

PERILAKU TANAH EKSPANSIF YANG DITAMBAHKAN LAPISAN GEOTEXTILE TERHADAP DAYA DUKUNGNYA

Sutikno¹ dan Endang Kamdari²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Baru UI Depok, 16425.

e-mail : sutikno@sipil.pnj.ac.id, endangkamdari@sipil.pnj.ac.id

ABSTRACT

There are many problems regarding expansive soils, including the magnitude of stability (CBR) and swelling due to the compaction process, fluctuating water content. The compaction process is carried out layer by layer (field/laboratory), in accordance with the laboratory compaction process, layers of sand are given, so that the arrangement is alternate (5 layers). Each layer is given a membrane / sheet of geotextile. The conclusions obtained are: The amount of swelling in the compaction test with Modified Compaction in soaked conditions is 12.7%, this illustrates that the expansive soil sample from Lippo Cikarang is in the category of high development potential; The stability of the subgrade soil as part of the road body is given by the CBR value, the stability in the study with 5 layers, the formation is soil + sand + soil + sand + soil, with a geotextile layer (G1) of 14.9%, G2 of 16.85%, and G3 by 10.73%, and G4 formation by 6.53%. The magnitude of stability (CBR) and expansion of the expansive soil from Lippo Cikarang which was compacted according to the Modified Compaction was 5.45% (original soil), while the swelling was 12.7 %; The provision of geotextile membranes for the G3 and G4 formations has a positive effect, namely swelling below the original soil swelling value so that it provides development below the original soil value.

Keywords: CBR and swelling, geotextile, compaction, expansive soil.

ABSTRAK

Banyak permasalahan mengenai tanah ekspansif, antara lain besarnya stabilitas (CBR) dan pengembangan akibat proses pemadatan, kadar air yang berfluktuasi. Proses pemadatan dilakukan lapis demi lapis (lapangan/laboratorium), sesuai dengan proses pemadatan laboratorium, diberikan lapisan pasir, sehingga susunannya bergantian (5 lapis). Setiap lapisan diberi membran/lembaran geotekstil. Kesimpulan yang diperoleh adalah : Besarnya pengembangan pada uji pemadatan dengan Modified Compaction pada kondisi basah adalah 12,7%, hal ini menggambarkan bahwa sampel tanah ekspansif dari Lippo Cikarang termasuk kategori potensi pengembangan tinggi; Stabilitas tanah dasar sebagai bagian dari badan jalan diberikan oleh nilai CBR, stabilitas pada studi dengan 5 lapisan, formasinya adalah tanah + pasir + tanah + pasir + tanah, dengan lapisan geotekstil (G1) sebesar 14,9 %, G2 sebesar 16,85%, dan G3 sebesar 10,73%, serta pembentukan G4 sebesar 6,53%. Besarnya stabilitas (CBR) dan muai tanah ekspansif dari Lippo Cikarang yang dipadatkan menurut Modified Compaction adalah 5,45% (tanah asli), sedangkan pengembangannya adalah 12,7%; Pemberian membran geotekstil untuk formasi G3 dan G4 memberikan pengaruh positif yaitu pembengkakan di bawah nilai pembengkakan tanah asli sehingga memberikan perkembangan di bawah nilai pembengkakan tanah asli.

Kata kunci: CBR dan pengembangan, geotekstil, pemadatan, tanah ekspansif.

PENDAHULUAN

Salah satu jenis tanah yang mempunyai banyak masalah dalam pembangunan konstruksi pada umumnya dan konstruksi jalan khususnya adalah tanah ekspansif. Tanah jenis ini mempunyai

sifat kembang-susut sangat tinggi dan tergantung pada mineral pembentuknya [1]. Tanah ekspansif akan mengembang dan memberikan tekanan yang dapat merusak konstruksi di atasnya apabila terjadi perubahan kadar airnya. Pada umumnya komposisi tanah berisi lebih dari satu macam, misalnya terdiri dari

clay, silt, sand dll. Tanah akan menjadi ekspansif jika lempung (*clay*) banyak mengandung mineral *Montmorillonite* [2].

Dalam stabilisasi tanah atau *soil improvement* pada tanah ekspansif umumnya *treatment* diberikan ke pengurangan atau reduksi sifat mengembang dari mineral *Montmorillonite*, yaitu dengan batu gamping (*limestone*). Bahan stabilisasi ini mudah ditemukan di berbagai daerah, karena merupakan produk usaha kecil di pedesaan.

Stabilisasi untuk tanah dasar jalan dilakukan dengan pemadatan untuk memperoleh nilai kepadatan (*density*) yang lebih besar, meningkatkan kekuatan geser, menurunkan angka permeabilitas, mempercepat konsolidasi [3]. Uji yang dilakukan umumnya pemadatan (*compaction*), baik standar maupun *modified* tergantung kondisi pembebanan di lapangan nantinya. Studi yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan memberikan lapisan-lapisan pasir (*sand*) pada saat pemadatan (*compaction*) dilakukan, formasi lapisan pasir dibuat selang-seling sesuai jumlah lapisan pada pemadatan (5 lapis).

Dipilihnya pasir (*sand*) sebagai material pelapis dan penambah karena mempunyai sifat dapat meredam dan meratakan pengembangan yang disertai dengan tekanan dari lempung ekspansif. Hal demikian sering kita lihat pada pemberian lapisan pasir di bawah pondasi batu kali atau di bawah lantai kerja pondasi setempat maupun pondasi menerus.

Upaya pemadatan dengan memberi lapisan pasir pada tanah ekspansif yang cenderung mengembang (*swelling volume*) dan disertai dengan *swelling pressure* diharapkan dapat diterapkan pada tanah dasar pada konstruksi jalan. Dengan demikian pasir dapat berfungsi sebagai peredam akibat *swelling volume*

dan *swelling pressure*. [2]. Tanah-tanah yang tidak kohesif tidak dapat secara langsung dipadatkan dengan mempergunakan metode impak maupun metode menekan. Tanah ini dapat dipadatkan dengan mempergunakan tekanan statis terkekang (*confined static compression*). Di dalam laboratorium, tanah yang tidak kohesif dipadatkan dengan mengekang lapisan-lapisan tanah kering di dalam acuan pematat dan meratakan sisinya dengan alat perata dari karet.

Agar diperoleh hasil yang sebaik-baiknya, dalam upaya melakukan pemadatan diperlukan sejumlah air sebagai pelumas agar butir-butir tanah dapat lebih mendekat satu sama lain. Apabila air yang diperlukan kurang dari yang seharusnya maka nilai kepadatan akan kecil, dan sebaliknya apabila terlalu banyak air maka nilai kepadatan yang diperoleh akan turun lagi. Jadi air yang diperlukan harus optimal untuk mendapatkan kepadatan yang maksimal [4].

Tujuan penelitian ini adalah :

- 1). Untuk mengetahui besarnya pengembangan tanah ekspansif yang dipadatkan menurut *Standard Compaction* dan *Modified Compaction* dalam kondisi *soaked*.
- 2). Untuk mengetahui besarnya stabilitas (CBR) dan pengembangan tanah ekspansif yang diberi lapisan pasir dan disusun selang-seling sebanyak 3 lapisan, dimana susunannya terdiri dari : tanah ekspansif + pasir + tanah ekspansif, dimana antar lapisan diberikan *geotextile*.
- 3). Untuk menjajaki seberapa tinggi stabilitas dan pengembangan tanah ekspansif yang diberi lapisan pasir dan disusun berselang-seling sebanyak 5 lapisan, dimana susunannya terdiri dari : pasir + tanah ekspansif + pasir + tanah

ekspansif + pasir, dimana antar lapisan diberikan *geotextile* dan plastik.

4). Untuk mengetahui besarnya stabilitas dan pengembangan tanah ekspansif yang dipadatkan menurut *Standard Compaction* dan *Modified Compaction*.

5). Mengetahui perbedaan stabilitas dan pengembangan antara tanah ekspansif, tanah ekspansif dengan lapisan pasir, tanah ekspansif dengan lapisan pasir dimana antar lapisan diberikan *geotextile*.

6). Mengetahui pengaruh pemberian lapisan pasir dimana antar lapisan diberikan *geotextile* pada tanah ekspansif yang dipadatkan terhadap stabilitas dan pengembangan

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian ini adalah metode eksperimen dengan jenis penelitian deskriptif-asosiatif dan deskriptif-komparatif. Metode ini bertujuan untuk menyelidiki ada-tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab-akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyediakan kontrol untuk perbandingan [5]. Pengujian awal dilakukan terhadap tanah untuk mendapatkan *soil properties* dan pepadatan awal untuk mendapatkan kadar air optimum (ω_{opt}) dan berat isi kering maksimum ($\gamma_{dry, maks}$). Pengujian pepadatan selanjutnya dilakukan terhadap lempung ekspansif dan lempung ekspansif dengan formasi pelapisan pasir, 5 lapis yang disusun selang-seling antara lempung dan pasir sesuai jumlah lapisan pada uji *modified compaction*, uji CBR laboratorium sebagai bentuk stabilisasi akan diujikan ke semuanya formasi tersebut. Peta indeks lokasi pengambilan sampel

(contoh) tanah seperti gambar 1, pengambilan sampel di daerah Komplek Lippo Cikarang atau sekitar Karawang. Daerah ini merupakan bagian dari sebaran tanah ekspansif yang membentang dari Bekasi hingga ke Purwakarta [6]. Diagram alir metode penelitian diuraikan seperti pada gambar 3.



Gambar 1. Peta Indeks Lokasi Pengambilan Sampel (Contoh) Tanah

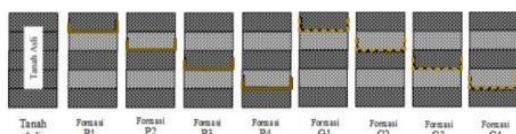
Peralatan penelitian yang dipergunakan menyangkut peralatan pengujian di laboratorium dan pengambilan sampel di lapangan. Untuk alat pengambilan sampel dilapangan terdiri dari: Cangkul, Sekop dll. Alat pengujian di laboratorium terdiri dari: Alat saringan (analisa ayakan); *Compaction* lengkap *standard compaction*; Alat uji *Atterberg*; Alat uji CBR dan *swelling*.

Teknik pengumpulan data. Data awal diperoleh dari pengujian *soil properties* untuk mengklasifikasi jenis tanah, pengujiannya terdiri dari : *Atterberg* limit, analisa ayakan, Gs, uji Mineralogi. Pengujian *compaction* awal dilakukan untuk mendapatkan

$\gamma_{dry, maks}$ dan ω_{opt} sebagai dasar pengujian berikutnya yang terdiri dari : *compaction* dan CBR (*soaked* dan *unsoaked*), *soaked* menggambarkan kondisi terendam, sedangkan *unsoaked* menggambarkan tidak terendam. Kondisi terlemah adalah

pada saat terendam, formasi uji sampel yang terdiri dari:

- Tanah ekspansif (tanah asli) yang dipadatkan menurut *modified Compaction*.
- 5 lapis dengan susunan terdiri dari : tanah + pasir + tanah + pasir + tanah, dimana antar lapisan diberikan *geotextile* (formasi G1 s/d G4, lihat Gambar 2).
- Pengembangan tanah ekspansif (tanah asli) yang dipadatkan menurut *Modified Compaction*.



Gambar 2. Formasi percobaan tanah ekspansif dengan lapisan *geotextile* (G1 s/d G4)

Oleh karena pengujian pemadatan menggunakan pemadatan *Modified* dengan cara *Type B*, pemadatan Berdasarkan *Corps of Engineering CBR Samples* (TM 5-530, “Material Testing”), dimana tinggi tabung (*mould*) sebesar 116,33 mm. Tebal lapisan pada percobaan ini disesuaikan dengan banyak lapisannya, misalnya 5 lapisan maka masing-masing tebalnya 1/5 tinggi tabung. Dalam percobaan ini, untuk mendapatkan data-data yang diperlukan maka dilakukan pengujian-pengujian seperti di bawah ini, semua pengujian menurut standar ASTM [7].

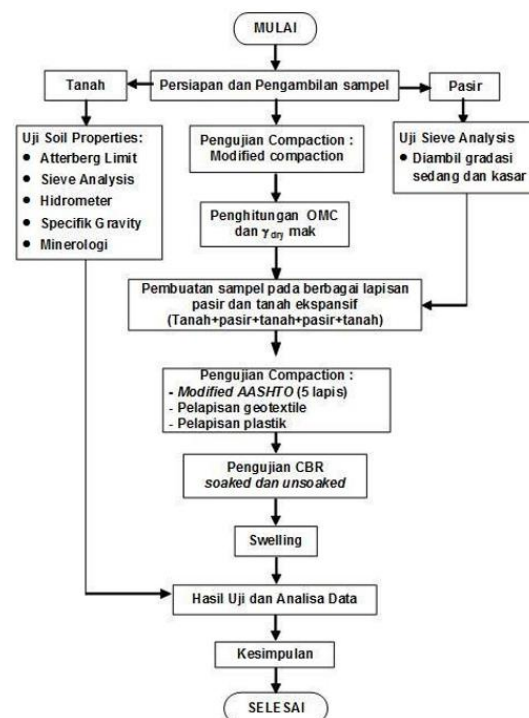
HASIL dan PEMBAHASAN

Melalui pengujian sesuai standar ASTM dengan urutan sesuai diagram alir maka dihasilkan *soil properties* dan parameter teknik tanah, uji pemadatan hanya dilakukan *modified compaction* dan uji CBR. Hasil pengujian indeks properti tanah asli diberikan dalam tabel 1.

Identifikasi tanah ekspansif

Berdasarkan Chen (1988), tanah dengan $IP > 35$, $SL > 11$, dan $LL > 63$ merupakan

tanah lempung yang memiliki potensi pengembangan (*swelling*) sangat tinggi. Dari pengujian analisa ayak dan hidrometer diperoleh persen lempung sebesar 40%, jadi nilai aktivitas tanah lempung menurut *Skempton* dapat didefinisikan sebagai pers (1).



Gambar 3. Diagram Alir Kegiatan Penelitian di Laboratorium

Parameter Indeks Plastisitas merupakan selisih antara batas cair (LL) dengan batas plastis (PL), sedangkan C merupakan banyaknya (%) fraksi lempung (*clay*) yang ada pada sampel tanah. Menurut rumusan *Skempton* tersebut, didapat nilai aktivitas sebesar 1,79.

Aktivitas (A)

$$A = \frac{IP}{C-10} \quad (1)$$

Dari nilai aktivitas sebesar 1,79 dan nilai persen *clay* sebesar 40 % diplotkan ke dalam diagram sehingga dapat diketahui tanah tersebut memiliki potensial *swell* yang tinggi. Menurut Seed, Woodward dan Lundgreen (1963) dalam Chen (1988) [1] mengemukakan hubungan antara nilai aktivitas suatu lempung dengan persentase fraksi lempung yang

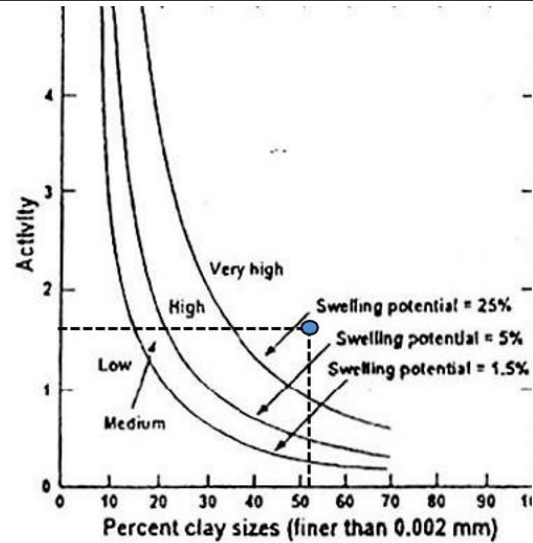
lebih kecil dari 0,002 mm. Hubungan ini dinyatakan pada Gambar 4.

Tabel 1. Hasil Pengujian Indeks Properti Tanah

Parameter Fisik	Tanah Lempung Ekspansif (Tanah terganggu)
A. Indeks Properti	
1. Batas cair (LL)	79,9
2. Batas plastis (PL)	34,24
3. Indeks plastisitas (IP)	45,66
4. <i>Spesific gravity</i> (Gs)	2,66
5. Batas susut (SL)	24,48 %
B. Komposisi ukuran partikel	
Pasir (%)	6,84
Lanau (%)	38,68
Lempung (%)	53,0
Klasifikasi tanah	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (LL>50).
C. Pemadatan	
ω_{opt} (%)	20,1
$\gamma_{drymaks}$ (gr/cm ³)	1,296
D. Aktivitas (A)	
	1,79

Jika kita plotkan nilai PI sebesar 45,66 dan nilai persen *clay* sebesar 53% pada grafik di atas maka akan dapat diketahui bahwa tanah tersebut memiliki *swell* potensial yang sangat tinggi dan nilai aktivitasnya di atas 1. Menurut Bowles jika nilai aktivitas berada antara 1-7 tanah tersebut mengandung *monmorilonite*. [5].

Uji difraktogram terhadap lempung ekspansif Cikarang yang dilakukan oleh Puspitek Serpong telah mengidentifikasi intensitas difraksi mineral-mineral penyusun tanah. Terdapat 4 mineral, yaitu: *Montmorilonite*, *Halloisit*, *Feldspar* dan *Alpha Quartz*. Dari hasil pengujian *X-ray* diperoleh bahwa kandungan mineral seperti Tabel 2.



Gambar 4. Grafik potensi *swelling* tanah berdasarkan kriteria Seed (1962)

Tabel 2. Hasil Pengujian X-Ray Tanah Lippo Cikarang

No Tanda Contoh	Komposisi Mineral	Kadar, (% brt)
Tanah Ekspansif	✓ Monmorilonit	44,03
	✓ Halloysite	24,86
1 Lippo Cikarang	✓ Alpha Quartz	25,42
	✓ Hematite	5,69

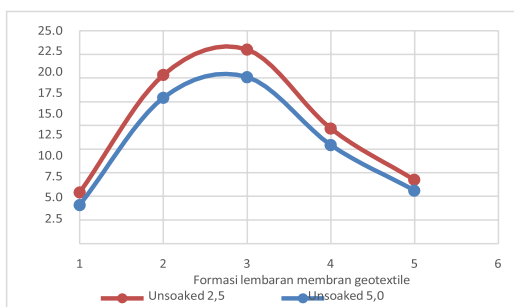
Daya dukung tanah ekspansif (ditambahkan lapisan *geotextile*)

Untuk masing-masing formasi penambahan lembaran *geotextile*, dilakukan pengujian CBR dengan menggunakan besaran kadar air pada pengujian pemadatan awal. Hasil uji CBR *unsoaked* dan *soaked* pada berbagai formasi pemberian membran (lembaran) *geotextile* disampaikan pada Tabel 3 sedangkan grafik hubungan antara CBR (daya dukung) kondisi *unsoaked* dan *soaked* pada berbagai formasi lapisan/membran *geotextile* diberikan pada gambar 5 dan gambar 6. Dalam pengujian ini juga dilakukan beberapa sampel uji yang di-curing selama 4 hari dan 7 hari.

Pemeriksaan CBR Tanpa Rendaman (*unsoaked*)

Pada hasil CBR gambar 5 dan gambar 6 didapatkan hasil bahwa nilai CBR

terbesar terdapat pada CBR pada formasi kedua (G2) yaitu 23,01% untuk pemberian lapisan membran *geotextile*, Formasi G2 adalah pemberian lembaran atau membran *geotextile* berada pada 2/5 dari tinggi sampel pemadatan (*mold*), lihat gambar 2.



Gambar 5. Hubungan antara CBR (Daya Dukung) Kondisi *Unsoaked* pada Berbagai Formasi Lapisan/Membran *Geotextile*

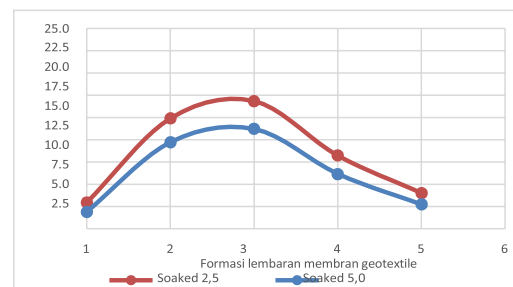
Untuk pemberian pelapisan lembaran atau membran *geotextile* pada formasi G1 sebesar 20,33%, formasi G2 sebesar 23,01%, dan formasi G3 sebesar 14,66%, serta formasi G4 sebesar 9,23%, dengan demikian pemberian lembaran atau membran *geotextile* berpengaruh terhadap nilai CBR tanah asli. Dari pengujian berbagai formasi ini memberikan ke semuanya positif, yakni di atas nilai CBR tanah aslinya.

Pemeriksaan CBR Rendaman (*soaked*)

Pada pengujian CBR terendam (*soaked*) dari tabel 3 dan gambar 7 serta gambar 8 diperoleh CBR *unsoaked* tanah asli sebesar 5,45%, dengan pelapisan membran plastik diperoleh nilai CBR untuk setiap formasi yaitu P1 adalah 8,66%, P2 adalah 7,24% dan P3 adalah 5,28%, serta P4 sebesar 4,28% dengan demikian pemberian lembaran atau membran plastik berpengaruh positif terhadap nilai CBR tanah asli pada formasi P1 dan P2. Lebih besar atau lebih kecil dari CBR tanah asli sangat tergantung formasinya pemberian lembaran plastik tersebut. Untuk pelapisan lembaran atau membran

geotextile pada formasi G1 sebesar 14,9%, formasi G2 sebesar 16,85%, dan formasi G3 sebesar 10,73%, serta formasi G4 sebesar 6,53%, dengan demikian pemberian lembaran atau membran *geotextile* berpengaruh positif terhadap nilai CBR tanah asli. Dari pengujian berbagai formasi ini memberikan ke semuanya positif, yakni di atas nilai CBR tanah aslinya.

Pada gambar 5 dan gambar 6, disampaikan bahwa nilai CBR terbesar terdapat pada CBR dengan formasi kedua (G2) yaitu 16,85% untuk pemberian lapisan membran *geotextile*, Formasi G2 adalah pemberian lembaran atau membran *geotextile* berada pada 2/5 dari tinggi sampel pemadatan (*mould*), sedangkan formasi P1 adalah pemberian lembaran atau membran plastik berada pada 1/5 dari tinggi sampel pemadatan (*mould*), lihat gambar 2 (formasi sampel pengujian).



Gambar 6. Hubungan antara CBR (Daya Dukung) Kondisi *Soaked* pada Berbagai Formasi Lapisan/Membran *Geotextile*

Tabel 3. Nilai CBR *Unsoaked* dan *Soaked* pada Berbagai Formasi Pemberian Membran (Lapisan) *Geotextile*

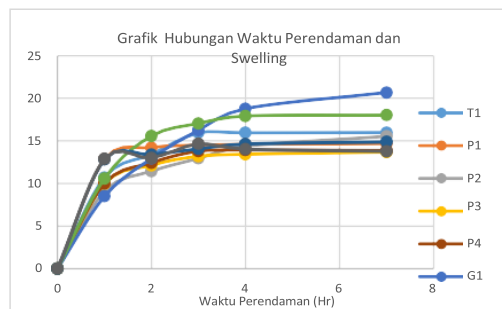
Formasi Sampel Uji	<i>Unsoaked</i>		<i>Soaked</i>	
	2.50	5.00	2.50	5.00
T.1 (Tanah asli)	7,91	6,57	5,45	4,38
G.1	20,33	17,91	14,9	12,21
G.2	23,01	20,09	16,85	13,71
G.3	14,66	12,9	10,73	8,66
G.4	9,23	8,11	6,53	5,23

Pengembangan (*Swelling*)

Dari hasil pengujian pengembangan (*swelling*) dapat diketahui (Tabel 4 dan gambar 7) bahwa posisi ini 2/5 dari bawah dan G4 atau lembaran *geotextile* pada posisi 4/5 dari tinggi mould atau cetakan, posisi tersebut adalah dari atas dapat juga disampaikan bahwa posisi ini 1/5 dari bawah. Terjadinya perbedaan *swelling* dapat dipahami mengingat pemicu mengembangnya tanah ekspansif adalah perubahan kadar air yang dikandung, sedangkan air dengan kapilaritas berasal dari bawah. Pada membran dengan bahan plastik (tidak tembus air) berada di atas lembaran *geotextile* yang dapat tembus air.

Tabel 4. Waktu Rendaman Terhadap *Swelling*

Formasi Sampel Uji	Waktu Perendaman (Hari)					<i>Swelling</i> %
	1	2	3	4	7	
T.1 (Tanah asli)	10,7	13,4	16,0	16,0	16,0	12,7
G.1	8,5	13,0	16,3	18,8	20,7	15
G.2	10,6	15,6	17,1	17,9	18,0	14,3
G.3	12,8	13,4	14,1	14,6	14,9	11,7
G.4	12,9	13	14,7	14,0	13,8	11



Gambar 7. Hubungan antara Pengembangan (*Swelling*) dengan Waktu Perendaman Pada Berbagai Formasi Lapisan *Geotextile* dan Lapisan Plastik

KESIMPULAN

1. Besarnya pengembangan (*swelling* volume) pada uji pemadatan) dengan *Modified Compaction* dalam kondisi *soaked* sebesar 12,7%, nilai sebesar menggambarkan sampel tanah ekspansif

dari Lippo Cikarang termasuk kategori potensi pengembangan tinggi.

2. Stabilitas tanah *subgrade* sebagai bagian badan jalan diberikan dengan nilai CBR, stabilitas pada penelitian dengan 5 lapisan, formasinya tanah+pasir+tanah+pasir+tanah, dan dengan pemberian lapisan atau membran *geotextile* pada formasi G1 sebesar 14,9%, formasi G2 sebesar 16,85%, dan formasi G3 sebesar 10,73%, serta formasi G4 sebesar 6,53%.

3. Besarnya stabilitas (CBR) dan pengembangan tanah ekspansif dari Lippo Cikarang yang dipadatkan menurut *Modified Compaction* adalah 5,45% (tanah asli), sedangkan *swelling*-nya sebesar 12,7%.

4. Pemberian lembaran atau membran *geotextile* pada formasi G1 sebesar 15,0%, formasi G2 sebesar 14,3%, dan formasi G3 sebesar 11,7%, serta formasi G4 sebesar 11,0%, pemberian lembaran atau membran *geotextile* berpengaruh terhadap nilai *swelling* tanah asli, berpengaruh positif maupun negatif, pengujian formasi G3 dan formasi G4 berpengaruh positif, yakni *swelling* di bawah nilai *swelling* tanah aslinya.

5. Pemberian lapisan lembaran atau membran *geotextile* berpengaruh positif terhadap nilai CBR tanah asli, dari pengujian berbagai formasi ini memberikan ke semuanya positif, yakni di atas nilai CBR tanah aslinya,

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM, 1980., Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, American Society for Testing and Material, Part 19.
- [2] Braja M. Das, 1991., Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik), Jakarta, Erlangga.
- [3] Budhu Muni, 2000., Soil Mechanics and Foundations, John Wiley and Sons Inc, New York.

- [4] Callisto and G. Calabresi, 1998, Mechanical Behaviour of a Natural Soft Clay, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE No.04, Vol. 48, August 1998; Page: 515 – 525.
- [5] Damoerin,D., dan Virisdiyanto, 1999, Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dan Pasir Dengan Penambahan Semen atau Kapur Untuk Lapisan Badan Jalan, Prosiding Seminar Nasional Geoteknik , jurusan Teknik Sipil UGM, Yogyakarta.
- [6] Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [7] Donald P Coduto, 1994., Foundation Design Principles and Practice, Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [8] Madhyanapu, R. S. dan Puppala, A. J. 2014. Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 140. American Society of Civil Engineers.
- [9] Federal Highway Administration. 2000. An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications. United State: Department of Transportation Federal Highway Administration.
- [10] Joseph E Bowles, 1987., Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), Erlangga, Jakarta.
- [11] Prociding 6th International Conference on Expansive Soils, 1988., Identification and Classification of Expansive Soils, Pg. 23 – 30, A.A. Balkema, Rotterdam.
- [12] Malhotra, M., & Naval, S. (2013). Stabilization of expansive soils using low cost materials. International Journal of Engineering and Innovative Technology, 2(11), 181-184.
- [13] Suryolelono, K.B., 1999, Potensi Variasi Campuran Abu sekam Padi dan Kapur untuk Meningkatkan Karakteristik Tanah Lempung, Forum Teknik Sipil No. VIII/1, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- [14] Wardani, S. P. R., Hardiyati, S., Muhrozi, M., & Pardoyo, B. (2015). Stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan larutan asam sulfat (H₂SO₄) pada tanah dasar di daerah Godong-Purwodadi Km 50 Kabupaten Grobogan. Media Komunikasi Teknik Sipil, 21(1), 13-22.
- [15] Van Bemmelen, R.W, 1949., The Geology of Indonesia, The Martinus Nijhoff, The Netherlands.