

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan pengujian sampel tanah hasil inokulasi mikrobakteri dan tanah kontrol (keadaan natural). Data yang di dapat dari pengujian adalah berupa data primer yaitu data yang berupa data hasil pengujian langsung laboratorium. 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 permeabilitas (*constant head*)
5. Uji kuat geser (*direct shear*)
6. Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Adapun pengujian dilakukan di beberapa tempat, yaitu :

1. Laboratorium Air dan Tanah, Jurusan Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya
2. Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya, dan
3. Laboratorium Sentral, Fakultas MIPA, Universitas Malang

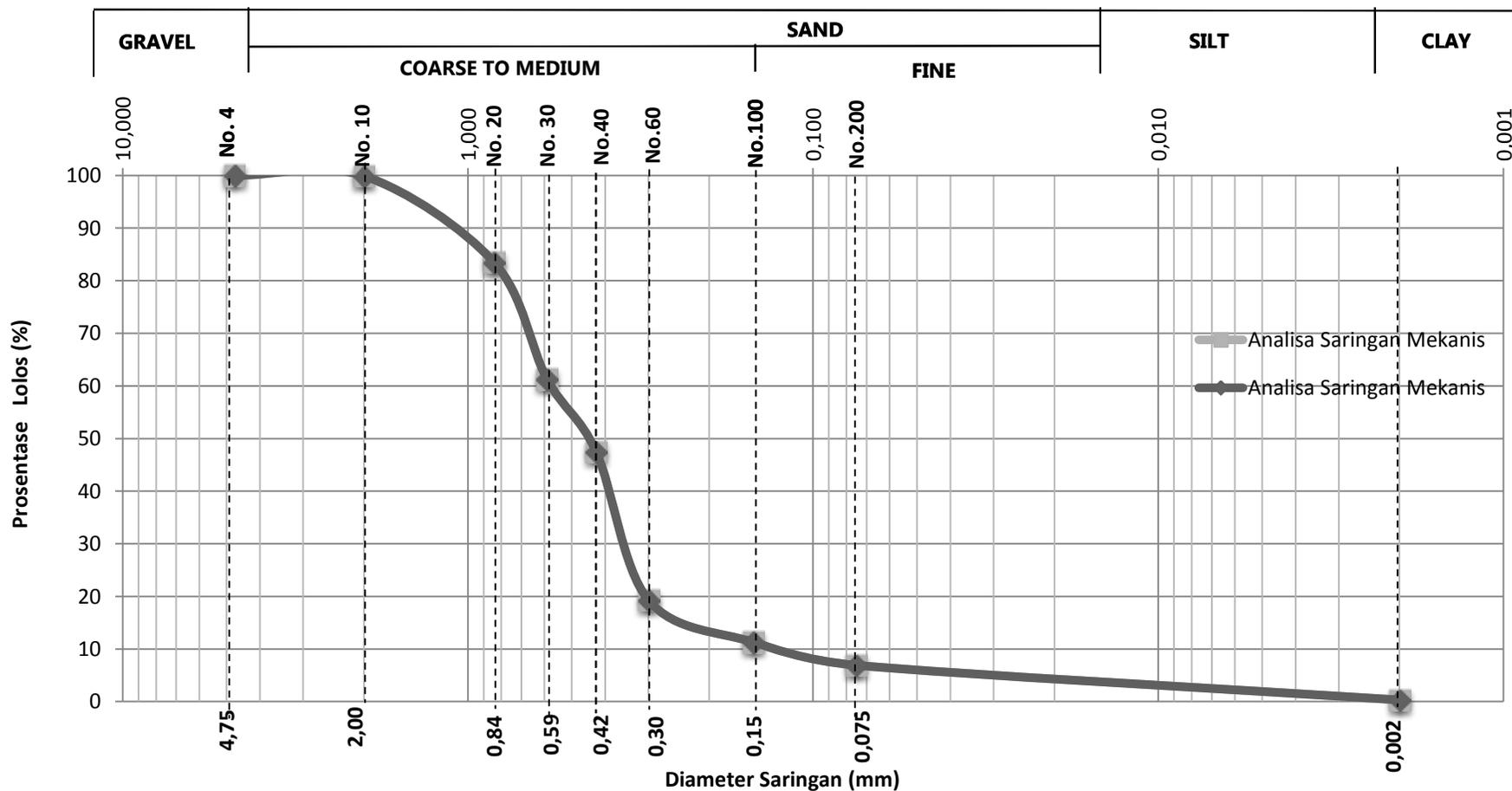
Selanjutnya hasil-hasil penelitian dapat dilihat pada bahasan berikutnya.

4.1.1. Hasil Pengujian *Grain Size* (analisa ayakan)

Grain size adalah pengujian untuk mengetahui gradasi dari butir tanah. Material dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah berupa pasir sungai. Pada perhitungan analisa ayakan/ gradasi butiran dilakukan pengovenan terlebih dahulu untuk mengeringkan tanah. Tanah yang digunakan untuk pengujian sebesar 500 gram, namun terjadi kehilangan pada saat pengujian sehingga berat keseluruhan hasil uji pada akhirnya kurang dari 500 gram.

Berdasarkan hasil perhitungan C_u dan C_c maka diperoleh nilai $C_u = 4,286$ dan $C_c = 1,458$. Menurut sistem USCS maka syarat pasir bergradasi baik adalah memenuhi $C_u > 6$ dan $1 < C_c < 3$. Dari hasil perhitungan C_c dan C_u maka dapat disimpulkan bahwa sampel pasir uji bergradasi buruk (*poor graded*) dengan simbol double yaitu SP-SW dan kandungan lanau sebesar 11,03% dan lempung 6,62%.

GRAFIK ANALISA SARINGAN



Gambar 4.2. Grafik distribusi butiran
 Sumber : Hasil Perhitungan

4.1.2. Hasil Pengujian *Specific Gravity*

Specific gravity adalah berat jenis dari butir-butir tanah (*soil solid*) tanpa air dan udara yang terkandung di dalam tanah tersebut. Cara menghilangkan udara dalam campuran tanah dan air pada penelitian ini dengan mendidihkan campuran tanah dan air secara perlahan selama kira-kira 15-20 menit. Setelah dididihkan, campuran tanah dan air tersebut harus diaduk-aduk secara perlahan-lahan. Sebelum dilakukan pengujian, labu yang digunakan dalam pengujian ini dikalibrasi terlebih dahulu. Dari hasil pengujian tanah didapatkan nilai $G_s = 2,86$. Hasil perhitungan *specific gravity* dapat dilihat pada lampiran 1.

4.1.3. Hasil Pengujian *Water Content*

Water Content adalah prosentase atau perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Tanah yang didapat sebelumnya ditimbang terlebih dahulu, untuk selanjutnya dilakukan pengovenan untuk menghilangkan kadar air yang ada pada tanah tersebut. Setelah tanah kering dan kandungan kadar airnya sudah tidak ada kemudian tanah ditimbang kembali, lalu dibandingkan antara berat tanah basah dan berat tanah kering. Selisih antara berat tanah basah dan tanah kering merupakan kandungan air yang ada pada tanah tersebut. Dari hasil percobaan *water content* didapat bahwa sampel pasir sungai dengan kadar air terbesar adalah *Agrobacterium tumifaciens* dengan kadar air sebesar 13,39%. Sampel dengan kadar air terbesar yang kedua adalah *Lactobacillus sakei* yaitu dengan kadar air sebesar 9,51%. Selanjutnya kadar air *Basillus subtilis*, *Pseudomonas sp*, dan *Nitrobacter sp* berturut turut adalah 9,39%, 8,58% dan 7,14%. Prosentase pada pasir sungai kontrol adalah sebesar 5.52%. Hasil pengujian *water content* dapat dilihat pada lampiran 1. Untuk rekapitulasi hasil perhitungan *water content* dapat dilihat pada Tabel 4.2. berikut.

Tabel 4.2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Water Content*

Jenis Mikromikrobakteri	Kadar Air
	(%)
<i>Lactobacillus sakei</i>	9,51
<i>Pseudomonas sp</i>	8,58
<i>Agrobacterium tumifaciens</i>	13,39
<i>Basillus subtilis</i>	9,39
<i>Nitrobacter sp</i>	7,14
Kontrol (kondisi natural)	5,52

Sumber : Hasil Perhitungan

4.1.4. Hasil Pengujian *Constant Head*

Permeabilitas adalah kemampuan air untuk mengalir dalam tanah. Pada pengujian ini sampel tanah merupakan tanah pasir sehingga dilakukan uji tinggi tekan (*constant head*). Permeabilitas tanah didapatkan dari pengujian *constant head* dengan alat uji *constant head permeameter*. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat maka pada pengujian *constant head* ini dilakukan 3 kali pengujian terhadap 1 sampel dengan waktu pengaliran yang sama. Jadi, pada setiap 1 sampel pasir didapatkan 3 angka permeabilitas yang kemudian dirata-rata untuk mendapatkan hasil permeabilitas dari tiap sampel tanah. Data hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.3. berikut.

Tabel 4.3. Data Hasil Uji Permeabilitas Pasir Sungai

Jenis Mikrobaakteri	Q			Tinggi Sampel	Diameter Sampel	L.Penampang Sampel	Waktu Pengaliran	Rerata Permeabilitas
	Q1	Q2	Q3					
(1)	cm ³			Cm	cm	cm ²	detik	10 ⁻⁴ cm/detik
	(2)			(4)	(5)	(7)	(8)	(9)
<i>L.s sakei</i>	114,0	120,0	129,0	16,2	10	78,5	60	35
<i>Pseudomonas sp</i>	125,0	171,0	163,0	16,0	10	78,5	60	44
<i>A. tumifaciens</i>	88,0	91,0	87,0	15,4	10	78,5	60	24
<i>Bacillus subtilis</i>	120,0	140,0	150,0	15,7	10	78,5	60	38
<i>Nitrobacter sp</i>	87,0	87,0	89,0	16,5	10	78,5	60	26
Kontrol	220,0	235,0	235,0	16,4	10	78,5	60	65

Sumber : Hasil Perhitungan

Untuk selanjutnya data hasil pengujian yang didapat akan diolah berdasarkan prinsip *Darcy*. Perhitungan nilai permeabilitas dapat dilihat pada lampiran 1.

4.1.5. Hasil Pengujian *Direct Shear*

Berdasarkan pengujian *direct shear*, maka sebelum dilakukan pengujian dilakukan perhitungan berat isi dengan mempertimbangkan besarnya berat jenis pasir dan angka pori yang dimiliki oleh sampel pasir. Perhitungan berat isi sampel dapat dilihat pada lampiran 1. Setelah diketahui besarnya berat isi dari sampel maka dilakukan pencetakan tanah dengan *ring* untuk membentuk sampel yang akan diuji kuat gesernya. Tanah yang dicetak tersebut harus memiliki berat yang sesuai dengan berat isi yang telah dihitung sebelumnya. Dalam pengujian *direct shear* sampel tanah akan diuji dengan pembebanan yang besarnya berbeda-beda terhadap 1 sampel. Besar pembebanan pada pengujian ini adalah sebesar 0,4kg, 0,8kg dan 1,2kg. 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 Tabel 4.4. berikut.

Perhitungan besar kuat geser dapat dilihat pada lampiran 1.

Tabel 4.4. Kohesi, Sudut Geser dan Kuat Geser Pasir

Sampel	Sudut Geser	Kohesi	Kuat Geser
	Derajat	10^{-3} kg/cm^2	kg/cm^2
<i>Lactobacillus sakei</i>	36,13	40	0,62
<i>agrobacterium tumifaciens</i>	31,00	27	0,51
<i>Pseudomonas sp</i>	37,20	6	0,61
<i>Bacillus subtilis</i>	33,58	16	0,55
<i>Nitrobacter sp</i>	26,84	4	0,41
Kontrol	25,36	4	0,38

Sumber : Hasil Perhitungan

4.2. Analisa dan Pembahasan

Dari hasil-hasil pengujian terhadap tanah hasil inokulasi dan tanah kontrol maka dapat dibuat analisa perbandingan terhadap tanah hasil inokulasi dan tanah kontrol seperti pada bahasan selanjutnya.

4.2.1. Perbandingan Permeabilitas Sebelum dan Setelah Inokulasi Mikrobakteri

Pada pengujian permeabilitas terhadap 1 sampel tanah kontrol dan 5 sampel pasir yang telah diinokulasi dengan 5 jenis mikrobakteri yang berbeda maka didapatkan hasil yang berbeda-beda pula terhadap permeabilitasnya.

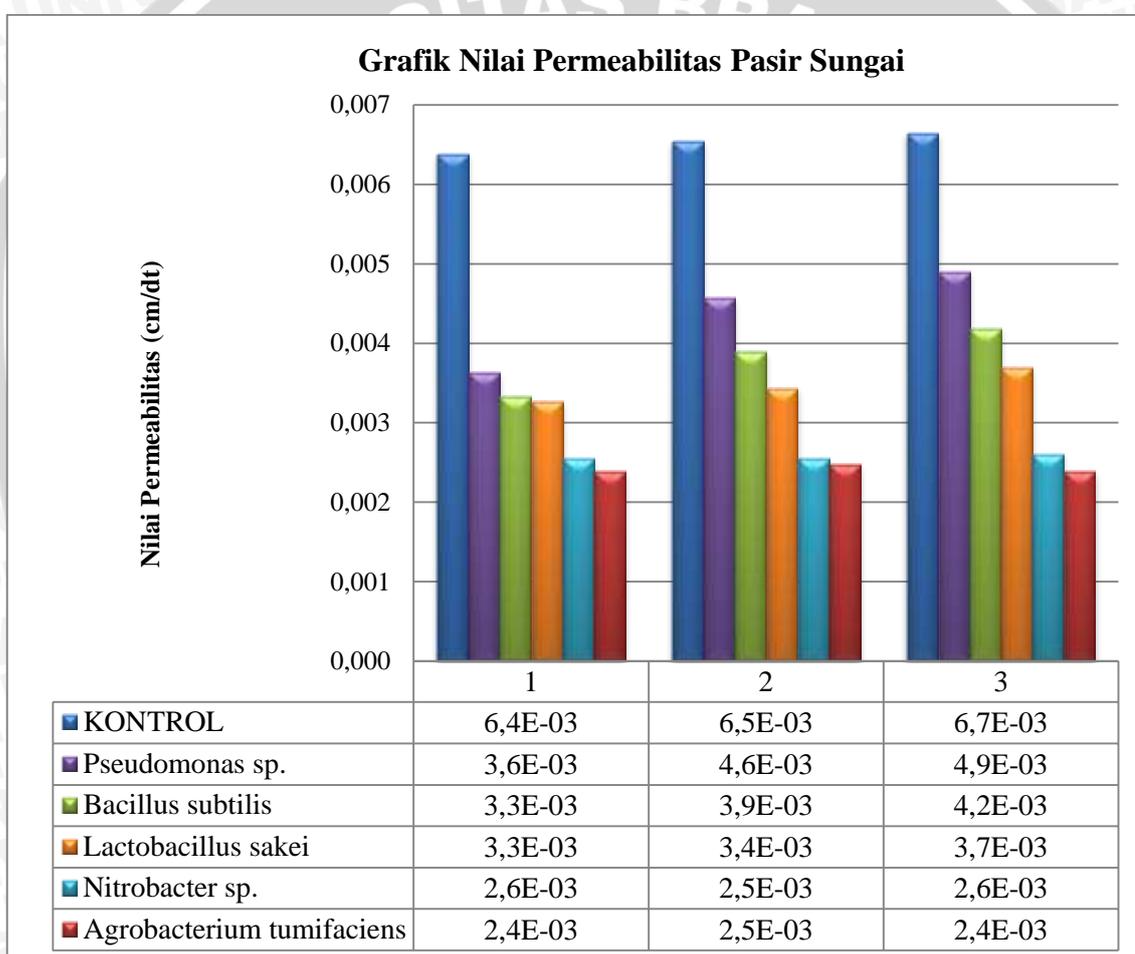
Mengacu pada Tabel 4.3., maka dapat dilihat perbedaan antara kelima sampel tersebut. Dari hasil pengujian angka permeabilitas tanah kontrol dan tanah yang diinokulasikan dengan beberapa jenis mikrobakteri yang berbeda, maka didapatkan hasil perhitungan permeabilitas yang berbeda pula. Prosentase penurunan didapatkan dengan menghitung selisih antara besarnya permeabilitas pasir kontrol dan besarnya permeabilitas pasca inokulasi mikrobakteri. Prosentase penurunan yang didapat akan menentukan efektivitas penggunaan mikrobakteri tersebut dalam skala persen.

Hasil pengujian dan perhitungan angka permeabilitas dapat dilihat pada lampiran 1. Rekapitulasi nilai permeabilitas dan prosentase penurunan permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.5. berikut

Tabel 4.5. Rekapitulasi Permeabilitas

Jenis Mikrobakteri	Permeabilitas		Permeabilitas Kontrol		Besar Penurunan	Prosentase Penurunan
	10^{-3} cm/detik	m/hari	10^{-3} cm/detik	m/hari	10^{-3} cm/detik	%
<i>L. sakei</i>	3,5	2,99	6,5	5,64	3,1	46,87
<i>Pseudomonas sp</i>	4,4	3,77			2,2	33,09
<i>A. tumifaciens</i>	2,4	2,09			4,1	62,94
<i>Bacillus subtilis</i>	3,8	3,29			2,7	41,67
<i>Nitrobacter sp</i>	2,6	2,22			4,0	60,63

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.3. Grafik permeabilitas pasir sungai

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan pada Tabel 4.5. dan Gambar 4.3. dapat diketahui bahwa penurunan permeabilitas terbesar terjadi pada tanah sampel inokulasi *Agrobacterium tumifaciens* yaitu memiliki angka permeabilitas sebesar $2,4 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dengan prosentase reduksi sebesar 62,93 % dari besar permeabilitas

kontrol/tanah pada kondisi natural. Penurunan permeabilitas terbesar kedua terjadi pada *Nitrobacter sp* dimana angka permeabilitasnya adalah sebesar $2,4 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dengan prosentase reduksi permeabilitas sebesar 60,63% dari besar angka permeabilitas semula. Sementara angka permeabilitas *Pseudomonas sp* yaitu sebesar $4,4 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dengan prosentase sebesar 33,08%. Untuk *Basillus subtilis* dan *Lactobacillus sakei* memiliki angka permeabilitas sebesar $3,8 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dan $3,5 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dan prosentase reduksi sebesar 41,66% dan 46,86%.

4.2.2. Perbandingan Kuat Geser Sebelum dan Setelah Inokulasi Mikrobakteri

Dalam pengujian *direct shear* output yang dihasilkan adalah berupa besar sudut geser dan kohesi tanah. Besar sudut geser dan besarnya kohesi akan menentukan besarnya kuat geser tanah tersebut.

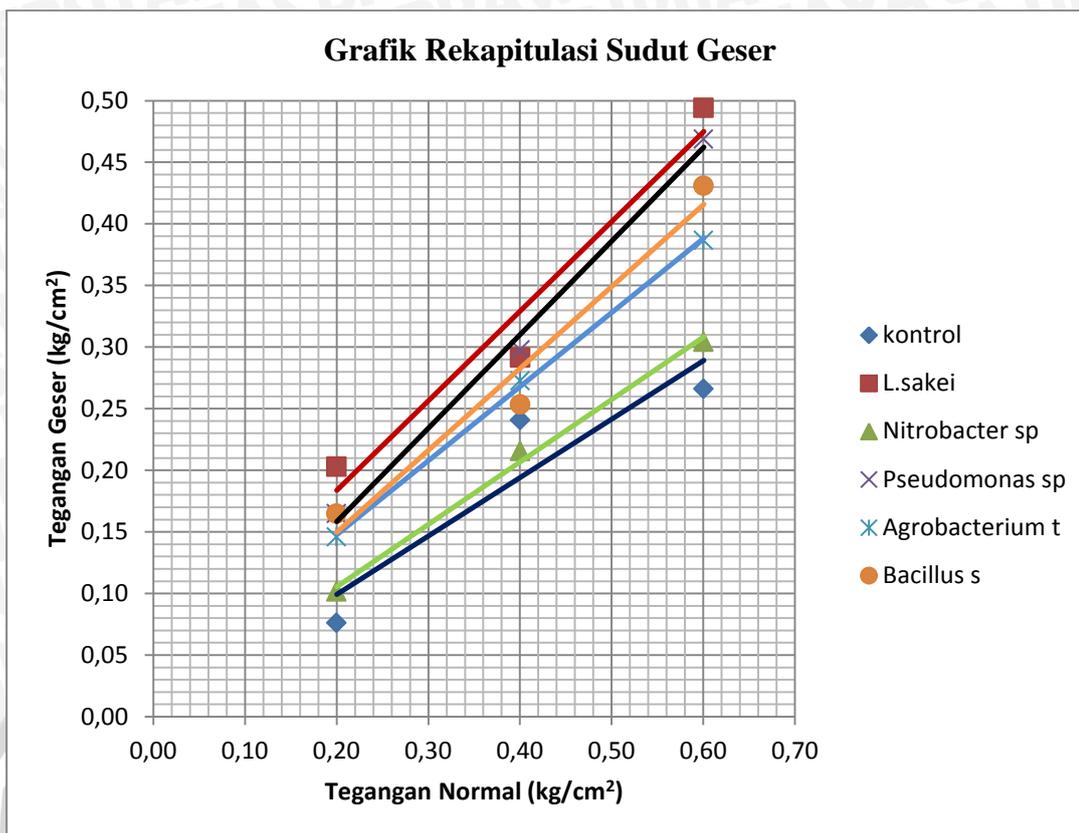
Berdasarkan hasil pengujian *direct shear* yang telah dilakukan pada berbagai sampel hasil inokulasi mikrobakteri dan kontrol/kondisi natural maka didapat hasil sudut geser tanah dan besar kohesi tanah yang berbeda antara sampel satu dengan lainnya. Hal ini menyebabkan kuat geser tanah yang dimiliki tiap sampel berbeda-beda pula.

Hasil rekapitulasi kenaikan kuat geser dapat dilihat pada pada Tabel 4.6., Gambar 4.4. dan Gambar 4.5. berikut

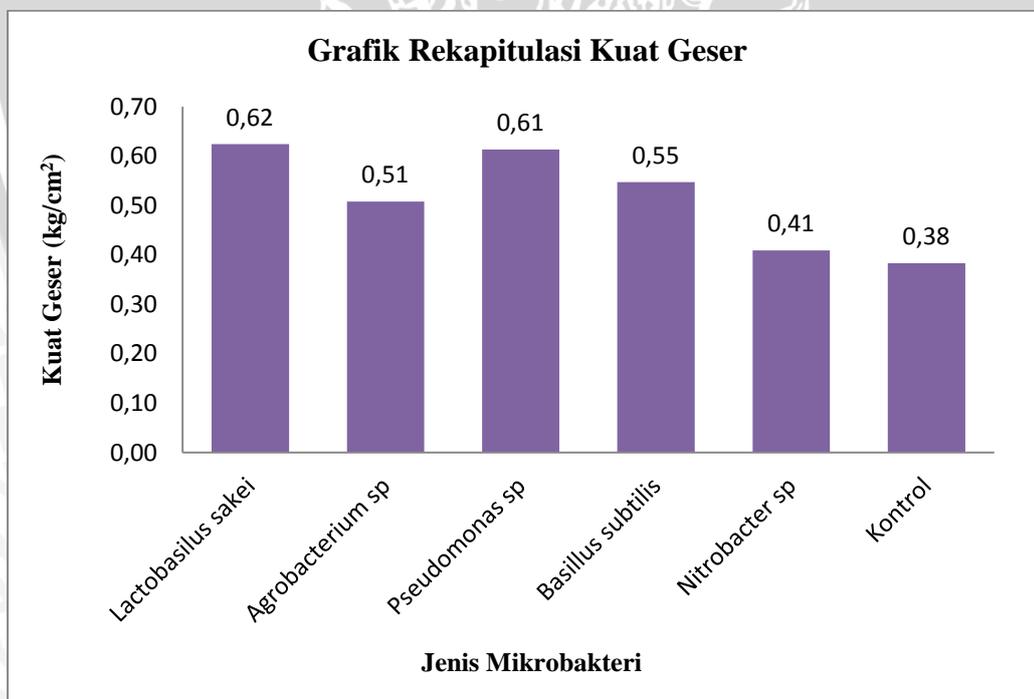
Tabel 4.6. Rekapitulasi Prosentase Kuat Geser

Sampel	Kuat Geser	Kuat Geser Kontrol	Kenaikan	Prosentase Kenaikan
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	%
<i>Lactobacillus sakei</i>	0,62	0,3832	0,24	62,84
<i>A.tumifaciens</i>	0,51		0,13	32,52
<i>Pseudomonas sp</i>	0,61		0,23	60,02
<i>Basillus subtilis</i>	0,55		0,16	42,80
<i>Nitrobacter sp</i>	0,41		0,03	6,68

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.4. Grafik rekapitulasi tegangan geser maksimum
 Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.5. Grafik rekapitulasi kuat geser
 Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.6., Gambar 4.4. dan Gambar 4.5. maka dapat dilihat bahwa keseluruhan sampel tanah hasil inokulasi 5 jenis mikrobakteri mengalami peningkatan kuat geser. Kuat geser terbesar adalah tanah hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* yaitu sebesar $0,62 \text{ kg/cm}^2$ dengan prosentase kenaikan sebesar 62,84% dari kondisi natural (kontrol). Kuat geser tanah terbesar kedua adalah *Pseudomonas sp*, kuat geser yang dimiliki sebesar $0,61 \text{ kg/cm}^2$ dengan prosentase kenaikan sebesar 60,02% dari kontrol. Untuk tanah hasil inokulasi *Basillus subtilis*, *Agrobacterium tumifaciens* dan *Nitrobacter sp* masing-masing memiliki kuat geser sebesar $0,55 \text{ kg/cm}^2$, $0,51 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,41 \text{ kg/cm}^2$ dengan prosentase kenaikan berturut-turut sebesar 42,80%, 32,52% dan 6,68%.

4.2.3. Analisa Proses Inokulasi Berdasarkan Hasil Pengujian

Pada pasir hasil inokulasi mikrobakteri terjadi penurunan nilai permeabilitas dan peningkatan nilai kuat geser pada keseluruhan sampel. Hal tersebut terjadi karena adanya aktivitas dari mikrobakteri yang ada pada sampel pasir. Proses *bioclogging* dan *biocementation* yang terjadi pada jenis mikrobakteri tertentu akan memiliki tingkat perkembangan yang berbeda. Pada sampel pasir inokulasi *Agrobacterium tumifaciens*, proses *bioclogging* yang terjadi lebih dominan dari pada *biocementation*. Hal ini dapat dilihat pada besarnya reduksi permeabilitas yang dihasilkan namun kuat geser yang merupakan hasil dari proses *biocementation* relatif kurang atau lebih kecil dari pada sampel inokulasi *Lactobacillus sakei* maupun *Pseudomonas sp*. Sebaliknya, sampel hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* mengalami perkembangan *biocementation* yang lebih dominan dari pada *bioclogging*. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian terhadap kuat geser dan angka permeabilitasnya.

Pada penelitian ini, peningkatan kuat geser pada sampel hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* adalah peningkatan kuat geser terbesar dari semua sampel hasil inokulasi 5 jenis mikrobakteri, namun tidak demikian untuk angka permeabilitasnya. Sampel pasir inokulasi *Lactobacillus sakei* tidak memiliki nilai permeabilitas terendah. Hal ini membuktikan bahwa aktivitas mikrobakteri *Lactobacillus sakei* pada proses *biocementation* lebih besar atau lebih dominan dari pada *bioclogging*nya dalam sampel tersebut.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap sampel pasir hasil inokulasi 5 jenis mikrobakteri, maka pada kasus ini dapat dikatakan bahwa pada pengujian keseluruhan sampel terjadi penurunan angka permeabilitas dan peningkatan kuat geser tanah, namun jika sampel dilihat secara tunggal/individu

maka besarnya peningkatan nilai kuat geser yang terjadi belum tentu diikuti dengan besarnya penurunan angka permeabilitas. Hal tersebut di pengaruhi oleh seberapa besar perkembangan *bioclogging*, *biocementation* dan *bubble* yang terjadi akibat aktivitas mikrobakteri pada proses inokulasi.

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 produksi senyawa *polisakarida* biasanya mengandung unsur karbon yang tinggi yang 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 *ekstraseluler polisakarida* tersebut (Lasmita, 2008).

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, silicat, fosfat, sulfide dan hidroksia, terutama besi hidroksida.

Pada penelitian ini media yang digunakan adalah berupa gula (sukrose) dan garam mineral, yaitu berupa CaCl_2 , MgSO_4 , K_2HPO_4 . 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 angka permeabilitas. Magnesium(Mg) berfungsi dalam fermentasi *anaerobic* yang berperan dalam *biocementation*.

4.3. Analisa Hasil Pengujian Sampel Hasil Inokulasi

Sampel tanah yang masing-masing telah diinokulasikan dengan mikrobakteri akan diuji setelah 30 hari. Tentunya hasil pengujian yang diperoleh antara sampel yang satu dengan yang lainnya akan memiliki perbedaan. Sampel dibagi menjadi 5

berdasarkan jenis mikrobakteri yang diinokulasikan ke dalam sampel tersebut. Jenis sampel tersebut adalah sebagai berikut :

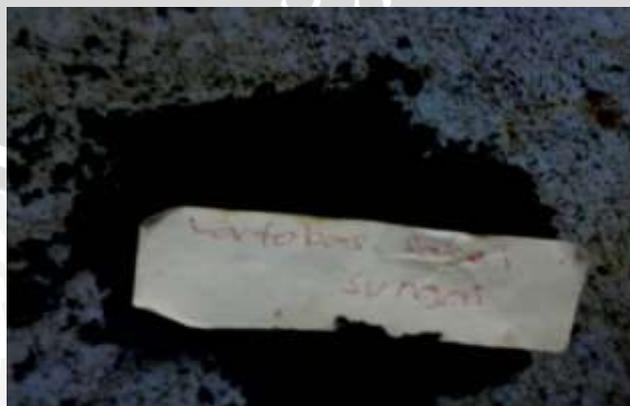
- Sampel inokulasi mikrobakteri *Lactobacillus sakei*
- Sampel inokulasi mikrobakteri *Pseudomonas sp*
- Sampel inokulasi mikrobakteri *Agrobacterium tumefaciens*
- Sampel inokulasi mikrobakteri *Bacillus subtilis*
- Sampel inokulasi mikrobakteri *Nitrobacter sp*

4.3.1. Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Lactobacillus sakei*

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sampel tanah setelah diinokulasikan *Lactobacillus sakei* maka terjadi beberapa perubahan karakteristik tanah tersebut jika dibandingkan dengan sampel natural sebagai kontrol.

Melalui pengujian *water content* dapat diketahui kandungan kadar air yang terdapat pada sampel tanah adalah sebesar 9,51% dari berat tanah. Dari uji *constant head* diketahui terjadi penurunan angka permeabilitas terhadap sampel tanah hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* terhadap sampel kontrol (tanah natural) sebesar 46,87% sehingga sampel pasir yang semula memiliki permeabilitas sebesar $6,5 \cdot 10^{-3}$ cm/detik mengalami penurunan sebesar $3,1 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dengan nilai permeabilitas yang pasca inokulasi sebesar $3,5 \cdot 10^{-3}$ cm/detik.

Berdasarkan hasil pengujian *direct shear* dapat diketahui bahwa nilai kuat geser pada tanah hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* mengalami peningkatan terhadap kontrol/kondisi tanah naturalnya. Melalui data hasil perhitungan kuat geser pada Tabel 4.4. dapat diketahui kuat geser tanah kontrol adalah sebesar 0,38 kg/cm² dan mengalami kenaikan setelah diinokulasikan *Lactobacillus sakei* sehingga kuat gesernya meningkat mencapai 0,62 kg/cm². Sampel pasir sungai hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* dapat dilihat pada Gambar 4.6. berikut.



Gambar 4.6. Sampel pasir inokulasi *Lactobacillus sakei*
Sumber : Dokumentasi Penelitian

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. Hal tersebut akan potensial untuk proses *bioclogging* dan *biocementation* dengan presipitasi silikat dari suspensi koloidal silikat. Dilain sisi, asam organik yang dihasilkan dalam fermentasi karbohidrat dapat memecahkan karbonat dan hidroksida sehingga mampu mengikat partikel tanah atau menyumbat pori-pori tanah.

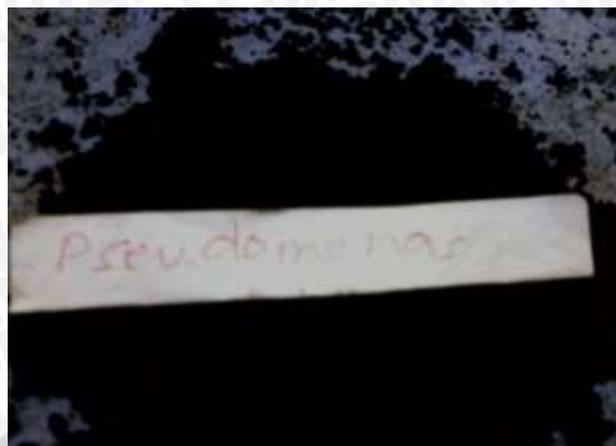
4.3.2. Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Pseudomonas sp*

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sampel tanah setelah diinokulasikan *Pseudomonas sp* maka terjadi beberapa perubahan karakteristik tanah tersebut jika dibandingkan dengan sampel natural sebagai kontrol.

Melalui pengujian *water content* dapat diketahui kandungan kadar air yang terdapat pada sampel tanah adalah sebesar 8.58% dari berat tanah. Dari uji *constant head* diketahui terjadi penurunan angka permeabilitas terhadap sampel tanah hasil inokulasi *Pseudomonas sp* terhadap sampel kontrol (tanah natural) sebesar 33,09% sehingga sampel pasir yang semula memiliki permeabilitas sebesar $6,5 \cdot 10^{-3}$ cm/detik mengalami penurunan sebesar $2,2 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dengan nilai permeabilitas yang pasca inokulasi sebesar $4,4 \cdot 10^{-3}$ cm/detik.

Berdasarkan hasil pengujian *direct shear* dapat diketahui bahwa nilai kuat geser pada tanah hasil inokulasi *Pseudomonas sp* mengalami peningkatan terhadap kontrol/kondisi tanah naturalnya. Melalui data hasil perhitungan kuat geser pada Tabel 4.4. dapat diketahui kuat geser tanah kontrol adalah sebesar $0,38 \text{ kg/cm}^2$ dan mengalami kenaikan setelah diinokulasikan *Pseudomonas sp* sehingga kuat gesernya meningkat mencapai $0,61 \text{ kg/cm}^2$.

Sampel pasir inokulasi *Pseudomonas sp* dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Sampel pasir inokulasi *Pseudomonas sp*
Sumber : Dokumentasi Penelitian

Pertumbuhan mikrobakteri *Pseudomonas sp* dalam media berpori alam 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 *ekstraseluler polisakarida*.

Mikrobakteri *aerobic* cocok untuk *bioclogging*, *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 sehingga tidak maksimal dalam proses perbaikan tanah dalam area yang luas atau skala besar.

4.3.3. Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Agrobacterium tumifaciens*

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sampel tanah setelah diinokulasikan *Agrobacterium tumifaciens* maka terjadi beberapa perubahan karakteristik tanah tersebut jika dibandingkan dengan sampel natural sebagai kontrol.

Melalui pengujian *water content* dapat diketahui kandungan kadar air yang terdapat pada sampel tanah adalah sebesar 13,39% dari berat tanah. Dari uji *constant head* diketahui terjadi penurunan angka permeabilitas terhadap sampel tanah hasil inokulasi *Agrobacterium tumifaciens* terhadap sampel kontrol (tanah

natural) sebesar 62,94% sehingga sampel pasir yang semula memiliki permeabilitas sebesar $6,5 \cdot 10^{-3}$ cm/detik mengalami penurunan sebesar $4,1 \cdot 10^{-3}$ cm/ detik dengan nilai permeabilitas yang pasca inokulasi sebesar $2,4 \cdot 10^{-3}$ cm/detik.

Berdasarkan hasil pengujian *direct shear* dapat diketahui bahwa nilai kuat geser pada tanah hasil inokulasi *Agrobacterium tumifaciens* mengalami peningkatan terhadap kontrol/kondisi tanah naturalnya. Melalui data hasil perhitungan kuat geser pada Tabel 4.4. dapat diketahui kuat geser tanah kontrol adalah sebesar $0,38 \text{ kg/cm}^2$ dan mengalami kenaikan setelah diinokulasikan *Agrobacterium tumifaciens* sehingga kuat gesernya meningkat mencapai $0,51 \text{ kg/cm}^2$. Sampel pasir sungai hasil inokulasi *Agrobacterium tumifaciens* dapat dilihat pada Gambar 4.8. berikut.



Gambar 4.8. Sampel pasir inokulasi *Agrobacterium tumifaciens*
Sumber : Dokumentasi Penelitian

Agrobacterium tumifaciens adalah tergolong mikrobakteri gram negatif *aerobic*. Mikrobakteri ini mampu menghasilkan *slime polisakarida* dalam jumlah yang besar, membentuk rangkaian dan filament, mampu meningkatkan pH dan mengoksidasi substansi organik dan inorganik yang berbeda (Sivakumar. 2008)

Kenaikan pH dikarenakan reaksi amonifikasi dan presipitasi karbonat untuk membentuk partikel yang menyumbat pori-pori tanah. *Agrobacterium tumifaciens* adalah 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, 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*

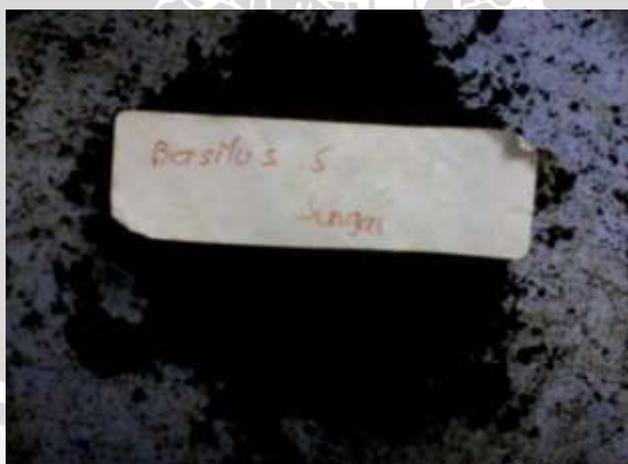


4.3.4. Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Bacillus subtilis*

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sampel tanah setelah diinokulasikan *Bacillus subtilis* maka terjadi beberapa perubahan karakteristik tanah tersebut jika dibandingkan dengan sampel natural sebagai kontrol.

Melalui pengujian *water content* dapat diketahui kandungan kadar air yang terdapat pada sampel tanah adalah sebesar 9,39% dari berat tanah. Dari uji *constant head* dapat diketahui bahwa terjadi penurunan terhadap angka permeabilitas terhadap sampel tanah hasil inokulasi *Basillus subtilis* terhadap sampel kontrol (tanah natural) sebesar 41,67% sehingga sampel pasir yang semula memiliki permeabilitas sebesar $6,5 \cdot 10^{-3}$ cm/detik mengalami penurunan sebesar $2,7 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dengan nilai permeabilitas yang pasca inokulasi sebesar $3,8 \cdot 10^{-3}$ cm/detik.

Berdasarkan hasil pengujian *direct shear* dapat diketahui bahwa nilai kuat geser pada tanah hasil inokulasi *Basillus subtilis* mengalami peningkatan terhadap kontrol/kondisi tanah naturalnya. Melalui data hasil perhitungan kuat geser pada Tabel 4.4. dapat diketahui kuat geser tanah kontrol adalah sebesar $0,38 \text{ kg/cm}^2$ dan mengalami kenaikan setelah diinokulasikan *Basillus subtilis* sehingga kuat gesernya meningkat mencapai $0,55 \text{ kg/cm}^2$. Sampel pasir sungai hasil inokulasi *Basillus subtilis* dapat dilihat pada Gambar 4.9. berikut.



Gambar 4.9. Sampel pasir inokulasi *Bacillus subtilis*
Sumber : Dokumentasi Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sampel tanah hasil inokulasi *Bacillus subtilis* maka proses dalam tanah dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut. Ketika mikrobakteri 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).

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. 3 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.

Karena reaksi enzimatik ini, pH meningkat dan *hydrocarbonate* diproduksi. Hal ini memulai pengendapan kalsium karbonat, yang menyumbat pori-pori dan mengikat partikel tanah (Kucharski et al 2005).

4.3.5. Sampel Inokulasi Mikrobakteri *Nitrobacter sp*

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sampel tanah setelah diinokulasikan *Nitrobacter sp* maka terjadi beberapa perubahan karakteristik tanah tersebut jika dibandingkan dengan sampel natural sebagai kontrol.

Melalui pengujian *water content* dapat diketahui kandungan kadar air yang terdapat pada sampel tanah adalah sebesar 7,14% dari berat tanah. Dari uji *constant head* diketahui terjadi penurunan angka permeabilitas terhadap sampel tanah hasil inokulasi *Nitrobacter sp* terhadap sampel kontrol (tanah natural) sebesar 60,63% sehingga sampel pasir yang semula memiliki permeabilitas sebesar $6,5 \cdot 10^{-3}$ cm/detik mengalami penurunan sebesar $4,0 \cdot 10^{-3}$ cm/detik dengan nilai permeabilitas yang pasca inokulasi sebesar $2,6 \cdot 10^{-3}$ cm/detik.

Berdasarkan hasil pengujian *direct shear* dapat diketahui bahwa nilai kuat geser pada tanah hasil inokulasi *Nitrobacter sp* mengalami peningkatan terhadap kontrol/kondisi tanah naturalnya. Melalui data hasil perhitungan kuat geser pada Tabel 4.4. dapat diketahui kuat geser tanah kontrol adalah sebesar $0,38 \text{ kg/cm}^2$ dan mengalami kenaikan setelah diinokulasikan *Nitrobacter sp* sehingga kuat gesernya meningkat mencapai $0,41 \text{ kg/cm}^2$. Sampel pasir sungai hasil inokulasi *Nitrobacter sp* dapat dilihat pada Gambar 4.10. berikut.



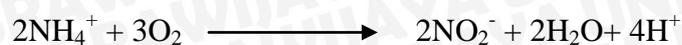
Gambar 4.10. Sampel pasir inokulasi *Nitrobacter sp*
Sumber : Dokumentasi Penelitian

Mikrobakteri nitrifikasi yang termasuk didalamnya adalah *Nitrobacter sp* memproduksi *ekstraseluler polisakarida* yang berasal dari CO_2 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 CO_2 yang didapat dari udara (Ivanov V and Chu J. 2008).

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 *aerobic* yang memerlukan oksigen.

Di dalam tanah sebagian besar sebagian besar dari setiap *biofilm* alami nitrat mengandung mikrobakteri nitrat, yang tertanam pada lapisan *slime* mikrobakteri (nanov et al.2006a). 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 et al.2006. Ivanov and Tay 2006b).

Berikut adalah reaksi yang dapat dilakukan oleh mikrobakteri nitrifikasi :



4.4. Hasil Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian SEM adalah pengujian dengan menggunakan bantuan *microscope electron* hingga perbesaran beberapa ribu kali perbesaran. Pengujian SEM dimaksudkan untuk mengetahui apakah mikrobakteri yang telah diinokulasikan dalam tanah hidup dan membentuk *ekstraseluler polisakarida* seperti yang diharapkan maka digunakan uji SEM untuk pengujian.

Hasil uji SEM adalah berupa gambar dari perbesaran partikel-partikel tanah hingga beberapa ribu kali. Uji SEM dilakukan terhadap sampel dengan angka permeabilitas terendah dan sampel dengan kuat geser terbesar yaitu *Agrobacterium tumifaciens* dan *Lactobacillus sakei*. Berikut adalah hasil pengujian SEM terhadap *Agrobacterium tumifaciens* dan *Lactobacillus sakei*.

4.4.1. Hasil Uji SEM *Agrobacterium tumifaciens*

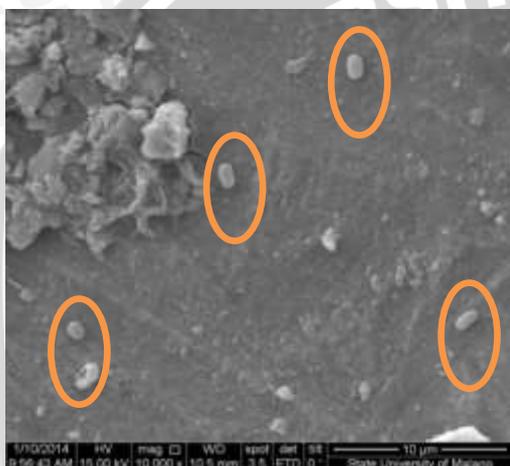
Sampel tanah untuk pengujian dipilih dengan pertimbangan nilai permeabilitas terkecil dan angka kuat geser terbesar yang dihasilkan sampel tersebut setelah proses inokulasi selesai. Pada pengujian permeabilitas didapatkan tanah hasil inokulasi *Agrobacterium tumifaciens* memiliki angka permeabilitas terendah, sehingga sampel tersebut diuji lebih lanjut dengan uji SEM.

Pengambilan sampel untuk pengujian SEM adalah random, yaitu sampel diambil secara acak. Sampel kemudian diletakkan di preparat dengan ukuran kurang lebih 1cm x 1,5cm dan dilakukan perbesaran hingga objek yang diinginkan dapat terlihat jelas.

Mikrobakteri *Agrobacterium tumifaciens* adalah mikrobakteri yang mampu menghasilkan massa sel dari mikrobakteri itu sendiri dalam sampel pasir inokulasi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.11. dan Gambar 4.12. dimana berdasarkan hasil uji SEM dengan perbesaran 10.000 kali menunjukkan adanya sel-sel mikrobakteri dalam tanah yang membuktikan bahwa mikrobakteri tersebut menghasilkan massa sel yang berperan dalam proses *clogging*. Disamping menghasilkan massa sel, *Agrobacterium tumifaciens* juga memproduksi *slime polisakarida* dalam jumlah yang besar, membentuk rangkaian dan filamen, mampu meningkatkan pH dan mengoksidasi substansi organik dan inorganik yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 4.13. dan Gambar 4.14. dimana hasil uji SEM tersebut menunjukkan adanya perbedaan antara pasir murni dan pasir hasil inokulasi. Pada gambar hasil pengujian sampel hasil inokulasi mikrobakteri *Agrobacterium tumifaciens* tersebut terlihat pada dinding sampel pasir terbentuk *ekstraselular polisakarida* sedangkan pada hasil pengujian SEM terhadap pasir murni tidak

ditemukan adanya *ekstraselular polisakarida* pada dinding-dindingnya. Hal tersebut yang membuat sampel pasir hasil inokulasi mikrobakteri lebih impermeabel terhadap air dari pada sampel pasir murni.

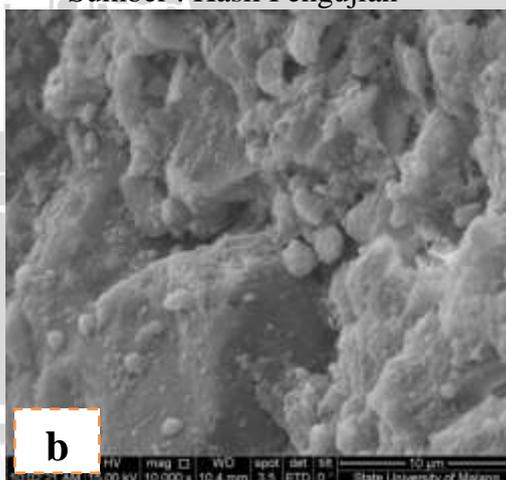
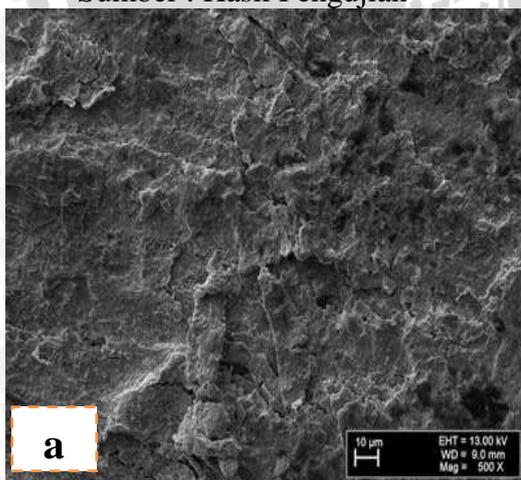
Dari keseluruhan hasil pengujian SEM dapat disimpulkan bahwa inokulasi mikrobakteri pada sampel pasir sungai berhasil, hal ini dapat dibuktikan dengan adanya mikrobakteri pada dinding-dinding pasir sungai. Disamping itu pada perbesaran 10.000 kali terhadap sampel hasil inokulasi pasir sungai terbentuk adanya lapisan *ekstraselular polisakarida* dalam bentuk *slime* yang melekat pada dinding-dinding pasir seperti yang diharapkan. Gambar hasil pengujian SEM *Agrobacterium tumifaciens* dapat dilihat pada Gambar 4.11-Gambar 4.14. Untuk lebih jelas gambar hasil pengujian SEM dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 4.11. Hasil uji SEM I
Agrobacterium tumifaciens
Sumber : Hasil Pengujian



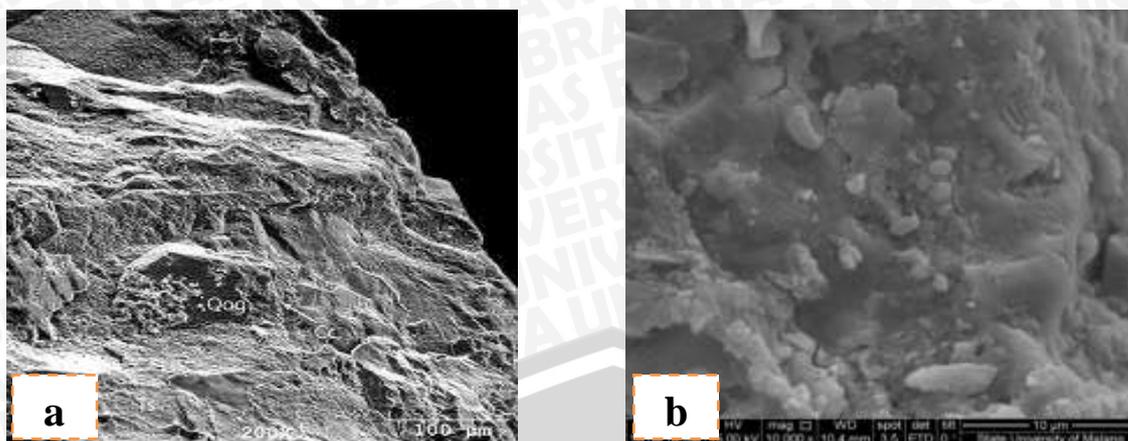
Gambar 4.12. Hasil uji SEM II
Agrobacterium tumifaciens
Sumber : Hasil Pengujian



Gambar 4.13. Perbandingan hasil uji SEM a.(pasir murni) dan b.(pasir inokulasi
Agrobacterium tumifaciens)

Sumber : a. <http://fannowidy.blogspot.com/2011/10/analisa-dan-karakterisasi-permukaan.html>

b. Hasil Pengujian



Gambar 4.14. Perbandingan hasil uji SEM a. (pasir murni) dan b. (pasir inokulasi *Agrobacterium tumifaciens*)

Sumber : a. http://throughthesandglass.typepad.com/through_thesandglass/2010/01/never-leave-home-without-it-the-.html

b. Hasil Pengujian

4.4.2. Hasil Uji SEM *Lactobacillus sakei*

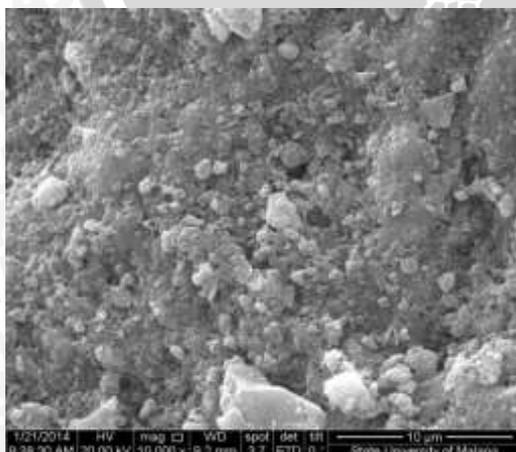
Berdasarkan hasil pengujian terhadap kuat geser tanah, maka sampel yang memiliki kuat geser untuk menahan beban geser terbesar berbeda dengan sampel hasil inokulasi yang memiliki angka permeabilitas terendah. Untuk itu, disamping pengujian SEM terhadap sampel dengan nilai permeabilitas terendah maka dilakukan pengujian SEM terhadap sampel dengan kuat geser terbesar. Sampel dengan kuat geser terbesar adalah sampel hasil inokulasi mikrobakteri *Lactobacillus sakei*.

Lactobacillus sakei tergolong mikrobakteri fermentasi, mikrobakteri ini dapat digunakan dalam pembentukan sementasi pada tanah dengan adanya mineral berupa kalsium, magnesium atau besi. 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 seperti terlihat pada Gambar 4.15, Gambar 4.16. dan Gambar 4.17. dimana pada gambar tersebut terlihat adanya bongkahan yang direkatkan oleh *ekstraselular polisakarida*. Terlihat pada Gambar 4.15. dan Gambar 4.16. bahwa pada permukaan pasir hasil inokulasi dipenuhi oleh *slime ekstraseluler polisakarida* yang dihasilkan oleh mikrobakteri *Lactobacillus sakei*. Pada Gambar 4.15. permukaan pasir partikelnya cenderung lebih kecil dan dipenuhi oleh *slime ekstraseluler polisakarida* mikrobakteri, namun pada Gambar

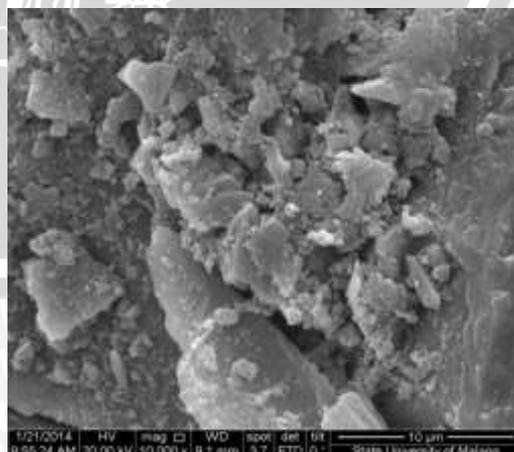
4.17. pada permukaan pasir banyak terbentuk bongkahan yang kemudian pada sisi-sisi bongkahan tersebut direkatkan oleh *slime ekstraseluler polisakarida* mikrobakteri. Bongkahan tersebut melekat dan menjadi 1 dengan dinding pasir. Disamping menghasilkan *ekstraselular polisakarida* mikrobakteri *Lactobacillus sakei* juga menghasilkan massa sel dari mikrobakteri itu sendiri seperti terlihat pada Gambar 4.18. Melalui hasil uji SEM yang telah dilakukan dengan perbesaran 10.000 kali maka dapat dilihat pada gambar tersebut beberapa mikrobakteri yang melekat pada dinding pasir dan hidup secara soliter yaitu hidup secara sendiri.

Pada pasir murni tanpa inokulasi mikrobakteri dengan pasir hasil inokulasi mikrobakteri tentu terdapat perbedaan. Gambar 4.19. dan Gambar 4.20. menunjukkan bahwa pasir yang diinokulasi mikrobakteri memiliki kandungan *slime ekstraseluler polisakarida* yang mampu merekatkan antar partikel tanah namun pada hasil uji pasir murni tidak terlihat *ekstraseluler polisakarida* yang terbentuk pada dinding pasir.

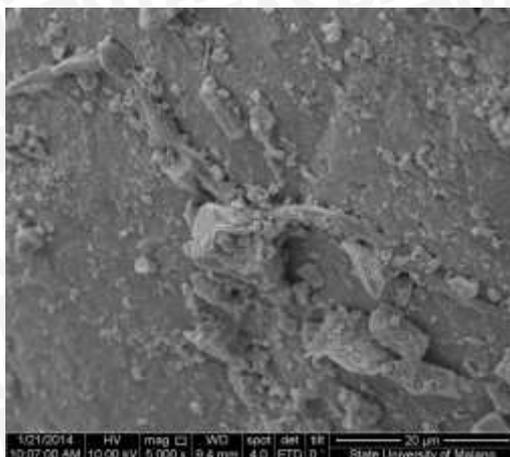
Berdasarkan beberapa hasil pengujian SEM terhadap sampel pasir hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* maka dapat dikatakan bahwa mikrobakteri pada sampel tersebut dapat hidup dan membentuk *ekstraselular polisakarida* yang salah satu fungsinya adalah meningkatkan kuat geser. Namun pada pengujian ini gambar atau hasil uji yang didapat kurang memuaskan (*ekstraseluler polisakarida* kurang begitu jelas) hal ini karena keterbatasan dalam pengambilan sampel uji, sehingga sampel uji kurang mewakili dari keseluruhan sampel hasil inokulasi *Lactobacillus sakei*. Gambar hasil uji sampel pasir hasil inokulasi *Lactobacillus sakei* dapat dilihat pada Gambar 4.15-Gambar 4.20. Untuk hasil uji SEM yang lebih jelas dapat dilihat pada lampiran 2.



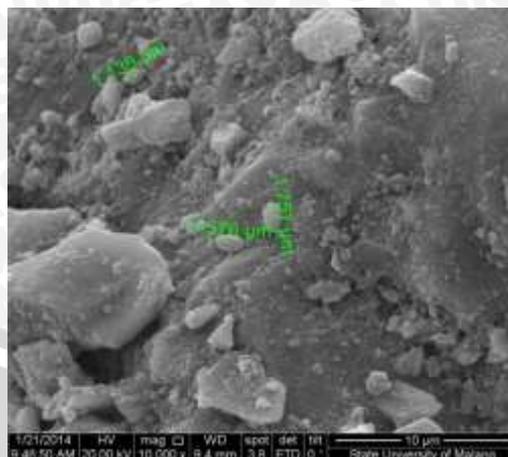
Gambar 4.15. Hasil uji SEM I sampel *Lactobacillus sakei*
Sumber : Hasil pengujian



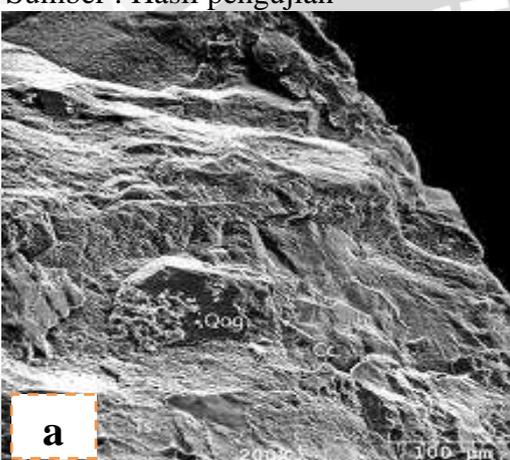
Gambar 4.16. Hasil uji SEM II sampel *Lactobacillus sakei*
Sumber : Hasil pengujian



Gambar 4.17. Hasil uji SEM III sampel *Lactobacillus sakei*
Sumber : Hasil pengujian



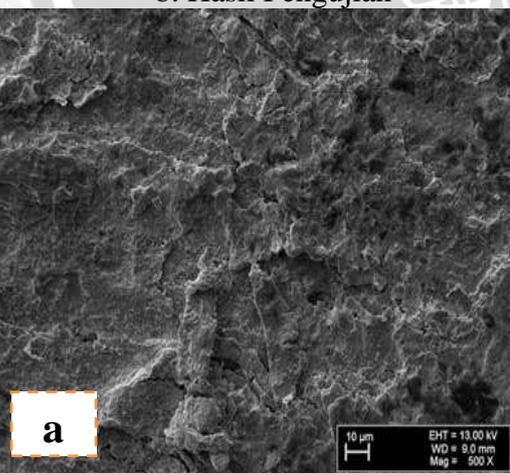
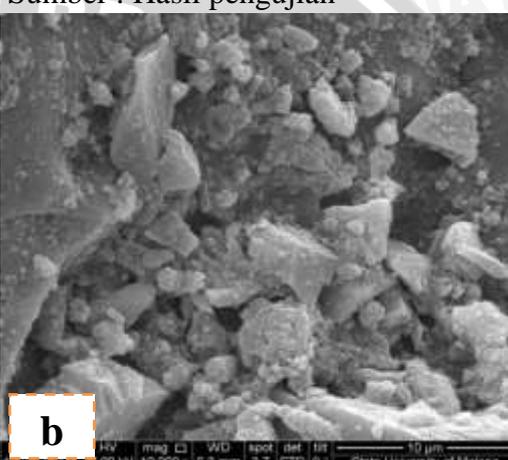
Gambar 4.18. Hasil uji SEM IV sampel *Lactobacillus sakei*
Sumber : Hasil pengujian



Gambar 4.19. Perbandingan hasil uji SEM A. (pasir murni) dan b. (pasir hasil inokulasi *Lactobacillus sakei*)

Sumber : a. <http://fannowidy.blogspot.com/2011/10/analisa-dan-karakterisasi-permukaan.html>

b. Hasil Pengujian



Gambar 4.20. Perbandingan hasil uji SEM a. (pasir murni) dan b. (pasir hasil inokulasi *Lactobacillus sakei*)

Sumber : a. http://throughthesandglass.typepad.com/through_the_sandglass/2010/01/never-leave-home-without-it-the-.html

b. Hasil Pengujian

