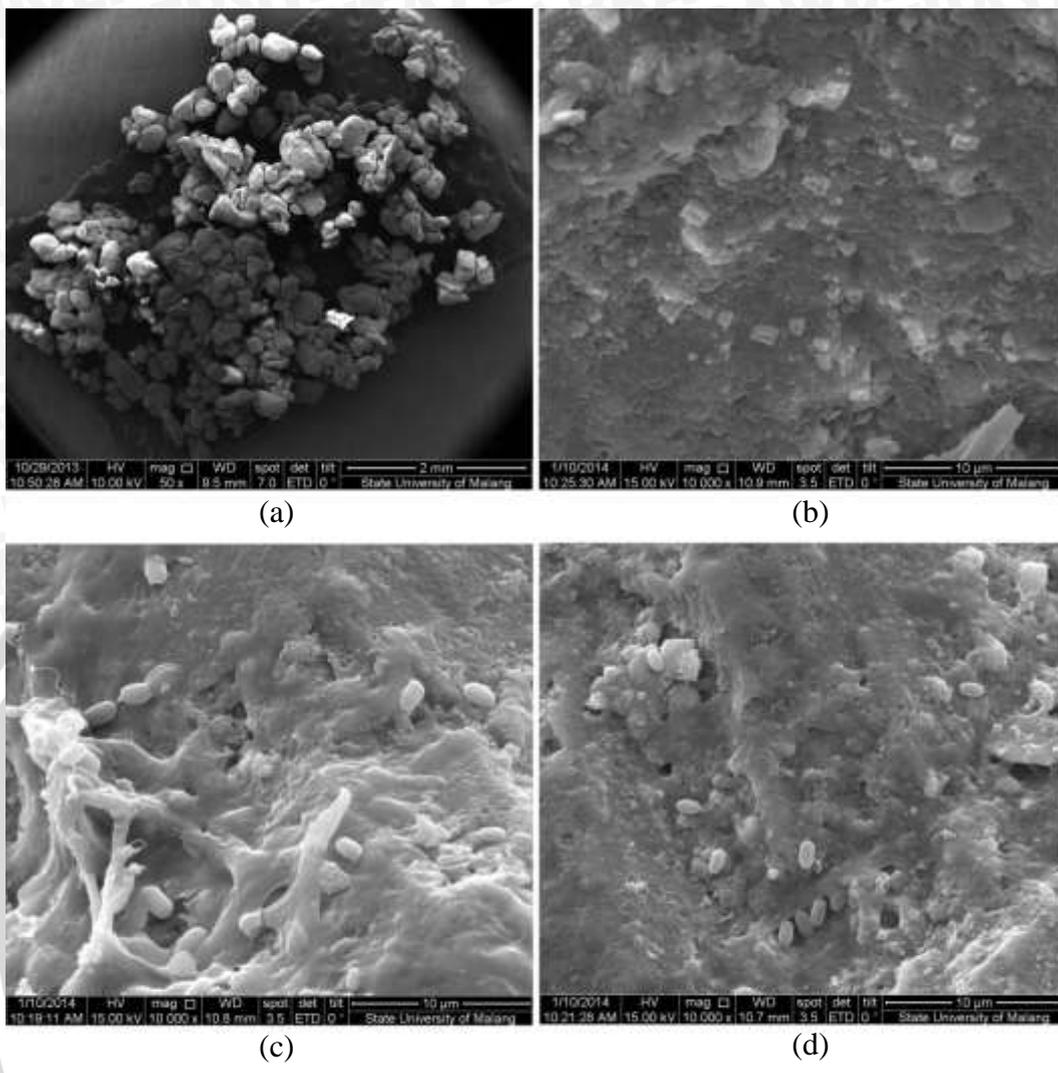
menghasilkan *slime* sebagai perekat antara partikel tanah satu dengan yang lain, hal inilah yang kemudian dapat membuat kerapatan antar partikel tanah dan nilai kuat geser sampel ini meningkat. Sedangkan dari Gambar 4.14 (b), Gambar 4.15 (b), dan Gambar 4.16 (b) terlihat mineral berupa kristal-kristal garam pada tanah pasir pantai tersebut. Pengambilan sampel untuk pengujian SEM adalah random, yaitu sampel diambil secara acak. Sampel kemudian diletakkan di preparat lapis logam dengan ukuran kurang lebih 1cm x 1,5cm, dan dilakukan perbesaran hingga objek yang diinginkan terlihat seperti pada gambar. Kemudian dari Gambar 4.14 (c), Gambar 4.15 (c), dan Gambar 4.16 (c) dengan perbesaran 10.000 kali masing-masing dapat dilihat adanya mikrobakteri-mikrobakteri *Bacillus subtilis*, *Agrobacterium tumifaciens*, dan *Lactobacillus sakei* yang melekat pada dinding-dinding pasir yang hidup secara soliter. Hal ini membuktikan bahwa mikrobakteri yang dibiakkan atau diinokulasikan ke dalam sampel tanah pasir pantai dapat hidup, mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Dilanjutkan dengan hasil uji SEM Gambar 4.14 (d), Gambar 4.15 (d), dan Gambar 4.16 (d) terlihat pada dinding sampel tanah pasir pantai mulai terbentuk eksopolisakarida. *Bacillus subtilis* mampu menghasilkan enzim urease yang kemudian dapat menghasilkan eksopolisakarida senyawa kalsium karbonat sebagai perekat pori-pori sampel. Berbeda dengan *Bacillus subtilis*, *Agrobacterium tumefaciens* mengalami reaksi amonifikasi dan presipitasi karbonat untuk membentuk eksopolisakarida partikel penyumbat pori-pori sampel. Eksopolisakarida yang terbentuk menempel pada dinding partikel tanah pasir, yang nantinya akan mengisi dan menutup pori-pori diantara partikel tanah pasir dan melekatkan antar partikel pasir. Hasil uji SEM tersebut membuktikan bahwa penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan yaitu mikrobakteri menghasilkan eksopolisakarida.

Berikut gambar-gambar uji SEM sampel tanah pasir pantai hasil inokulasi mikrobakteri *Bacillus subtilis*, *Agrobacterium tumifaciens*, dan *Lactobacillus sakei*.

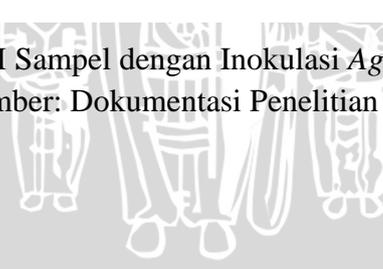


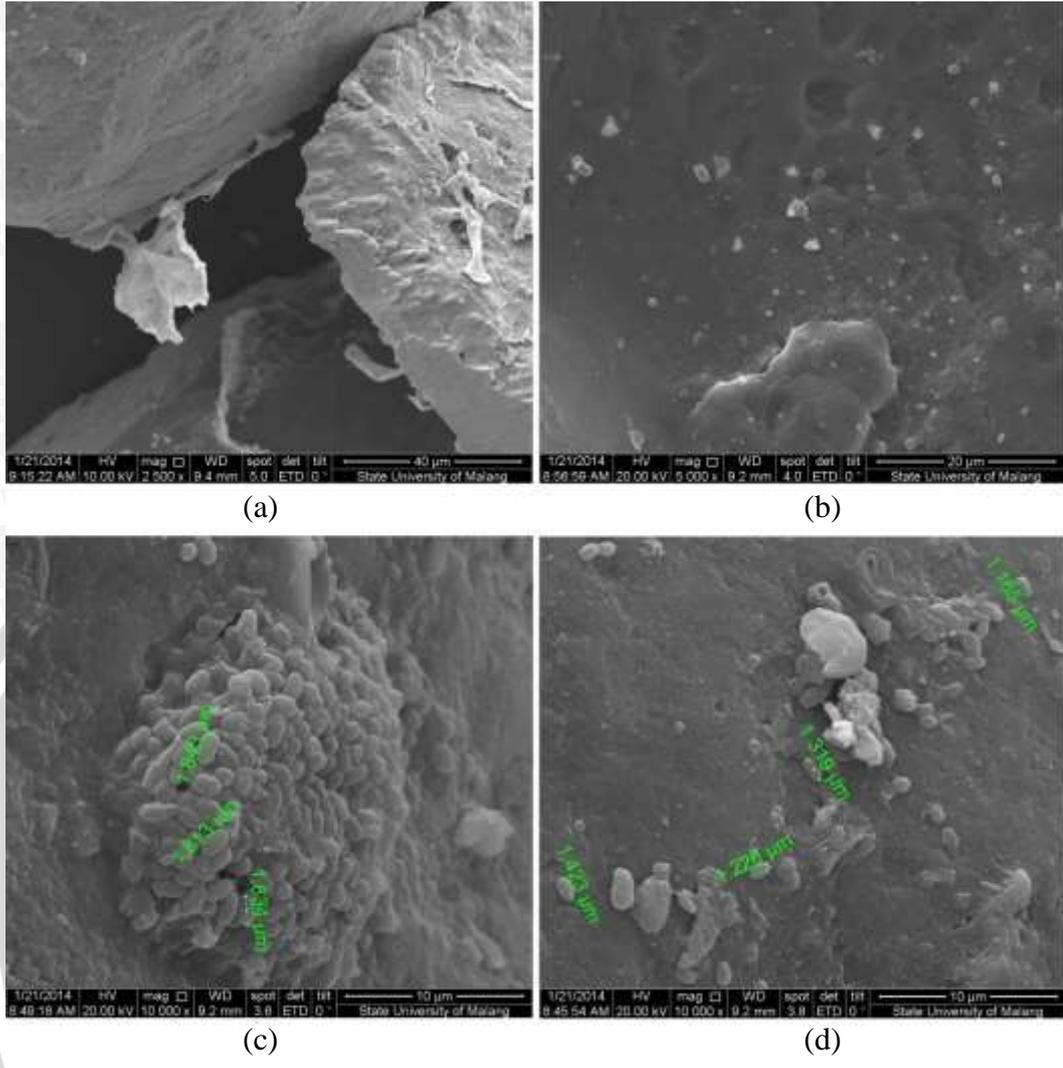
Gambar 4.14 Hasil Uji SEM Sampel dengan Inokulasi *Bacillus subtilis*
Sumber: Dokumentasi Penelitian





Gambar 4.15 Hasil Uji SEM Sampel dengan Inokulasi *Agrobacterium tumefaciens*
Sumber: Dokumentasi Penelitian





Gambar 4.16 Hasil Uji SEM Sampel dengan Inokulasi *Lactobacillus sakei*
Sumber: Dokumentasi Penelitian