

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga laporan skripsi berjudul “STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN METODE *BIOGROUTING* MENGGUNAKAN BAKTERI *Bacillus subtilis* DAN *Bacillus amyloliquefaciens* DENGAN TAMBAHAN LIMBAH CANGKANG KERANG” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktunya.

Laporan skripsi ini disusun berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dari September 2020 hingga Januari 2021. Skripsi merupakan persyaratan terakhir bagi mahasiswa yang wajib ditempuh sesuai kurikulum Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan. Skripsi ini juga bermanfaat bagi penulis untuk menerapkan pengetahuan yang telah didapat dan memperoleh pengalaman baru yang tidak diperoleh dari perkuliahan.

Dalam penyusunan laporan skripsi ini, penulis mendapat dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Eric Jobiliong, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan.
2. Ibu Dr. Nuri Arum Anugrahati, selaku Wakil Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan.
3. Bapak Laurence, M.T., selaku Direktur Administrasi dan Kemahasiswaan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan.
4. Bapak Sadvent Martondang Purba, S.T., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
5. Bapak Dr.-Ing. Jack Widjajakusuma, selaku pembimbing akademik angkatan 2016 dan selaku pembimbing tugas akhir penulis yang telah membimbing, mendukung, dan memberi arahan selama perkuliahan serta pengerjaan laporan tugas akhir.
6. Ibu Marcellia Sugata, S.Si., M.Sc., selaku co-pembimbing yang telah membantu dan membimbing penulis selama pengujian di Laboratorium

Biologi Dasar dan Lanjutan, serta mengajarkan materi mengenai bakteri dan medium kultur.

7. Bu Dela Rosa, M.M., M.Sc., Apt., yang telah membantu dan membimbing penulis selama pengujian di Laboratorium Kimia.
8. Bapak Pana Hutapea, S.T., Bapak Stefanus, Bapak Yusuf, dan Bapak Darius yang telah membantu dan membimbing dalam melaksanakan pengujian laboratorium selama penelitian ini.
9. Kedua Orang Tua, Victorio, Christabel, Theresia, dan Wenny selaku keluarga penulis yang selalu mendoakan dan memberi dukugan serta semangat sejak awal perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
10. Carlos Kansius, Johannes Tamal, dan Debby Oktaviana selaku saudara penulis yang selalu mendukung dan membantu selama masa perkuliahan.
11. Ester Idha, Gamaliel Jeevan, Tiffany Salim, Ghevereth Shelah, El Grace, Saprina Vania selaku teman penulis yang memberikan semangat, dukungan, ide, saran, dan doa selama masa pengambilan data, pengolahan data, pengujian, dan penulisan laporan skripsi.
12. Felicia, Gary, Imam, Julian, Reinaldo, Ronny, dan Wilson Lolo selaku sahabat terdekat selama perkuliahan yang selalu mendukung dan menemani penulis.
13. Andy, Josua, Kenny, Mike, Ricky, Teddy, Willy, Wilson Budiman, dan seluruh mahasiswa Teknik Sipil UPH 2015, 2016, 2017 yang memberi dukungan, bantuan, dan pertemanan selama perkuliahan dan penyelesaian skripsi.
14. Andi, Jane, Jimtiory, Kevin Setiawan, Liana, Marsha, Oscar, Tiffany Wilar, Valerie, Wenny Lay, William, grup PEMO, dan grup Great Team selaku teman semasa sekolah penulis.
15. Semua pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu, mendukung, dan mendoakan penulis selama perkuliahan dan penulisan laporan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka akan kritik dan saran dari pembaca yang dapat membantu membuat laporan skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Tangerang, 26 Februari 2021

(Christopher Leonard Suryanto)



DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL.....	
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN UNGGAH TUGAS AKHIR	
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI	
PERSETUJUAN TIM PENGUJI SKRIPSI.....	
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Penelitian.....	4
1.5. Hipotesis Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tanah	8
2.2. Sistem Klasifikasi Tanah	9
2.3. Tanah Lempung Ekspansif	12
2.4. Mineral Lempung	13
2.5. Pengujian Tanah	19
2.5.1. <i>Free Swell Index</i>	19
2.5.2. <i>Direct Shear Test</i>	20
2.5.3. <i>Triaxial Unconsolidated Undrained Test</i>	21
2.6. Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif.....	22
2.7. <i>Biogrouting</i>	24
2.8. Medium Kultur Bakteri	27
2.9. Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	28
2.10. Bakteri <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	29
2.11. Limbah Cangkang Kerang.....	30
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Skematik Penelitian	31
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	31
3.3. Variabel Penelitian	33
3.4. Pembuatan Medium Kultur dan Kultur Cair Bakteri.....	34
3.4.1. Pembakaran Cangkang Kerang Semping.....	34
3.4.2. Pembuatan Medium Kultur	37

3.4.3.	Proses Inokulasi Bakteri	41
3.4.	Pembuatan dan Persiapan Sampel Uji.....	43
3.5.	Pengujian Analisis <i>Free Swell Index</i>	44
3.6.	Pengujian Sifat Mekanis Tanah.....	45
3.6.1	Pengujian <i>Direct Shear</i>	46
3.6.2	Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i>	48
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Pendahuluan.....	52
4.2.	Hasil Pengujian <i>Free Swell Index</i>	52
4.3.	Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah	53
4.3.1.	Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	54
4.3.2.	Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> ..	66
4.4.	Analisis Data dan Pembahasan.....	78
4.4.1.	Analisis Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	78
4.4.2.	Analisis Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i>	81
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1.	Umum	83
5.2.	Kesimpulan.....	83
5.3.	Saran	84
DAFTAR PUSTAKA		85
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1	Diagram fase elemen tanah 9
Gambar 2.2	Sistem klasifikasi tanah berbutir kasar USCS 10
Gambar 2.3	Sistem klasifikasi tanah berbutir halus USCS 11
Gambar 2.4	Sistem klasifikasi tanah AASHTO 12
Gambar 2.5	Struktur Dasar Mineral Lempung..... 13
Gambar 2.6	Diagram Skematik Struktur Kaolinit..... 15
Gambar 2.7	StrukturAtom Kaolinit..... 15
Gambar 2.8	Diagram Skematik Struktur Illit 16
Gambar 2.9	Diagram Skematik Struktur Montmorilonit 17
Gambar 2.10	Molekul Air Dipolar dalam Lapisan Ganda 18
Gambar 3.1	Skematik Penelitian 31
Gambar 3.2	Lokasi Pengambilan Sampel Uji Tanah Lempung Ekspansif 32
Gambar 3.3	Cangkang kerang pada wadah tanah liat 35
Gambar 3.4	Pemanasan sampel tanah dengan tungku 36
Gambar 3.5	Pengecekan temperatur..... 36
Gambar 3.6	<i>Dextrose, Yeast Extract, dan Nutrient Broth</i> 38
Gambar 3.7	Penimbangan <i>yeast extract, dextrose, dan calcium oxide</i> 39
Gambar 3.8	Penimbangan <i>nutrient broth</i> 39
Gambar 3.9	Pengisian botol vial dengan pipet..... 40
Gambar 3.10	Autoklaf..... 40
Gambar 3.11	Proses inokulasi 42
Gambar 3.12	<i>Incubator shaker</i> 42
Gambar 3.13	Proses pencetakan sampel uji <i>direct shear</i> 44
Gambar 3.14	Tanah dalam gelas ukur yang berisi air dan minyak tanah 45
Gambar 3.15	Mesin uji <i>direct shear</i> 47
Gambar 3.16	Keruntuhan sampel uji..... 48
Gambar 3.17	Sampel uji dilapisi membran 50
Gambar 3.18	Pengisian air pada sel 50
Gambar 3.19	Keruntuhan sampel uji..... 51
Gambar 4.1	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (Tanah A) 55
Gambar 4.2	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (Tanah A)..... 55
Gambar 4.3	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (Tanah B) 56
Gambar 4.4	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (Tanah B) 56
Gambar 4.5	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (SM10.1, 30 hari)..... 57
Gambar 4.6	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (SM10.1, 30 hari). 58
Gambar 4.7	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (LK3, 30 hari) 58
Gambar 4.8	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (LK3, 30 hari) .. 59
Gambar 4.9	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (medium, 30 hari)..... 59
Gambar 4.10	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (medium, 30 hari) 60

Gambar 4.11	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (<i>amyloliquefaciens</i> , 30 hari).	60
Gambar 4.12	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (<i>amyloliquefaciens</i> , 30hari).....	61
Gambar 4.13	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (SM10.1, 60 hari).....	62
Gambar 4.14	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (SM10.1, 60 hari).	62
Gambar 4.15	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (LK3, 60 hari)	63
Gambar 4.16	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (LK3, 60 hari) ..	63
Gambar 4.17	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (medium, 60 hari).....	64
Gambar 4.18	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (medium, 60 hari)	64
Gambar 4.19	Grafik hubungan ΔH dan <i>shear stress</i> (<i>amyloliquefaciens</i> , 60 hari).	65
Gambar 4.20	Grafik hubungan <i>normal stress</i> dan <i>shear stress</i> (<i>amyloliquefaciens</i> , 60 hari).....	65
Gambar 4.21	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (Tanah A)	67
Gambar 4.22	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (Tanah A).....	67
Gambar 4.23	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (Tanah B).....	68
Gambar 4.24	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (Tanah B)	68
Gambar 4.25	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (SM10.1, 30 hari)	69
Gambar 4.26	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (SM10.1, 30 hari).....	70
Gambar 4.27	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (LK3, 30 hari).....	70
Gambar 4.28	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (LK3, 30 hari)	71
Gambar 4.29	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (medium, 30 hari)	71
Gambar 4.30	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (medium, 30 hari).....	72
Gambar 4.31	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (<i>amyloliquefaciens</i> , 30 hari) 72	
Gambar 4.32	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (<i>amyloliquefaciens</i> , 30 hari)....	73
Gambar 4.33	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (SM10.1, 60 hari)	74
Gambar 4.34	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (SM10.1, 60 hari).....	74
Gambar 4.35	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (LK3, 60 hari).....	75
Gambar 4.36	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (LK3, 60 hari)	75
Gambar 4.37	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (medium, 60 hari).....	76
Gambar 4.38	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (medium, 60 hari).....	76
Gambar 4.39	Grafik hubungan <i>unit strain</i> dan $\Delta\sigma$ (<i>amyloliquefaciens</i> , 60 hari) 77	
Gambar 4.40	Grafik diagram mohr <i>triaxial UU</i> (<i>amyloliquefaciens</i> , 60 hari)....	77
Gambar 4.41	Grafik hubungan nilai kohesi terhadap masa pemeliharaan (<i>direct shear</i>).....	79
Gambar 4.42	Grafik hubungan nilai sudut geser terhadap masa pemeliharaan (<i>direct shear</i>)	80
Gambar 4.43	Grafik hubungan nilai kohesi terhadap masa pemeliharaan (<i>triaxial unconsolidated undrained</i>).....	82

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1	Karakteristik derajat ekspansif tanah (Mohan and Goel 1959) 19
Tabel 4.1	Hasil pengujian <i>Free Swell Index</i> (tanah asli) 52
Tabel 4.2	Hasil pengujian <i>Free Swell Index</i> (30 hari) 53
Tabel 4.3	Hasil pengujian <i>Free Swell Index</i> (60 hari) 53
Tabel 4.4	Nilai diameter (d), area, dan LRC <i>direct shear test</i> 54
Tabel 4.5	Berat sampel uji tanah asli <i>direct shear</i> 54
Tabel 4.6	Berat sampel uji <i>direct shear</i> 30 hari 57
Tabel 4.7	Berat sampel uji <i>direct shear</i> 60 hari 61
Tabel 4.8	Nilai diameter (d), tinggi, area, dan LRC <i>triaxial unconsolidated undrained</i> 66
Tabel 4.9	Berat sampel uji tanah asli triaxial UU 66
Tabel 4.10	Berat sampel uji <i>triaxial UU</i> 30 hari 69
Tabel 4.11	Berat sampel uji <i>triaxial UU</i> 60 hari 73
Tabel 4.12	Rangkuman nilai kohesi hasil pengujian <i>direct shear</i> 78
Tabel 4.13	Rangkuman nilai sudut geser tanah hasil pengujian <i>direct shear</i> . 79
Tabel 4.14	Rangkuman nilai kohesi hasil pengujian <i>triaxial unconsolidated undrained</i> 81

DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran A	
Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> Tanah Asli.....	A-1
Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> Tanah A.....	A-1
Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> Tanah B.....	A-2
Lampiran B	
Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> 30 Hari.....	B-1
Hasil Pengujian <i>Direct Shear Bacillus subtilis</i> SM10.1.....	B-1
Hasil Pengujian <i>Direct Shear Bacillus subtilis</i> LK3.....	B-2
Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> Medium.....	B-2
Hasil Pengujian <i>Direct Shear Bacillus amyloliquefaciens</i>	B-3
Lampiran C	
Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> 60 Hari.....	C-1
Hasil Pengujian <i>Direct Shear Bacillus subtilis</i> SM10.1.....	C-1
Hasil Pengujian <i>Direct Shear Bacillus subtilis</i> LK3.....	C-1
Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> Medium.....	C-2
Hasil Pengujian <i>Direct Shear Bacillus amyloliquefaciens</i>	C-2
Lampiran D	
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> Tanah Asli.....	D-1
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> Tanah A.....	D-1
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> terisi.....	D-3
Lampiran E	
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> 30 Hari.....	E-1
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> <i>Bacillus subtilis</i> SM10.1.....	E-1
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> <i>Bacillus subtilis</i> LK3.....	E-3
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> Medium.....	E-6
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained Bacillus</i> <i>amyloliquefaciens</i>	E-9
Lampiran F	
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> 60 Hari.....	F-1
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained Bacillus subtilis</i> SM10.1.....	F-1
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained Bacillus subtilis</i> LK3.....	F-4
Hasil Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i> Medium.....	F-7

Hasil Pengujian *Triaxial Unconsolidated Undrained Bacillus amyloliquefaciens*.....F-9

