

# STUDI EFEKTIVITAS PERBAIKAN STRUKTUR TANAH BERPASIR DENGAN METODE *BIOCLOGGING* DAN *BIOCEMENTATION*

Emma Yuliani

Dosen Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

e-mail: emma\_yuliani80@yahoo.com

## ABSTRAK

Upaya perbaikan struktur tanah dengan metode *biogrouting*, yaitu dengan penambahan bakteri penghasil eksopolisakarida pada tanah mulai banyak diteliti. Pada umumnya proses ini melibatkan bahan kimia sebagai media pertumbuhan bakteri sehingga meningkatkan biaya yang dibutuhkan. Untuk menyelidiki tentang pemanfaatan limbah cair tahu sebagai media pertumbuhan bakteri dalam upaya perbaikan struktur tanah, maka dilakukan penelitian dengan menginokulasikan lima jenis bakteri non-patogenik (*Pseudomonas sp.*, *Nitrobacter sp.*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus sakei*, dan *Agrobacterium tumefaciens*) ke dalam sampel tanah. Sebagai perbandingan digunakan media pertumbuhan kimia dan sampel tanah asli sebagai kontrol. Setelah 15 dan 30 hari pasca inokulasi bakteri ke dalam sampel tanah, dilakukan pengujian *constant head*, *direct shear*, dan SEM. Berdasarkan pengujian *constant head* didapatkan sampel tanah dengan inokulasi bakteri *Agrobacterium tumefaciens* memiliki nilai permeabilitas terendah dengan reduksi sebesar 53,62% terhadap sampel tanah kontrol pasca inokulasi selama 30 hari. Berdasarkan pengujian *direct shear* didapatkan sampel tanah dengan inokulasi bakteri *Lactobacillus sakei* memiliki nilai kuat geser tertinggi dengan prosentase kenaikan sebesar 102,74% terhadap sampel tanah kontrol pasca inokulasi selama 30 hari. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa limbah cair tahu efektif untuk digunakan sebagai media pertumbuhan bakteri dalam proses *biogrouting*.

**Kata kunci:** struktur tanah, *bioclogging*, *biocementation*, eksopolisakarida, limbah cair tahu

## ABSTRACT

*Biogrouting*, as a method of soil structure improvement by inoculating exopolysaccharide producing-bacteria, has recently gained a lot of attention. The common media use for bacterial growth in this process is chemical media which cause an addition of cost. In order to examine a potential use of tofu-processing wastewater for soil structure improvement, we conducted a research by inoculating five non-pathogenic bacteria (*Pseudomonas sp.*, *Nitrobacter sp.*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus sakei*, and *Agrobacterium tumefaciens*) into soil samples. As a comparison, we used chemical medias and natural soil samples as control. After 15 and 30 d of inoculation, we examined the soil structure through *constant head test*, *direct shear test*, and SEM. Based on the *constant head test*, the sample with *Agrobacterium tumefaciens* inoculation has the lowest permeability value by 53,62 % reduction from control after 30 d of inoculation. Based on the *direct shear test*, the sample with *Lactobacillus sakei* inoculation has the highest shear strength value by 102,74 % increase from control after 30 d of inoculation. From this study, we concluded that tofu-processing wastewater is effective to use for soil structure improvement using *biogrouting*.

**Keywords:** soil structure, *bioclogging*, *biocementation*, exopolysaccharide, tofu-processing wastewater

## 1. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Struktur tanah merupakan sifat fisik tanah yang menggambarkan susunan ruang partikel-partikel tanah yang bergabung membentuk agregat (Lynch, 1981). Struktur tanah memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan kestabilan tanah. Dalam beberapa kasus, rendahnya kestabilan tanah dapat mengarah pada kegagalan struktur.

Dalam suatu pekerjaan konstruksi, kondisi struktur tanah merupakan parameter yang sangat penting terkait dengan fungsinya dalam mendukung stabilitas bangunan yang berdiri di atasnya. Salah satu penilaian dari kondisi struktur tanah dapat dilihat dari nilai permeabilitas dan kekuatan geser suatu tanah. Apabila kondisi struktur tanah tidak mendukung untuk berdirinya suatu bangunan, maka diperlukan upaya perbaikan struktur tanah.

Metode konvensional yang biasa dilakukan dalam upaya perbaikan struktur tanah adalah dengan *grouting*. *Grouting* merupakan salah satu metode perbaikan struktur tanah yang dilakukan dengan cara menginjeksikan cairan bertekanan tinggi yang terdiri dari campuran semen dan bahan kimia ke dalam tanah. Selanjutnya bahan-bahan tersebut akan mengisi rekahan-rekahan di dalam tanah sehingga kestabilan tanah dapat terjaga.

Penggunaan bahan kimia dalam proses *grouting* dapat menimbulkan efek negatif terhadap lingkungan. Untuk itu para pakar mulai mengembangkan metode baru dalam memperbaiki struktur tanah, yaitu dengan metode *biogrouting*. Salah satu metode *biogrouting* yang kompetitif dikembangkan dalam meningkatkan stabilitas tanah adalah dengan penambahan bakteri fermentasi ke dalam tanah. Pemanfaatan bakteri dalam proses *biogrouting* terkait dengan eksopolisakarida yang disekresikan oleh bakteri (Ivanov, 2008).

Eksopolisakarida telah teridentifikasi sebagai polimer organik yang

bertanggung jawab dalam perekatan sel pada material lain maupun substrat (Characklis *et al*, 1989). Setiap jenis bakteri mensintesis eksopolisakarida dengan komposisi, struktur kimia, dan struktur fisika yang berbeda. Pada tanah, eksopolisakarida dapat menyebabkan penggabungan partikel membentuk agregat yang akan menentukan karakteristik fisik dan mekanis tanah, seperti permeabilitas dan kuat geser tanah (Dickson *et al*, 1990). Produksi eksopolisakarida oleh bakteri dipengaruhi oleh fase pertumbuhan bakteri, media pertumbuhan, nutrisi yang tersedia, tingkat keasaman, dan suhu (Weiner *et al*, 1995).

Tahu merupakan makanan asli Indonesia yang digemari oleh banyak orang. Limbah dari proses pembuatan tahu dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan, khususnya pencemaran air akibat limbah cair tahu. Mengingat bahwa limbah cair tahu mengandung material organik yang sangat tinggi, yaitu karbohidrat dan protein, maka limbah tahu memiliki potensi untuk digunakan sebagai media pertumbuhan bakteri (Wu *et al*, 2012). Limbah cair tahu dapat digunakan untuk menggantikan media kimia sebagai media pertumbuhan bakteri. Proses ini dapat meminimalisir biaya yang diperlukan dalam proses *biogrouting*.

### B. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang biasa dijumpai dalam suatu konstruksi bangunan air adalah kondisi struktur tanah yang kurang mendukung akibat nilai permeabilitas yang tinggi dan kuat geser yang rendah. Upaya perbaikan struktur tanah dengan metode *grouting* merupakan alternatif terakhir yang dipilih apabila tidak ada cara lain yang dapat dilakukan dalam memperbaiki struktur tanah. Mengingat metode ini cukup berbahaya, maka diperlukan sebuah metode terobosan yang ramah lingkungan.

Sementara- itu, proses produksi tahu menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang cukup besar. Pada industri tahu, penggunaan 60 kg kedelai akan menghasilkan sekitar 70 kg ampas tahu dan 2610 kg limbah cair yang terbuang (Said, 2009). Sampai saat ini, limbah cair tahu belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Limbah cair tahu biasanya dibuang langsung ke sungai sehingga menyebabkan pencemaran sungai.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis mencoba memberikan solusi berupa sebuah inovasi terbaru dalam bidang rekayasa geoteknik, yaitu dengan perbaikan struktur tanah melalui *bioclogging* dan *biocementation* menggunakan biopolimer eksopolisakarida dengan pemanfaatan limbah cair tahu sebagai media pertumbuhan.

### C. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui efektivitas perbaikan struktur tanah melalui *bioclogging* dan *biocementation* menggunakan biopolimer eksopolisakarida dengan pemanfaatan limbah cair tahu sebagai media pertumbuhan.

Sedangkan manfaat dari studi ini adalah untuk melatih pembekalan diri dalam bidang rekayasa geoteknis. Hasil dari studi ini dapat memberikan sumbangan pemikiran dalam upaya perbaikan struktur tanah yang efektif dan ramah lingkungan.

## 2. METODE

### A. Uji Sampel Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir sungai yang didapatkan dari Sungai Brantas. Sebelum digunakan untuk penelitian, maka dilakukan analisis terhadap sampel tanah meliputi:

1. Analisis gradasi butiran
2. Analisis berat jenis butiran
3. Analisis porositas dan angka pori

### B. Mikrobakteri

Dalam penelitian ini digunakan lima jenis bakteri non-patogenik. Koloni bakteri didapatkan dari Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya. Kelima jenis bakteri tersebut antara lain *Pseudomonas sp.*, *Nitrobacter sp.*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus sakei*, dan *Agrobacterium tumefaciens*.

### C. Media Pertumbuhan Bakteri

Dalam penelitian ini dilakukan tiga perlakuan berdasarkan media pertumbuhan bakteri. Ketiga perlakuan tersebut antara lain sampel tanah dengan media pertumbuhan limbah cair tahu, media kimia, dan sampel tanah asli tanpa tambahan media pertumbuhan bakteri.

#### C.1. Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu didapatkan dari industri pembuatan tahu di Kota Malang, Jawa Timur. Untuk masing-masing bakteri diberikan 200 ml limbah cair yang telah disaring dan disterilkan pada suhu 100°C selama 1 jam, sebagai media pertumbuhan.

#### C.2. Media Pertumbuhan Kimia

Media pertumbuhan bakteri mengandung calcium chloride (0.25 g), magnesium sulfate (0.25 g), potassium phosphate (2.5 g), urea (2.5 g) dan sukrosa (25 g). Media tersebut dicampurkan dalam 1 liter aquades dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 60 menit.

### D. Perlakuan Sampel Tanah

1. Sampel tanah disaring menggunakan saringan standar ASTM No. 10, kemudian disterilkan dengan pemanasan pada suhu 105° C selama 1 jam.
2. Sampel tanah dibagi dalam tiga bagian, masing-masing seberat 12 kg dengan perlakuan sebagai berikut:
  - Menggunakan media pertumbuhan limbah cair tahu
  - Menggunakan media pertumbuhan kimia

- Tanpa menggunakan media pertumbuhan
3. Masing-masing perlakuan dicampur dengan media pertumbuhan dan dibiarkan selama 1 hari.
  4. Media tanah yang telah tercampur selanjutnya diinokulasikan dengan koloni bakteri sebanyak 25 ml dengan konsentrasi  $1 \times 10^9$  CFU, kemudian dibiarkan dalam udara terbuka selama 30 hari.

### E. Pengujian Sampel Tanah

Sampel tanah yang telah diinokulasikan dengan bakteri kemudian diuji dengan *constant head permeameter* untuk menyelidiki nilai permeabilitas tanah. Selain pengujian permeabilitas, sampel tanah juga diuji dengan *direct shear* untuk menyelidiki nilai kuat geser tanah. Hasil yang didapat dari pengujian ini kemudian dibandingkan dengan sampel tanah kontrol untuk menganalisis efektifitasnya.

Untuk mengetahui tampilan visual dari inokulasi bakteri dalam sampel tanah, sampel tanah dengan nilai permeabilitas terendah dan nilai kuat geser tertinggi dianalisa dengan menggunakan *scanning electron microscopy (SEM) FEI™; Inspect-S50*. Pengujian ini bertujuan untuk menyelidiki pembentukan eksopolisakarida dalam sampel tanah.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisa Sampel Tanah

Karakteristik fisik tanah secara umum ditampilkan dalam **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Karakteristik Fisik Tanah

Parameter	Hasil
D60 (mm)	0.50
D30 (mm)	0.24
D10 (mm)	0.10
Berat jenis	2.63
Porositas (%)	47.21
Angka pori	0.90

Sumber: Hasil penelitian

### B. Komposisi Kimia Limbah Cair Tahu

Wu *et al.* (2012) melaporkan bahwa limbah cair tahu memiliki kandungan nutrisi yang cukup tinggi dalam bentuk karbohidrat dan protein. Dalam penelitian ini, limbah cair tahu memiliki kandungan protein yang tinggi, akan tetapi kandungan karbohidrat cukup rendah. Komposisi kimia limbah cair tahu disajikan dalam **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Komposisi Limbah Cair Tahu

Parameter	Hasil
Gula total (%)	0.16
Karbohidrat (%)	0.07
Protein (%)	0.21

Sumber: Hasil penelitian

### C. Pengujian Permeabilitas Tanah

Nilai permeabilitas sampel tanah dengan inokulasi menggunakan media limbah cair tahu ditunjukkan pada **Tabel 3**. Penurunan permeabilitas terbesar terjadi pada sampel tanah dengan inokulasi bakteri *Agrobacterium tumefaciens* dengan prosentase reduksi sebesar 53,62% terhadap sampel tanah kontrol, diikuti berturut-turut dengan inokulasi bakteri *Nitrobacter sp.*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus sakei*, dan *Pseudomonas sp.*

Angka tersebut lebih tinggi apabila dibandingkan dengan inokulasi bakteri *Agrobacterium tumefaciens* pada sampel tanah dengan media kimia yang ditunjukkan pada **Tabel 4**.

**Tabel 3.** Nilai Permeabilitas Sampel Tanah dengan Inokulasi Menggunakan Media Limbah Cair Tahu

Jenis bakteri	Konduktivitas hidrolik (m/hari)	Nilai k Kontrol (m/hari)	Prosentase Penurunan (%)
<i>Pseudomonas sp.</i>	2.54	3.52	31.64
<i>Nitrobacter sp.</i>	2.24		39.72
<i>B. subtilis</i>	2.38		36.07
<i>L. sakei</i>	2.44		34.24
<i>A. tumefaciens</i>	1.72		53.62

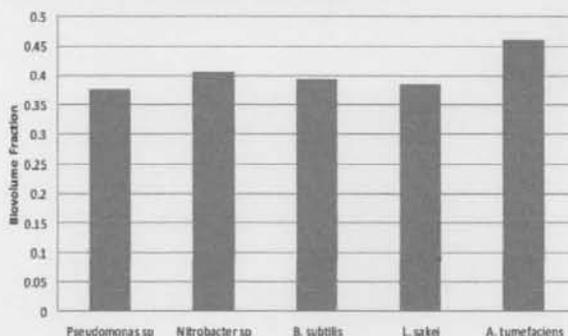
Sumber: Hasil penelitian

**Tabel 4.** Perbandingan Nilai permeabilitas Sampel Tanah dengan Inokulasi Bakteri *Agrobacterium tumefaciens* pada Ketiga Media Pertumbuhan

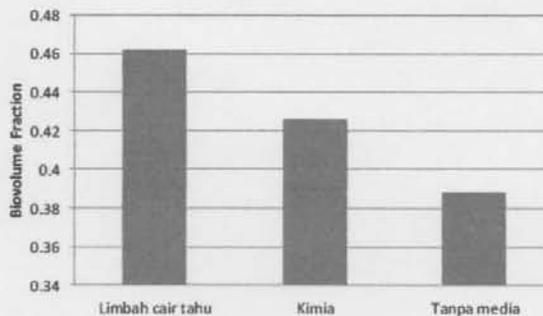
Jenis media pertumbuhan	Nilai k (m/hari)	Nilai k Kontrol (cm/dt)	Prosentase Penurunan (%)
Limbah cair tahu	1.72	3.71	53.62
Kimia	2.05	3.91	44.88
Tanpa media	2.42	4.37	34.85

Sumber: Hasil penelitian

Penurunan dari nilai konduktivitas hidrolis pada partikel tanah disebabkan oleh melalui aktivitas dari mikroorganisme dalam menghasilkan biofilm (Arcenegui, 2008). Kontribusi mikroorganisma dalam menurunkan nilai k bergantung dari angka pori setelah perlakuan, dimana angka ini didapat dari hubungan antara nilai k dan angka pori awal sebelum perlakuan. Pada Gambar 1 terlihat bahwa bakteri *Agrobacterium tumefaciens* mampu menghasilkan polimer lebih banyak dibandingkan dengan jenis bakteri yang lain. Sedang pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa pemberian limbah tahu sebagai tambahan nutrisi bagi perkembangan mikroorganisme, menyebabkan mikroorganisme yang diinokulasikan ke dalam media tanah dapat menghasilkan polimer lebih banyak dibandingkan dengan jenis perlakuan yang lain.



Gambar 1. Pengaruh jenis bakteri terhadap proses biocementasi pada partikel tanah



Gambar 2. Pengaruh jenis perlakuan terhadap proses biosementasi pada partikel tanah

**D. Pengujian Kuat Geser Tanah**

Nilai kuat geser sampel tanah dengan inokulasi menggunakan media limbah cair tahu ditunjukkan pada Tabel 5. Peningkatan permeabilitas terbesar terjadi pada sampel tanah dengan inokulasi bakteri *Lactobacillus sakei* dengan prosentase peningkatan sebesar 102,74% terhadap sampel tanah kontrol, diikuti dengan inokulasi bakteri *Pseudomonas sp.*, *Bacillus subtilis*, *Agrobacterium tumefaciens*, dan *Nitrobacter sp.*

Angka tersebut sedikit lebih rendah apabila dibandingkan dengan inokulasi bakteri *Lactobacillus sakei* pada sampel tanah dengan media kimia yang ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 5.** Nilai Kuat Geser Sampel Tanah dengan Inokulasi menggunakan Media Limbah Cair Tahu

Jenis bakteri	Kuat Geser (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Geser Kontrol (kg/cm <sup>2</sup> )	Prosentase Kenaikan (%)
<i>Pseudomonas sp.</i>	0.5739		86.20
<i>Nitrobacter sp.</i>	0.3925		27.41
<i>B. subtilis</i>	0.5190	0.3080	68.50
<i>L. sakei</i>	0.6245		102.74
<i>A. tumefaciens</i>	0.4557		47.94

Sumber: Hasil penelitian

**Tabel 6.** Perbandingan Nilai Kuat Geser Sampel Tanah dengan Inokulasi Bakteri *Lactobacillus Sakei* pada Media Pertumbuhan

Jenis media pertumbuhan	Kuat Geser (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Geser Kontrol (kg/cm <sup>2</sup> )	Prosentase Kenaikan (%)
Limbah cair tahu	0.6245	0.3080	102.74
Kimia	0.6414	0.3080	108.23
Tanpa media	0.5697	0.2953	92.90

Sumber: Hasil penelitian

### E. Pengujian SEM

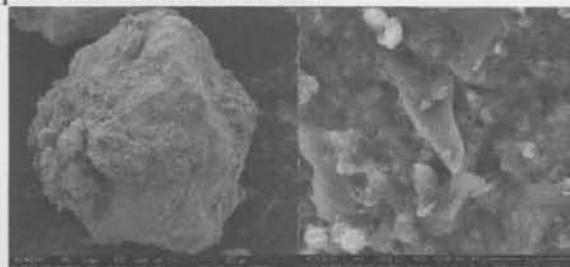
Berdasarkan pengujian *constant head* didapatkan sampel tanah dengan inokulasi bakteri *Agrobacterium tumefaciens* memiliki nilai permeabilitas terendah dan pada pegujian *direct shear* didapatkan sampel tanah dengan inokulasi bakteri *Lactobacillus sakei* memiliki nilai kuat geser tertinggi. Kedua sampel tanah tersebut akan dianalisa lebih lanjut dengan uji SEM.

Berdasarkan **Gambar 3.** dapat dilihat bahwa *Agrobacterium tumefaciens* mengalami reaksi amonifikasi dan presipitasi karbonat untuk membentuk eksopolisakarida yang berfungsi sebagai penyumbat pori-pori sampel. Eksopolisakarida yang terbentuk menempel pada dinding partikel tanah yang selanjutnya akan mengisi pori-pori tanah melalui sebuah proses yang disebut sebagai *bioclogging*.

Hasil pengujian ini sesuai dengan pengujian *constant head* yang menunjukkan bahwa sampel tanah dengan inokulasi bakteri *Agrobacterium tumefaciens* memiliki nilai permeabilitas tanah terendah.

Berdasarkan **Gambar 4.** dapat dilihat bahwa *Lactobacillus sakei* menghasilkan eksopolisakarida sebagai perekat antar partikel-partikel tanah, hal inilah yang kemudian menyebabkan peningkatan nilai kuat geser sampel tanah ini. Inokulasi bakteri *Lactobacillus sakei* tepat digunakan dalam perbaikan struktur tanah melalui *biocementation*.

Hasil uji SEM tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan yaitu inokulasi bakteri dalam tanah mampu menghasilkan eksopolisakarida yang digunakan dalam perbaikan struktur tanah.



**Gambar 3.** Hasil Uji SEM Sampel Tanah dengan Inokulasi *Agrobacterium tumefaciens* (kiri) Perbesaran 600 (kanan) Perbesaran 10K



**Gambar 4.** Hasil Uji SEM Sampel Tanah dengan Inokulasi *Lactobacillus Sakei* (kiri) Perbesaran 600 (kanan) Perbesaran 10K

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan beberapa pengujian yang telah dilakukan terhadap sampel tanah yang telah diinokulasi dengan lima jenis bakteri maka dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Berdasarkan pengujian *constant head* diperoleh adanya penurunan nilai permeabilitas tanah hasil inokulasi bakteri terhadap sampel tanah kontrol. Bakteri yang paling potensial dalam mereduksi nilai permeabilitas tanah adalah jenis bakteri *Agrobacterium tumefaciens*. Penurunan permeabilitas terbesar terjadi pada penambahan media pertumbuhan limbah cair tahu dengan inokulasi selama 30 hari. Sampel tanah tersebut memiliki nilai

permeabilitas sebesar 0,00199 cm/detik dengan presentase penurunan nilai permeabilitas sebesar 53,62% terhadap sampel tanah kontrol.

2. Berdasarkan pengujian geser langsung (*direct shear*) maka dapat disimpulkan bahwa secara umum masing-masing jenis bakteri dapat meningkatkan kuat geser tanah. Bakteri yang paling potensial untuk digunakan dalam meningkatkan nilai kuat geser tanah adalah jenis bakteri *Lactobacillus sakei*. Peningkatan kuat geser terbesar terjadi dengan penambahan media pertumbuhan kimia. Setelah 30 hari, kuat geser sampel tanah dengan inokulasi bakteri *Lactobacillus sakei* dengan media pertumbuhan limbah cair tahu meningkat sebesar 102,74% terhadap sampel tanah kontrol dengan nilai kuat geser sebesar 0,6245 kg/cm<sup>2</sup>.
3. Berdasarkan hasil uji SEM dengan perbesaran 10.000 kali maka dapat dilihat adanya bakteri-bakteri yang melekat pada partikel tanah yang hidup secara soliter. Sampel tanah hasil inokulasi *Agrobacterium tumefaciens* dan *Lactobacillus sakei* dengan media pertumbuhan limbah cair tahu dapat membentuk eksopolisakarida secara maksimal. Hasil uji SEM tersebut membuktikan bahwa penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan yaitu bakteri menghasilkan eksopolisakarida dan berbanding lurus dengan hasil pengujian permeabilitas dan kuat geser.
4. Berdasarkan pengukuran polimer yang terbentuk didapatkan *Agrobacterium tumefaciens* menghasilkan lebih banyak polisakarida dibandingkan dengan jenis bakteri yang lain.
5. Limbah cair tahu telah teruji efektif untuk digunakan sebagai media pertumbuhan bakteri dalam upaya perbaikan struktur tanah melalui *bioclogging* dan *biocementation*. Limbah cair tahu berfungsi sebagai pensuplai nutrisi yang dibutuhkan oleh

bakteri, terutama terkait dengan kandungan protein dan karbohidrat yang cukup tinggi. Pemanfaatan limbah cair tahu sebagai media pertumbuhan bakteri akan membuat proses *biogrouting* menjadi lebih ekonomis.

#### B. Saran

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut pada skala model fisik untuk memperoleh teknik implementasi metode *biogrouting* dengan limbah cair tahu yang efektif di lapangan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh dari gas yang dihasilkan oleh mikroorganisme terhadap *bioclogging* dan *biocementation*.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Characklis, W. G. & Wilderer, P. A. 1989. Glossary. In: Characklis, W. G., Wilderer, P. A. (eds) **Structure and function of biofilms**, Wiley, Chichester, United Kingdom of Great Britain, pp. 369-371.
2. Dickson, E. L., Rasiah, V. & Groenevelt, P. H. 1990. **Comparison of Four Prewetting Techniques in Wet Aggregate Stability Determination**. *Can. J. Soil Sci.* 71: 67-72.
3. Ivanov, V. & Chu, J. 2008. **Applications of Microorganisms to Geotechnical Engineering for Bioclogging and Biocementation of Soil in situ**. *Environ Sci. Biotechnol.* 7: 139-153.
4. Lynch, J. M. 1981. **Promotion and Inhibition of Soil Aggregate Stabilization by Microorganism**. *J. General Microbiol.* 126: 371-375.
5. Said, Nusa Idaman & Wahjuno, Heru Dwi. 1999. **Teknologi Pengolahan Air Limbah Tahu-Tempe dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob**. Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan.

6. V Arcenegui, J Mataiz-Solera, C Guerrero, R Zornoza, J Mataix benexto, F Garcia Orenes. 2008. Immediate effects of wildfire on water repellency and aggregate stability in mediteranian calcaneous soil. *Catena* 74: 219-226
7. Weiner, R., Langile, S. & Quintero, E. 1995. **Structure, Function and Immunochemistry of Bacterial Exopolysaccharides.** *Industrial Microbiol.* **15 (4)**: 339-346.
8. Wu, T. Y., Hay, J. X. W., Kong, L. B., Juan, J. C. & Jahim, J. M. 2012. **Recent Advances in Reuse of Waste Material as Substrate to Produce Biohydrogen by Purple Non-Sulfur (PNS) Bacteria.** *Renew. Sustain Energy Rev.*, **16(5)**: 3117-312