



Potensi Penggunaan Bacillus Subtilis Untuk Stabilisasi Tanah Bekas Tambang Emas

E. Andrew N. Sinambela^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Roski R. I. Legrans^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^asinambelaandrew681@gmail.com, ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id, ^clegransroski@unsrat.ac.id

Abstrak

Stabilisasi tanah dalam ilmu teknik sipil adalah merupakan tindakan atau usaha yang dilakukan untuk meningkatkan daya dukung tanah. Metode stabilisasi tanah adalah menambahkan material lain dan yang paling umum adalah metode mekanis dengan cara memadatkan lapisan tanah dengan alat berat, dengan kepadatan maksimum akan menghasilkan daya dukung maksimum. Seiring dengan kemajuan teknologi, penggunaan bahan mikroorganisme sebagai bahan tambah dalam proses stabilisasi tanah juga semakin diminati dan semakin ramah lingkungan yang umum disebut biogrouting atau bio-remediasi tanah. Stabilitas tanah bekas tambang hasil stabilisasi dengan penambahan bahan bakteri Bacillus Subtilis dalam penelitian ini menunjukkan nilai kepadatan maksimum tanah asli tanpa bahan tambahan $\gamma_{dry\ maks} = 1.947$ t/m² dan kepadatan maksimum tanah asli dengan bahan tambahan adalah $\gamma_{dry\ maks} = 1.950$ t/m² (waktu peram 0 hari), $\gamma_{dry\ maks} = 1.961$ t/m² (waktu peram 7 hari) serta $\gamma_{dry\ maks} = 1.978$ t/m² (waktu peram 14 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bakteri Bacillus Subtilis dalam proses stabilisasi tanah bekas tambang adalah berpengaruh terhadap stabilitas tanah.

Kata kunci: stabilisasi, bakteri Bacillus Subtilis, kepadatan maksimum

1. Latar Belakang

Penurunan kualitas tanah menjadi masalah paling besar dari kerusakan lingkungan yang timbul dalam proses penambangan, seperti: kerusakan struktur tanah, air, udara, laut, serta hutan. Perubahan struktur tanah akan mempengaruhi stabilitas tanah.

Stabilisasi tanah adalah salah satu rekayasa ilmu teknik sipil yang diperlukan untuk memperbaiki stabilitas tanah terutama terhadap daya dukung. Dan nilai kepadatan tanah merupakan salah satu parameter yang menunjukkan nilai stabilitas tanah.

Metode bio-grouting atau bio-remediasi salah satu metode stabilisasi tanah yang melibatkan mikroorganisme yang diinduksi kalsium karbonat (CaCO₃) presipitasi. Pengendapan kalsium karbonat bertindak pengikat antar sel yang merangsang proses sementasi di antara butiran tanah. Penerapan teknologi biogrouting atau re-mediasi untuk stabilisasi tanah, perlu mempertimbangkan jenis tanah dan jenis mikroorganisme yang digunakan sebagai agen biogrouting (Pangesti, 2005).

Penelitian ini diawali dengan beberapa rumusan masalah seperti bagaimana sifat fisik tanah bekas tambang Rataotok yang akan menjadi objek penelitian, bagaimana perubahan stabilitas tanah bekas tambang bilamana distabilisasi dengan dengan mikro-organisme (bakteri Bacillus Subtilis dengan metode re-mediasi serta bagaimana pengaruh pemeraman sampel tanah bekas

tambang yang distabilisasi dengan bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap stabilitas (kepadatan maksimum).

Batasan permasalahan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian ini antara lain bahan atau objek penelitian adalah tanah bekas tambang Ratatotok, bahan stabilisasi yang digunakan adalah bakteri *Bacillus Subtilis* dengan fly ash sebagai bahan tambahan, serta waktu pemeraman sampel tanah setelah di campur Fly ash dan *Bacillus Subtilis* adalah 0 hari, 7 hari, dan 14 hari

Tujuan pokok pelaksanaan penelitian adalah untuk mengetahui sifat fisik tanah bekas tambang yang berada di kecamatan Ratatotok, serta menentukan pengaruh penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis* pada stabilisasi tanah bekas tambang.

2. Landasan Teori

Stabilitas Tanah dalam rekayasa geoteknik adalah sifat mekanis tanah yang menunjukkan kemampuan tanah tetap setimbang dan mantap untuk menerima pembebanan.

Prinsip dasar stabilisasi tanah metode mekanis dengan penambahan zat organik atau anorganik seperti enzim, polimer, resin, jenis bakteri adalah stabilisasi tanah dengan mengubah komposisi fisik dan kimiawi tanah dengan menambahkan admixture sehingga terjadi peningkatan kepadatan dan kohesi serta modulus kekakuan tanah terhadap pembebanan

Bakteri *Bacillus Subtilis* adalah zat mikro-organisme yang menghasilkan CaCO_3 yang dapat mengisi kekosongan (vori) sekaligus sebagai pengikat partikel tanah. Pengendapan *calcium carbonate* (CaCO_3) bertindak sebagai pengikat kristal antar sel untuk merangsang proses sementasi diantara butiran tanah.

Teknologi remediasi dengan secara biologi yang disebut dengan teknologi *bio-remadiasi* melibatkan mikro-organisme yang diinduksi *calcium carbonate* (CaCO_3) presipitasi, metode ini dilakukan dengan cara pencampuran dan pemeraman mikro-organisme dengan tanah untuk menstimulasi proses diagenesi, yaitu proses mentransformasikan butiran pasir menjadi batuan pasir.

3. Metode Penelitian

Benda Uji

Benda uji terdiri dari benda uji tanah asli dengan variasi penambahan air dan benda uji campuran antara tanah asli dengan bahan tambahan ash fly dan bakteri *Bacillus Subtilis* dalam bentuk larutan Reagen Bakteri.

Tabel 1. Konsentrat Larutan Reagen Bakteri

No	Bahan	Kuantitas
1	Bakteri	10 ml
2	Urea	100 gr
3	CaCl_2	10 gr
4	Air	50 ml

Tabel di atas menunjukkan komposisi atau kadar campuran pembuatan konsentrat larutan Reagen Bakteri yang terdiri dari bakteri *Bacillus Subtilis*, Urea, CaCl_2 serta air.

Tabel 2. Komposisi Campuran Benda Uji

No.	Tanah Bekas Tambang (%)	Air (%)	Reagen Bakteri (%)	Fly Ash (%)	Waktu Peram (hari)
A.	Benda Uji Tanah Asli				
1	95.0	5.0	-	-	-

No.	Tanah Bekas Tambang (%)	Air (%)	Reagen Bakteri (%)	Fly Ash (%)	Waktu Peram (hari)
2	92.50	7.5	-	-	-
3	90.00	10.0	-	-	-
4	87.50	12.5	-	-	-
5	85.00	15.0	-	-	-
B Benda Uji Campuran					
1	90.0	-	5.0	5.0	
2	87.5.0	-	7.5	5.0	
3	85.00	-	10.0	5.0	0
4	82.50	-	12.5	5.0	
5	80.00	-	15.0	5.0	
1	90.0	-	5.0	5.0	
2	87.5.0	-	7.5	5.0	
3	85.00	-	10.0	5.0	7
4	82.50	-	12.5	5.0	
5	80.00	-	15.0	5.0	
1	90.0	-	5.0	5.0	
2	87.5.0	-	7.5	5.0	
3	85.00	-	10.0	5.0	14
4	82.50	-	12.5	5.0	
5	80.00	-	15.0	5.0	

Tabel di atas menunjukkan variasi kadar atau komposisi campuran antara tanah asli dengan bahan tambahan (air, ash fly dan larutan reagen bakteri). Metode pembuatan benda uji adalah dengan 2000 gr sampel tanah asli, kemudian ditambah dengan porsi bahan tambah sesuai dengan kadar rencana (% berat tanah asli).

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian Pendahuluan

Tabel 3 menunjukkan klasifikasi tanah bekas tambang Ratatotok yang menjadi objek dalam penelitian ini sebagaimana hasil penelitian pendahuluan.

Tabel 3. Sifat-sifat fisik tanah bekas tambang Ratatotok

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil
1.	Analisa Saringan		
	Lolos Saringan No.4	%	100.00
	Lolos Saringan No.40	%	32.00

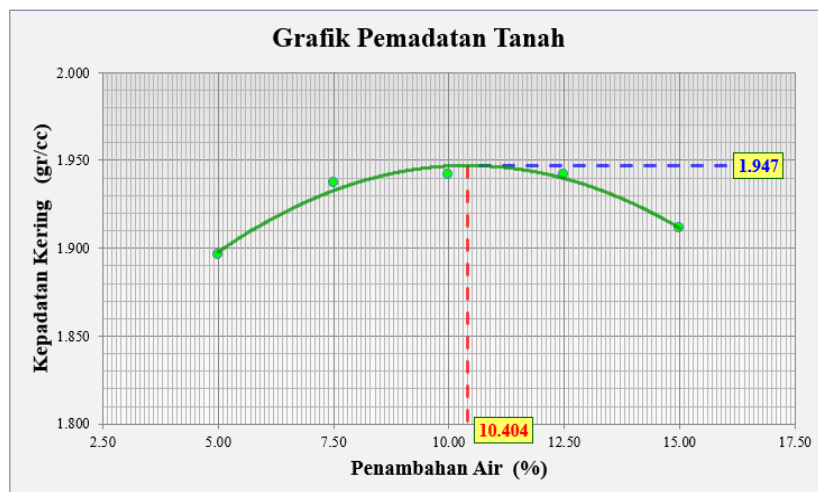
No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil
	Lolos Saringan No. 200	%	9.91
2.	Berat Spesifik		2,556
3.	Kadar Air	%	1.150

Berdasarkan klasifikasi USCS menjelaskan lebih dari 50 % Fraksi Kasar Lolos Saringan No.4 adalah jenis Pasir dengan butiran halus berlanau (SM) atau berlempung (SC) dan klasifikasi AASHTO menyatakan bahwa tanah yang 35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan no.200 adalah tanah berbutir dan yang lolos saringan no.40 maks. 50 % serta lolos saringan no.200 maks 10 % termasuk kelompok A3 (Pasir Halus), sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah bekas tambang Ratatotok termasuk klasifikasi “Tanah berpasir dengan butiran halus”

Penelitian Utama

a. Kepadatan Kering Maksimum Tanah Asli

Grafik hasil pengujian Proctor Standar :



Gambar 1. Grafik Hasil Uji Kepadatan dengan Benda Uji Sampel Tanah Asli

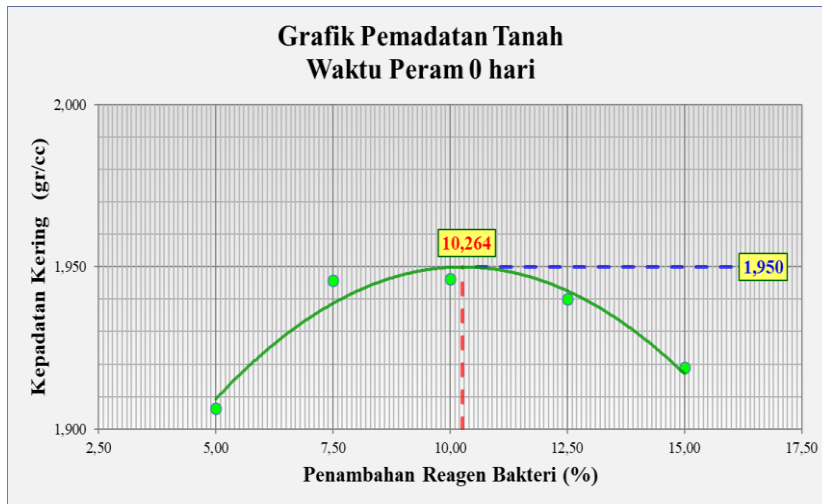
Sifat mekanis tanah asli (bekas tambang Ratatotok) tanpa penambahan bahan tambahan (bio-remediasi) dengan cara pemadatan mekanis melalui pengujian Proctor Standar menghasilkan “kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) = 1.947 t/m² pada kondisi kadar air optimum $w_{optimum}$ = 10.404 %.

b. Kepadatan Kering Maksimum Tanah Campuran

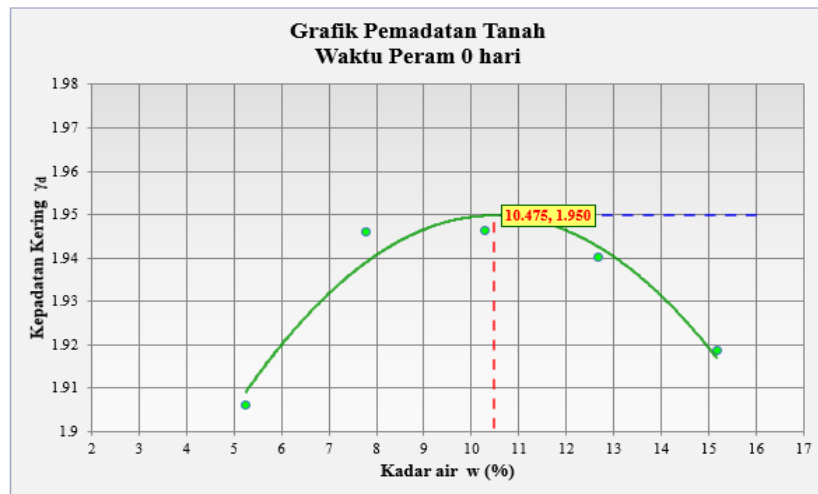
• Waktu Peram 0 hari

Pada kondisi waktu peram = 0 hari (Gambar 2) Uji Proctor Standar menghasilkan “kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) = 1.950 t/m², dan kadar penambahan reagen bakteri = 10.264 % (optimum).

Gambar 3 menunjukkan hasil uji Proctor Standar pada sampel dengan waktu peram = 0 hari menghasilkan “kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) = 1.950 t/m² pada kadar air optimum $w_{optimum}$ = 10.476 %.

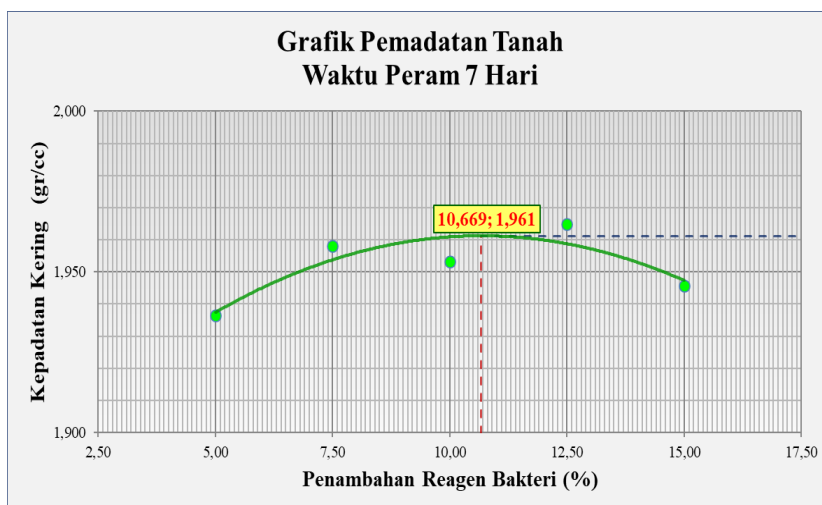


Gambar 2. Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Penambahan Reagen Bakteri (Benda Uji Campuran, waktu peram 0 hari)



Gambar 3. Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Kadar Air (Benda Uji Campuran, waktu peram 0 hari)

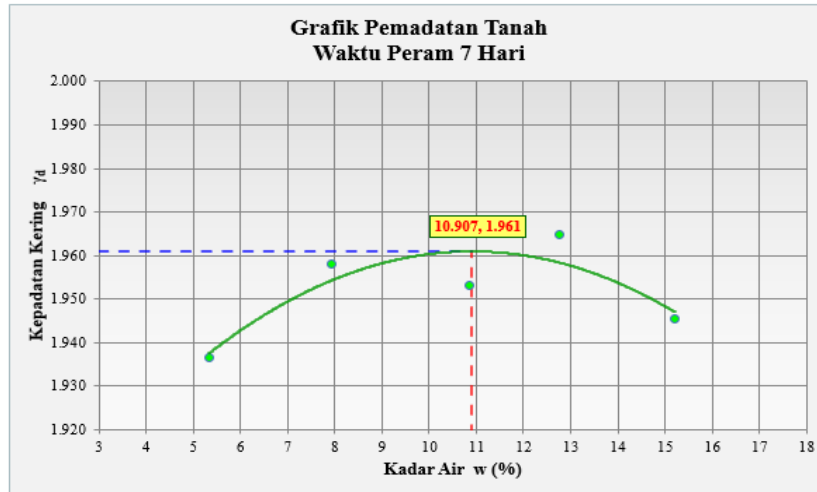
- **Waktu Peram 7 hari**



Gambar 4. Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Penambahan Reagen Bakteri (Benda Uji Campuran, waktu peram 7 hari)

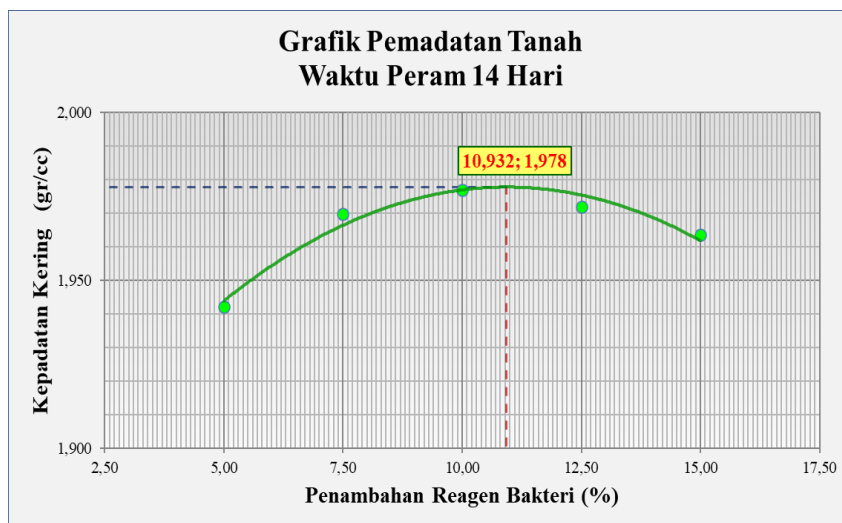
Gambar 4 menunjukkan hasil Uji Proctor Standar dengan waktu peram = 7 hari, “kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) = 1.961 t/m², dan kadar penambahan reagen bakteri = 10.669 % (optimum).

Gambar 5 menunjukkan hasil uji Proctor Standar pada sampel dengan waktu peram = 7 hari menghasilkan “kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) = 1.961 t/m² pada kadar air optimum $w_{optimum}$ = 10.907 %.



Gambar 5. Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Kadar Air (Benda Uji Campuran, waktu peram 7 hari)

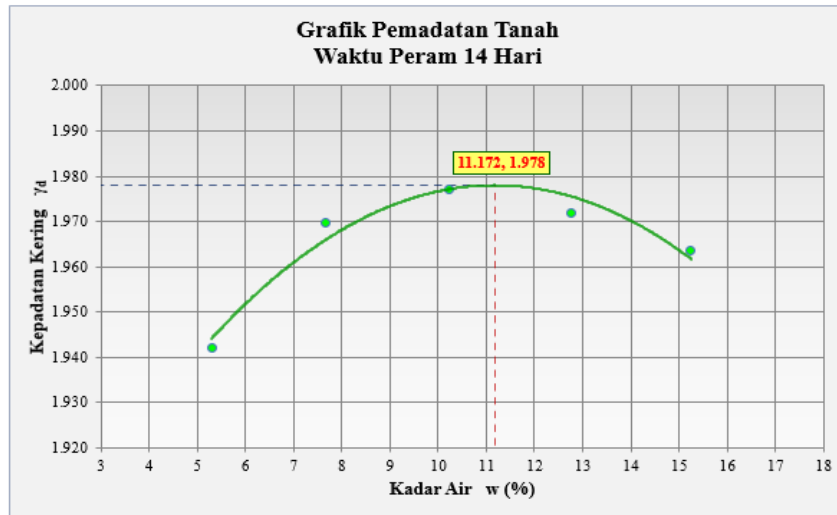
- **Waktu Peram 14 hari**



Gambar 6. Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Penambahan Reagen Bakteri (Benda Uji Campuran, waktu peram 14 hari)

Gambar 6 menunjukkan hasil Uji Proctor Standar dengan waktu peram = 14 hari, “kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) = 1.978 t/m², dan kadar penambahan reagen bakteri = 10.932 % (optimum).

Gambar 7 menunjukkan hasil uji Proctor Standar pada sampel dengan waktu peram = 14 hari menghasilkan “kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) = 1.978 t/m² pada kadar air optimum $w_{optimum}$ = 11.172 %.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Kadar Air (Benda Uji Campuran, waktu peram 14 hari)

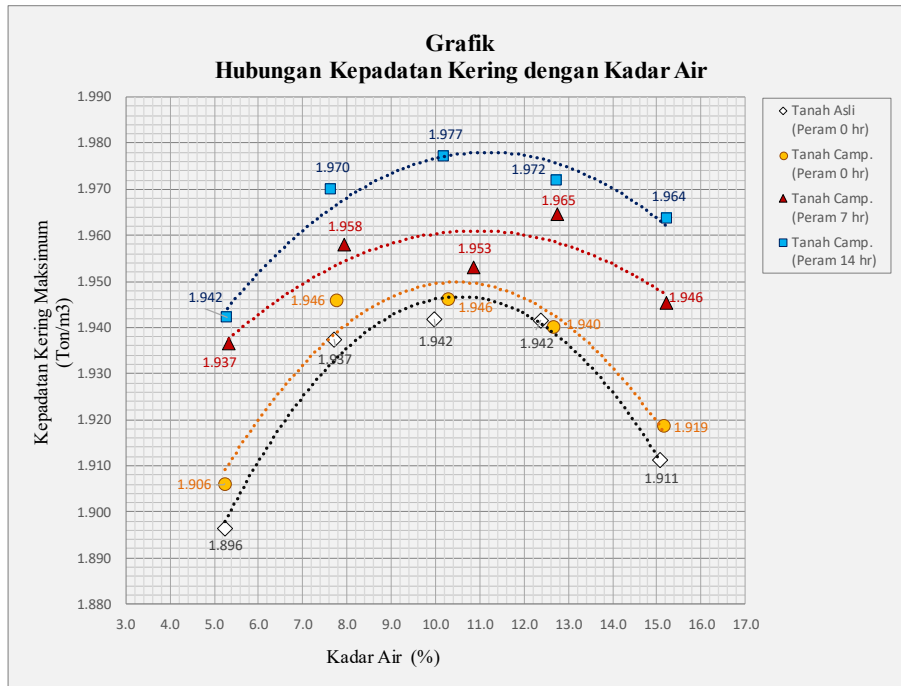
c. Rangkuman Hasil Penelitian

Data hasil akhir penelitian secara keseluruhan :

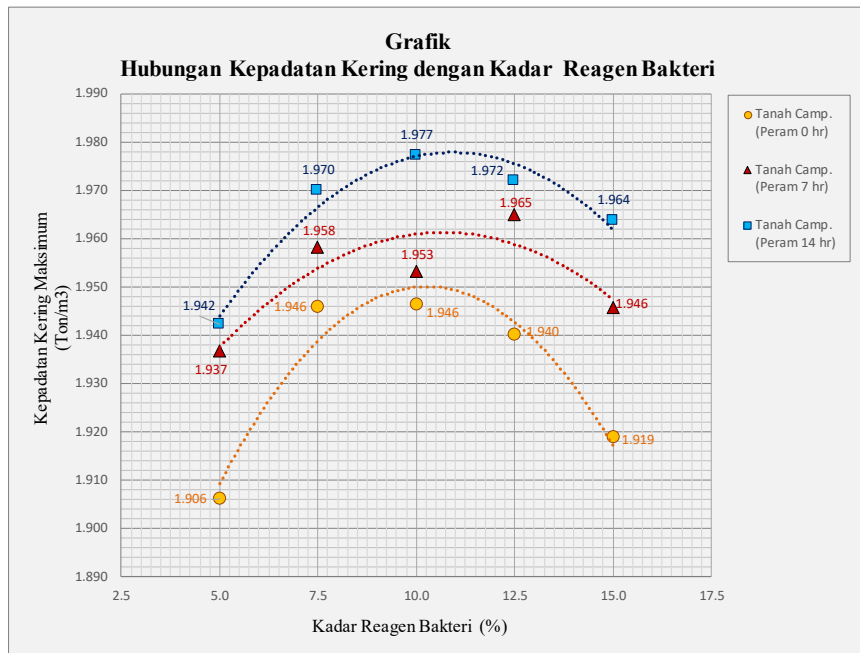
Tabel 4. Rangkuman Hasil Pengujian Pemadatan

No.	Jenis Benda Uji	Waktu Peram (hari)	Hasil Pengujian			Pengaruh Stabilisasi dengan Bakteri Bacillus Subtilis terhadap $\gamma_{dry maks}$ (%)
			γ_{dmaks} (t/m ²)	Kadar Air (%)	Kadar Reagen Bakteri (%)	
1.	Tanah Asli	0	1.947	10.404	-	-
2.	Tanah Asli + (Variasi Campuran)*	0	1.950	10.476	10.264	0.154
		7	1.961	10.907	10.669	0.719
		14	1.978	11.172	10,932	1.592

Potensi atau pengaruh stabilisasi tanah bekas tambang Ratatotok dengan Bakteri Bacillus Subtilis terhadap kepadatan kering maksimum (Tabel 4) menunjukkan peningkatan 0.154 % pada waktu peram 0 hari, 0.719 % pada waktu peram 7 hari dan 1,592 % pada waktu pemeraman 14 hari.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Kadar Air



Gambar 9. Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Penambahan Reagen Bakteri

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan pengaruh stabilisasi tanah dengan bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap nilai kepadatan kering maksimum tanah bekas tambang Ratatotok, dimana semakin lama waktu peram nilai kepadatan kering maksimum juga mengalami kenaikan yang cukup berarti.

Tabel 5 menunjukkan korelasi antara kadar penambahan larutan “Reagen Bakteri” dengan “Kadar Air” terhadap Kepadatan Kering (γ dry), dimana variasi sampel dengan waktu peram 0 hari dengan kadar penambahan “Reagen Bateria” 5.0 % menghasilkan kadar air sampel 5.236 % dan “Kepadatan Kering γ dry = 1.896 ton/m³.”

Demikian seterusnya sampai dengan variasi sampel dengan waktu peram 14 hari dengan kadar penambahan “Reagen Bakteri” 15.0 % menghasilkan kadar air sampel 15.252 % dan “Kepadatan Kering γ dry = 1.1964 ton/m³

Tabel 5. Korelasi antara Kadar Reagen Bakteri dengan Kadar Air terhadap Kepadatan Kering

Sampel		Kadar Reagen Bakteri (%)	Kadar Air (%)	Kepadatan Kering (γ dry) (Ton/m ³)
Waktu Peram (hari)	No.			
0	1	5.0	5.224	1.906
	2	7.5	7.775	1.946
	3	10.0	10.277	1.946
	4	12.5	12.675	1.940
	5	15.0	15.173	1.919
7	1	5.0	5.327	1.937
	2	7.5	7.935	1.958
	3	10.0	10.860	1.953
	4	12.5	12.748	1.965
	5	15.0	15.209	1.946
14	1	5.0	5.292	1.942
	2	7.5	7.662	1.970
	3	10.0	10.213	1.977
	4	12.5	12.752	1.972
	5	15.0	15.252	1.964

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan terhadap seluruh data hasil penelitian pendahuluan dan penelitian utama dan memperhatikan seluruh tahapan pelaksanaan penelitian, maka kesimpulan yang dapat diambil yang berhubungan dengan potensi penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis* untuk stabilisasi tanah (tanah bekas tambang) adalah sebagai berikut :

1. Sifat-sifat fisik tanah bekas tambang yang menjadi objek penelitian adalah tanah pasir halus berlanau non kohesif dengan berat spesifik 2.556 dan kadar air sebagai sampel adalah 1.150 %
2. Penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis* dalam bentuk larutan reagen bakteri dalam proses stabilisasi tanah dengan cara mencampur secara langsung dengan sampel tanah (bio-remediasi) dapat meningkatkan stabilitas tanah melalui peningkatan nilai kepadatan kering maksimum tanah asli adalah 1,947 t/m² meningkat menjadi 1.978 t/m² kepadatan maksimum tanah setelah distabilisasi dengan waktu peram 14 hari.
3. Peningkatan kepadatan kering maksimum pada benda uji variasi campuran berbanding lurus dengan peningkatan waktu peram sampel uji. Hal ini terlihat dari data waktu peram 0 hari kepadatan kering maksimum adalah 1.950 t/m², waktu peram 7 (tujuh) hari kepadatan kering maksimum adalah 1.961 t/m² dan pada waktu peram 14 (empat belas) hari kepadatan kering maksimum mencapai 1.978 t/m².

Referensi

- Akiyama, Masaru. 2010. *Microbially mediated sand solidification using calcium phosphate compounds*, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Kata 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8628, Japan.
- Angelina Lynda, 2013. *Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Metode Stabilisasi Biogrouting Bakteri Bacillus Subtilis*

- Afriani, 2008. *Pengaruh Penambahan Tanah Pasir Pada Tanah Lempung*
- Amarullah, R. (2021). *Perbaikan Permeabilitas Tanah Gambut Menggunakan Campuran Pasir dan Teknik Bio-grouting Berbahan Bakteri (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau)*.
- Darwis, H., & Sc, M. (2018). *Dasar-dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- DeJong, J.T. (2006). *Teknologi Grouting Secara Biologi Yang Di Kenal Dengan Teknologi Biogrouting Melalui Mekanisme Pengendapan Kalsium Karbonat*
- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Fujita, Y. (2004). *Strontium incorporation into calcite generated by bacterial ureolysis*. *Geochimica et cosmochimica acta*, 68(15), 3261-3270.
- Karol, RH. 2003. *Chemical Grouting and Soil Stabilization*. New York. P558.
- Mochtar, NE, Yulianto FE dan Rendy ST. 2014. *Pengaruh Usia Stabilisasi Tanah Gambut Beserta yang Distabilisasi dengan Campuran CaCo₃*. *Jurnal Teknik Sipil*. Surabaya. 21(1): 50-64
- Multhaza, U. (2022). *Potensi Penggunaan Bahan Pembena Tanah Untuk Stabilisasi Tanah Bekas Tambang Emas Desa Kalirejo, Kulonprogo Di Yogyakarta*.
- Nugroho, 2012 *Stabilisasi Tanah Gambut Riau Menggunakan Campuran Tanah Non Organik Dan Semen Sebagai Bahan Timbunan Jalan*
- Parapaga, R. T., Sarajar, A. N., & Legrans, R. I. (2018). *Pengaruh Penambahan Zeolite Terhadap Kuat Geser Pada Tanah Berlempung*. *Jurnal Sipil Statik*, 6(7).
- Setianto, T. E. (2016). *Studi Pengaruh Mikrobakteri Terhadap Permeabilitas dan Kuat Geser Tanah Lempung dengan Variasi Waktu Pemeraman*.
- Setianwan, 2014, *dalam penelitiannya tentang pengaruh tanah organik pada kondisi optimum, wet side of optimum dan dry side of optimum terhadap kuat tekan*.
- Syarif dkk, (2019), *Penerapan Teknik Biocementation oleh Bacillus Subtilis Dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Tanah Organik*.
- SNI 1965-2008 *Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah Dan Batuan Di Laboratorium*
- SNI 1964-2008 *Cara Uji Berat Jenis Tanah*
- SNI 8460-2017 *Persyaratan Perancangan Geoteknik*
- Van De Meene. 1984. *Geological Aspects of Peat Formation in The Indonesian- Malayasin Lowlands, Bulletin Geological Research and Development Centre*, 9, 20-31.
- Wuisan, I. R., Ticoh, J. H., & Rondonuwu, S. G. (2021). *Stabilisasi Tanah Pasir Berlempung Menggunakan Campuran Kapur Dan Garam Dapur Terhadap Nilai CBR*. *TEKNO*, 19(77).