

ANALISIS POTENSI PENGEMBANGAN DAN KUAT TEKAN BEBAS TANAH EKSPANSIF DENGAN VARIASI DIAMETER TABUNG SAMPEL SAAT PERENDAMAN

Hanif¹, Risma Masniari Simanjuntak²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia

Email: haniffauzi28@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia

Email: rismasimanjuntak@gmail.com

Masuk:06-05-2021, revisi: 16-05-2021, diterima untuk diterbitkan: 17-05-2021

ABSTRAK

Tanah ekspansif adalah tanah yang umumnya mengandung mineral lempung *montmorillonite* yang memiliki potensi kembang susut yang tinggi akibat perubahan kadar air. Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang bermasalah dalam suatu konstruksi bangunan karena sering berdampak pada kerusakan perkerasan jalan dan bangunan ringan lainnya. Sifat tanah ekspansif yang sangat dominan adalah pada potensi pengembangan (*swelling potential*). Parameter ini dapat diukur dengan melakukan uji pengembangan tanah yang terlebih dahulu melalui proses perendaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengembangan tanah dalam tabung berupa pipa PVC dengan 4 variasi diameter, yaitu: 2 inch, 2,5 inch, 3 inch, dan 4 inch untuk kemudian diuji pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan bebas tanah. Pengujian ini menggunakan tanah yang diambil dari Kawasan Industri Artha Industrial Hill di daerah Wanajaya, Kec. Telukjambe, Kabupaten Karawang, Jawa Barat, pada kedalaman 1,5 – 2,5 m. Uji pengembangan tanah dilakukan sampai mencapai pengembangan maksimum. Dari hasil uji pengembangan tanah terendam terlihat kecenderungan semakin meningkatnya potensi dan lamanya pengembangan tanah secara linier seiring dengan peningkatan diameter tabung dan tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan. Potensi pengembangan tanah rata-rata termasuk tinggi (20 – 30%). Sebaliknya, hasil uji kuat tekan bebas menunjukkan nilai kuat geser (c_u) yang menurun seiring dengan penambahan diameter tabung. Sensitivitas tanah hasil uji UCT pada sampel menunjukkan rata-rata contoh tanah tidak terlalu sensitif terhadap proses cetak ulang sampel.

Kata kunci: Tanah ekspansif; potensi pengembangan; diameter tabung; uji tekan bebas.

ABSTRACT

Expansive soil is soil that generally contains montmorillonite clay minerals which have a high potential for swelling and shrinkage due to changes in water content. Expansive soil is a type of soil that is problematic in building construction because it often has an impact on road pavement damage and other light buildings. The characteristic of expansive soil which is very dominant is in the swelling potential. This parameter can be measured by conducting a soil swelling test that first goes through the immersion process. This research aims to analyze the effect of soil swelling in a tube in the form of PVC tube with 4 diameter variations, those are 2 inch, 2.5 inch, 3 inch, and 4 inch then tested its effect on the value of the free compressive strength of the soil. This test uses soil taken from the Artha Industrial Hill Industrial Area in the Wanajaya area, Kec. Telukjambe, Karawang Regency, West Java, at a depth of 1.5 - 2.5 m. Soil swelling tests are carried out until they reach maximum swelling. From the results of the submerged soil swelling test, it can be seen that the tendency of increasing soil swelling potential and swelling time are in line with the increasing diameter of the tube and do not show a significant increase. The average swelling potential is high (20-30%). Conversely, the results of the unconfined compressive test showed that the value of shear strength (c_u) decreased with the addition of tube diameter. The soil sensitivity of the UCT test results on the sample shows that the average soil sample is not very sensitive to the sample remould process.

Keywords: *expansive soil; swelling potential; diameter of tube; unconfined compression test.*

1. PENDAHULUAN

Tanah ekspansif adalah tanah yang mengandung lempung dengan potensi kembang susut yang tinggi akibat perubahan kadar air dan akan tergantung pula pada kandungan mineral pembentuknya (Coduto, 1994). Perubahan kadar air pada tanah ekspansif akan mengakibatkan perubahan volume tanah yang akan menimbulkan tegangan terhadap konstruksi di atasnya sehingga menjadikan jenis tanah ini bermasalah dalam suatu proyek konstruksi. Kerusakan yang umum terjadi yang diakibatkan oleh tanah ekspansif adalah kerusakan pada perkerasan jalan dan bangunan ringan berupa keretakan pada persambungan kolom dan dinding (Bella, et al, 2015). Kerusakan tersebut dapat terjadi pada masa konstruksi maupun selama operasional bangunan tersebut

Tanah ekspansif juga sangat beresiko pada konstruksi vertikal seperti dinding penahan tanah atau turap karena tegangan tanah ekspansif juga memberikan efek tegangan secara horisontal. Tekanan horisontal ini akan mengurangi kekuatan daya dukung tanah yang dapat menyebabkan tekanan tanah lateral/tekanan tanah aktif menjadi tinggi yang berakibat pada keruntuhan bangunan penahan tanah (Samuel, R., dan A. J. Susilo.2020).

Beberapa uji pengembangan dilakukan pada cincin besi berbentuk silinder (contoh tanah terkekang secara lateral). Contoh tanah akan mengembang secara vertikal dan potensi pengembangannya dihitung dari perubahan tinggi dibagi tinggi awal contoh tanah (Seed, 1962).

Diameter contoh tanah pada uji pengembangan tanah umumnya sekitar 50-112 mm dan tinggi 12-35 mm (Coduto, 1994). Pengujian pengembangan contoh tanah pada uji Indeks Ekspansi dilakukan menggunakan tabung silinder uji pemadatan dengan diameter 102 mm dengan tinggi 1 inci kemudian tanah dibiarkan mengembang sampai nilai pengembangan tertentu (Andersen and Lade, 1981). Dari contoh wadah uji yang bervariasi tersebut menunjukkan belum adanya prosedur standar pengujian potensi pengembangan tanah, sehingga dengan spesifikasi dari pengujian yang bervariasi didapatkan hasil pengujian yang berbeda dan tidak selalu dapat dibandingkan. Jika diameter contoh tanah lebih besar, maka akan berpengaruh pada pengurangan gesekan dinding, sehingga contoh akan cenderung mengembang lebih besar (Hardiyatmo, 2014).

Cara untuk menggambarkan sifat tanah ekspansif adalah mengetahui potensi pengembangan (*swelling potensial*) tanah tersebut, yang umumnya diuji dengan uji pengembangan. Terdapat beberapa definisi-definisi dan standar yang berbeda untuk menetapkan potensi pengembangan tanah karena adanya beberapa cara pengujian yang berbeda sehingga hasilnya bukan merupakan suatu hal bersifat standar, seperti kriteria Raman, Chen, Snethen, Seed (Das, 1995).

Berdasarkan hal di atas, maka penelitian potensi pengembangan secara vertikal pada contoh tanah yang terendam menggunakan variasi wadah dengan diameter yang berbeda perlu dilakukan untuk melihat seberapa besar pengembangan tanah yang terjadi secara horizontal atau lateral akibat perbedaan diameter wadah akan mempengaruhi pengembangan tanah secara vertikal. Selain itu pengembangan yang berbeda dari tanah ekspansif juga akan mengakibatkan

perubahan pada daya dukung tanah, sehingga dalam hal ini perlu juga dilakukan penelitian kuat geser tanah dan uji tekan bebas dari berbagai benda uji tersebut.

2. STUDI TENTANG POTENSI PENGEMBANGAN TANAH EKSPANSIF

Tanah ekspansif merupakan tanah lunak yang terbentuk oleh pelapukan kimiawi pada batuan. Biasanya tanah ekspansif mengandung mineral-mineral lempung seperti *montmorillonite* yang mampu menyerap air. *Montmorillonite* disebut juga dengan mineral dua banding satu karena satuan susunan kristalnya terbentuk dari susunan dua lempeng *Silika Tetrahedral* mengapit satu lempeng *Alumina Oktahedra* ditengahnya. Hubungan antar satuan unit diikat oleh ikatan gaya Vander Walls diantara ujung-ujung atas dari lembaran *Silika* itu sangat lemah, maka lapisan air dengan kation yang dapat bertukar dengan sangat mudah menyusup dan memperlemah ikatan antar susunan kristal mengakibatkan antar lapisan terpisah (Hardiyatmo, 2014). Mineral ini memiliki permukaan luas sehingga mampu menahan air dalam jumlah yang besar. Ketika mineral tersebut menyerap air maka volume tanah akan meningkat ditandai dengan pengembangan tanah baik secara vertikal maupun horisontal. Tanah ekspansif dapat didefinisikan sebagai tanah yang memiliki sifat mengembang dan menyusut yang tinggi, sehingga cenderung memberikan dampak kerusakan bagi konstruksi bangunan ringan yang berada di atasnya.

Mekanisme pengembangan tanah adalah proses penyerapan air dan penyusutan tanah adalah proses pelepasan air. Saat penyerapan air maka volume tanah akan bertambah atau tanah akan mengembang. Sebaliknya saat pelepasan air, akan terjadi pengurangan volume tanah yang akan berakibat penyusutan tanah. Pada tanah ekspansif proses ini terjadi sangat cepat dan dipengaruhi oleh banyaknya curah hujan, kadar air tanah, dan baik buruknya sistem drainase. Potensi pengembangan tanah didefinisikan sebagai persentase pengembangan pada sampel tanah yang dikekang secara lateral pada kondisi terendam dengan tegangan vertikal sebesar 1 psi setelah dipadatkan sampai kepadatan kering maksimum dengan kadar air optimum sesuai dengan pengujian standar AASHTO (Seed, et. al., 1962). Nilai batas-batas konsistensi berupa nilai IP dan batas susut dapat menggambarkan hubungan dengan Potensi Pengembangan seperti terlihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Hubungan antara Indeks Plastisitas dengan Potensi Pengembangan

Indeks Plastisitas (%)	Potensi Pengembangan
0 – 15	Rendah
15 – 35	Sedang
35 – 55	Tinggi
> 55	Sangat Tinggi

Sumber: Chen, 1975.

Tabel 2. Hubungan antara Batas Susut (SL) dengan Potensi Pengembangan

Batas susut Atterberg (%)	Susut linier (%)	Derajat Mengembang
< 10	> 8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
> 12	0 – 8	Tidak kritis

Sumber: Chen, 1975

Tabel 3. Kriteria identifikasi tanah ekspansif

Colloid Content (<0,001mm) (%)	Indeks Plastis (%)	Batas Susut (%)	Persentase pengembangan (%)	Derajat Pengembangan
>28	>35	<11	>30	Sangat tinggi
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Sedang
<15	<18	>15	<10	Rendah

Sumber: USBR (Holtz, et.al., 1959)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mengidentifikasi tanah yang bersifat ekspansif pada saat ini banyak berkembang metode-metode yang dapat dilakukan secara tidak langsung maupun secara langsung. Pada umumnya identifikasi tanah ekspansif dilakukan dengan metode tidak langsung karena sangat sederhana dan praktis, yaitu dengan mengidentifikasi indeks properti tanah kemudian membandingkan dengan hasil penelitian sehingga dapat diyakini bahwa tanah yang digunakan sebagai sampel memang sesuai dengan jenis tanah yang diharapkan. Identifikasi indeks properti tanah dapat berupa pengujian batas konsistensi tanah sehingga didapatkan nilai Indeks Plastisitas (IP) dan batas susut (*Shrinkage Limit, SL*). Uji langsung dilakukan pada contoh tanah untuk langsung diketahui hasilnya dalam hal ini adalah pengujian potensi pengembangan tanah.

Untuk membatasi luasnya ruang lingkup masalah pada penelitian ini, maka dalam penelitian ini dibuat batasan-batasan masalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan pada data pedoman Kontruksi dan Bangunan, Penanganan Tanah Ekspansif untuk Kontruksi Jalan, Pd T-10-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum, mengenai lokasi tanah ekspansif, maka pada penelitian ini contoh tanah diambil dari Kawasan Industri Artha Industrial Hill di daerah Wanajaya, Kec. Telukjambe, Kabupaten Karawang, Jawa Barat, pada kedalaman 1,5 – 2,5 m.
- b. Pengujian yang dilakukan untuk identifikasi tanah ekspansif dilakukan dengan pengujian korelasi sifat-sifat indeks tanpa melakukan identifikasi mineralogi dan koloidal. Pengujian korelasi sifat-sifat indeks yang dilakukan adalah pengujian sifat fisis tanah dengan uji batas Atterberg yang terdiri dari :
 - Uji Batas Cair (SNI 1967:2008)

- Uji Batas Plastis (SNI 1966:2008)
 - Uji Batas Susut (SNI 3422:2008)
- c. Pengujian pemadatan tanah (SNI 1742:2008) yang dilakukan untuk menentukan berat unit kering maksimum dan kadar air optimum yang akan digunakan sebagai sampel tanah untuk uji pengembangan dan selanjutnya sampel yang telah mengembang maksimum akan diuji kuat gesernya menggunakan uji tekan bebas (*Unconfined Compression Test*, UCT) tanah rendaman dan tanah cetak ulang untuk mendapatkan nilai sensitivitas seperti tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai dan sensitivitas tanah hasil uji UCT

Nilai St	Sensitivitas
2	Tidak sensitif
2 - 4	Agak sensitif
4 - 8	Sensitif
8 - 16	Sangat sensitif
16 - 32	Agak cepat
32 - 64	Cepat

Sumber: Bowles, 1991

- d. Uji Potensi Pengembangan (*swelling potential*) dilakukan dengan merendam contoh tanah sampai mencapai pengembangan maksimum menggunakan wadah pipa PVC berdiameter berbeda-beda yaitu diameter 2 *inch*, 2,5 *inch*, 3 *inch*, dan 4 *inch*, dengan tinggi contoh 11,6 cm. Contoh tanah dibuat lebih tebal agar tanah hasil uji pengembangan dapat digunakan untuk uji UCT dengan tinggi *mold* 7,6 cm. Pembacaan pengembangan tanah menggunakan *dial* deformasi dengan pengukuran waktu secara kumulatif dengan beban yang sangat kecil dan bahkan dapat diabaikan yaitu menggunakan lembaran bahan plastik akrilik setebal $\pm 1,5$ mm sehingga tidak terjadi lendutan saat *dial* mendapatkan tekanan.
- e. Pengujian Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*) sesuai SNI 3638:2012 dilakukan menggunakan tanah rendaman dan tanah cetak ulang, setelah potensi pengembangan mencapai nilai maksimum.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah dengan Batas Atterberg

Hasil dari pengujian ini digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini. Dari hasil pengujian batas Atterberg dapat diperoleh nilai dari batas cair, batas plastis, dan batas susut dari tanah yang diuji. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan tabel 1 dan 2 untuk dapat mengidentifikasi apakah tanah merupakan tanah ekspansif dengan potensi pengembangan yang tinggi. Dari hasil pengujian batas Atterberg dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan identifikasi cara tidak langsung (*single index method*). Hasil pengujian terhadap indeks propertis contoh tanah terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji batas konsistensi contoh tanah

Kondisi Tanah	Batas Cair (LL) (%)	Batas Plastis (PL) (%)	Indeks Plastisitas (IP) (%)	Batas Susut (SL) (%)
Tanah Lempung	73,32	26,81	46,51	8,74

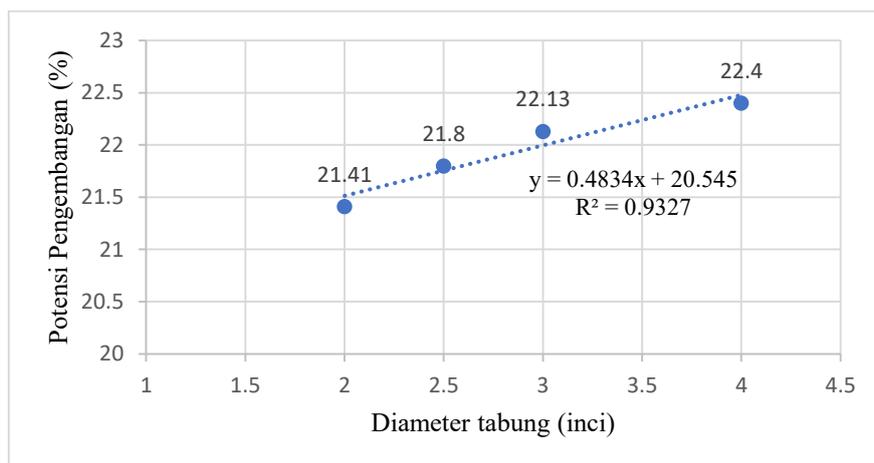
Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 hubungan antara nilai batas-batas konsistensi dapat disimpulkan bahwa tanah dengan Indeks Plastis sebesar 46,51% (dalam batas merupakan tanah yang mempunyai tingkat potensi pengembangan yang tinggi sampai dengan sangat tinggi, dan dengan nilai batas susut sebesar 8,74% maka tanah merupakan tanah yang mempunyai derajat pengembangan pada tingkat kritis. Hal ini juga mengindikasikan kemungkinan tanah yang berpotensi mengembang sangat tinggi.

4.2. Hasil Pengujian Pemadatan (Kompaksi)

Hasil uji pemadatan menghasilkan nilai berat unit kering maksimum sebesar 1,32 gram/cm³ dengan kadar air optimum sebesar 21,98%. Dengan demikian maka kadar air untuk mendapatkan contoh tanah yang akan digunakan dalam perendaman adalah sama untuk setiap contoh tanah pada wadah yang berbeda yaitu contoh tanah dari hasil pemadatan menggunakan kadar air sekitar 22% .

4.3. Hasil Pengujian Potensial Pengembangan

Pengujian dilakukan terhadap tanah yang direndam dengan kepadatan yang sama pada kadar air awal sama dengan kadar air optimum pemadatan, dan menggunakan diameter tabung pipa pralon yang bervariasi dengan ukuran 2 inci, 2,5 inci, 3 inci, dan 4 inci, Dari hasil pengujian didapatkan data-data seperti yang ditunjukkan pada grafik hubungan antara diameter tabung dan potensi pengembangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

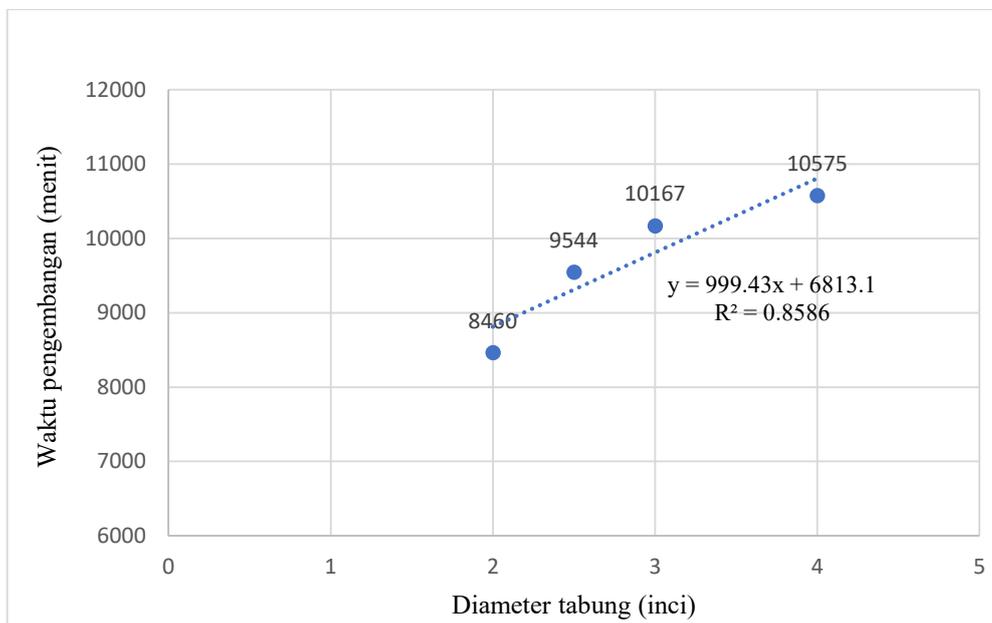


Gambar 1. Hubungan antara diameter tabung dan potensi pengembangan tanah

Dari hasil uji, berupa tabel, dan gambar di atas terlihat bahwa diameter pipa mempengaruhi potensi pengembangan tanah dan kecenderungan peningkatan potensi pengembangan pada tanah ekspansif seiring dengan peningkatan diameter tabung mengikuti

persamaan yang bersifat linier dengan persamaan $y = 0,4834 x + 20,545$. Terlihat pula bahwa potensi pengembangan jika dibandingkan dengan kriteria identifikasi tanah ekspansif USBR seperti pada Tabel 3, maka persentase pengembangan yang terjadi berkisar pada derajat pengembangan yang tinggi yaitu antara 20 – 30% . Namun bila ditinjau dari presentase peningkatan yang terjadi, maka terlihat bahwa potensi pengembangan yang terjadi tidak terlalu signifikan hanya berkisar rata-rata 2,28 % setiap penambahan 1 inci diameter tabung.

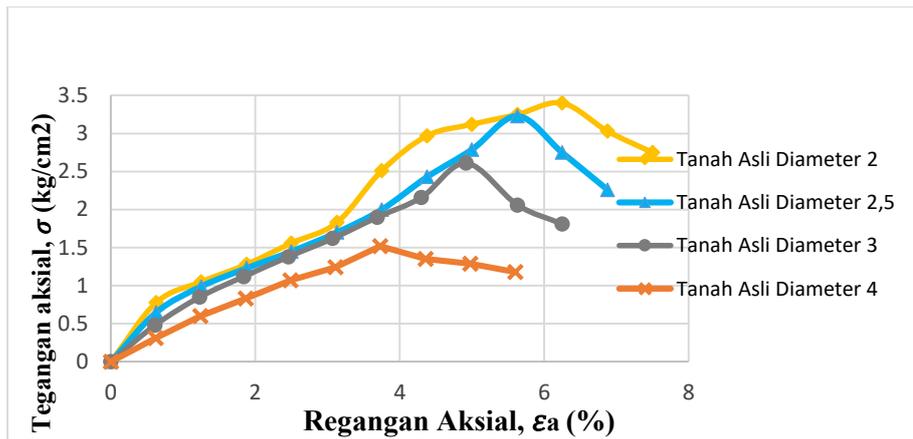
Pengembangan tanah juga diukur berdasarkan waktu sehingga didapatkan grafik pengembangan tanah yang maksimum dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai pengembangan maksimum diperlihatkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 2. Pada grafik tersebut terlihat peningkatan waktu pengembangan sekitar 11,34% pada tiap penambahan 1 inci diameter tabung.



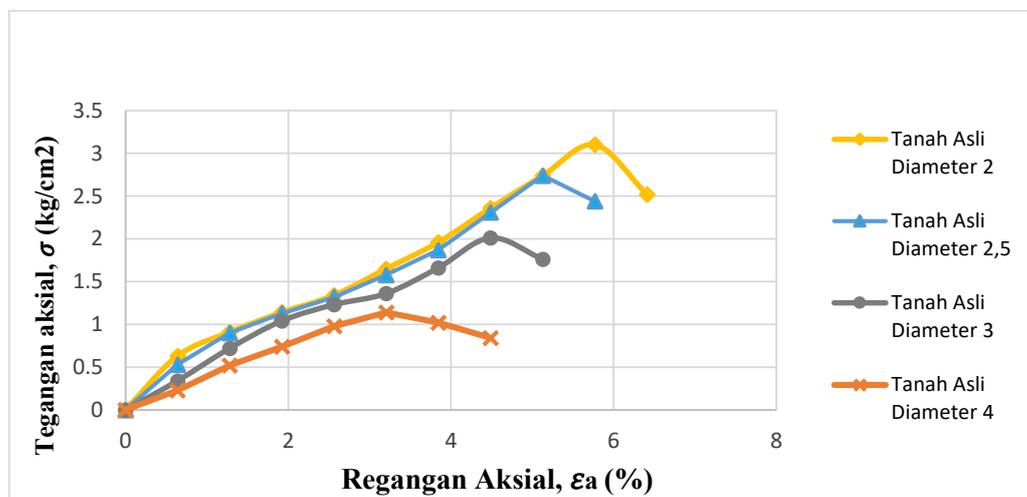
Gambar 2. Grafik hubungan antara diameter tabung dan waktu pengembangan tanah

4.4. Hasil Pengujian Kuat Geser Menggunakan Uji Tekan Bebas (UCT)

Hasil uji terhadap kuat tekan bebas menggunakan alat *Unconfined Compression Test* (UCT) pada tanah yang sudah mengalami pengembangan secara maksimum dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah ekspansif yang masih tersisa setelah mengalami penurunan akibat pengembangan tanah. Uji dilakukan dengan menggunakan tanah yang langsung dikeluarkan dari tabung uji perendaman ke dalam *modal* uji UCT dan dilanjutkan dengan menguji tanah yang telah mengalami pembentukan kembali (cetak ulang) untuk mengetahui nilai sensitivitas (S_t) tanah. Perbandingan hasil pembacaan hubungan antara tegangan aksial dan regangan aksial dari uji UCT pada variasi diameter tabung baik hasil rendaman maupun cetak ulangnya diberikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 3 dan 4, sedangkan besarnya hasil uji kuat geser tekan bebas dan cetak ulang, serta nilai sensitivitas disajikan pada Tabel 6.



Gambar 3. Grafik hubungan tegangan vs regangan hasil uji UCT pada tanah rendaman



Gambar 4. Grafik hubungan tegangan vs regangan hasil cetak ulang tanah rendaman

Tabel 6. Hasil uji UCT dan cetak ulang tanah rendaman

Tanah rendaman pada tabung	Tanah hasil rendaman		Tanah cetak ulang hasil rendaman		Sensitivitas (St)
	q _u (kg/cm ²)	c _u (kg/cm ²)	q _u (kg/cm ²)	c _u (kg/cm ²)	
Diameter 2 inci	3,40	1,70	3,10	1,55	1,10
Diameter 2,5 inci	3,23	1,62	2,74	1,37	1,18
Diameter 3 inci	2,61	1,31	2,01	1,01	1,30
Diameter 4 inci	1,52	0,76	1,14	0,57	1,33

Dari pengujian ini didapat sampel nilai regangan aksial dan tegangan aksial, dimana tegangan aksial maksimum merupakan kuat tekan bebas (q_u) dan setengah dari nilai (q_u) merupakan nilai tegangan geser *undrained* (c_u) dari sampel tersebut. Pada tabel terlihat adanya

peningkatan besarnya tegangan aksial seiring dengan penambahan diameter tabung nilai sensitivitas dari uji UCT ini didapatkan dengan membagi nilai c_u hasil rendaman dengan nilai c_u dari hasil cetak ulang hasil rendaman.

Berdasarkan grafik hasil uji tegangan dan regangan pada kedua jenis uji baik pada hasil rendaman maupun hasil uji cetak ulang terdapat kecenderungan penurunan tegangan geser pada uji UCT sebesar 27,16% tiap penambahan 1 inci diameter tabung karena semakin besar penampang tabung maka kekuatan geser akan semakin terbagi ke arah lateral yang semakin melebar. Dari segi sensitivitas, tanah ini tergolong tidak sensitif karena mempunyai nilai rata-rata < 2 .

5. KESIMPULAN

Bedasarkan hasil penelitian dan analisis hasil pengujian di laboratorium, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang diuji dalam penelitian ini memiliki nilai batas cair (LL) sebesar 73,32%, batas plastis (PL) sebesar 26,81%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 46,51%. Dengan besar indeks plastisitas (PI) tanah yang diuji, maka tanah tersebut merupakan tanah lempung ekspansif dengan plastisitas tinggi dimana indeks plastisitas lebih besar dari 17%. Dari besar indeks plastisitas tersebut juga dapat dinyatakan bahwa tanah tersebut juga termasuk tanah lempung dengan potensi pengembangan tinggi karena lebih besar dari 35%. Nilai batas susut (SL) yang diperoleh pada pengujian ini adalah sebesar 8,74%. Karena nilai batas susut kurang dari 10%, maka tanah tersebut termasuk dalam kategori tanah lempung dengan derajat pengembangan yang kritis, dimana nilai batas susut kurang dari 10%. Dari kedua kesimpulan di atas, maka tanah dapat dinyatakan sebagai tanah dengan tingkat potensi pengembangan yang tinggi atau tanah ekspansif.
2. Dari hasil uji pengembangan tanah terendam terlihat kecenderungan semakin meningkatnya potensi pengembangan dan lamanya pengembangan tanah seiring dengan peningkatan diameter tabung rendaman dan peningkatannya terjadi secara linier namun tidak terlalu signifikan dan secara rata-rata menunjukkan potensi pengembangan tinggi (20 – 30%).
3. Dari hasil uji kuat tekan bebas menggunakan *Unconfined Compression Test*, nilai tegangan geser *undrained* (c_u) menurun seiring dengan penambahan diameter tabung. Nilai sensitifitas tanah meningkat seiring penambahan diameter tabung, namun tergolong tidak sensitif.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, J.N. and Lade , P.V. (1981), *The Expansion Index Test*, ASTM Geotechnical Testing Journal , Vol. 4, No. 2, pp. 58-67.
- Bella, R. A., Bunganaen, W., & Sogen, P. M. (2015). Identifikasi Kerusakan Konstruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Di Desa Oebelo. *Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 195-208.
- Bowles, J. E. (1991). *Mekanika Tanah: Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.

- Chen, F.H.(1975). *Foundations on Expansive Soil*. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Coduto, P. D. (1994), *Foundation Design Principles and Practices*, Prentice-Hall Inc., New Jersey
- Das, B.M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering*, Cengage Learning, Stamford, USA
- Hardiyatmo, H. C. (2014), *Tanah Ekspansif: Permasalahan dan Penanganan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hatmoko, J. T. dan Hendra Suryadharma. (2020). *Teknologi Perbaikan Tanah*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Yuliet, R., Hakam, A., & Febrian, G. (2011). Uji potensi mengembang pada tanah lempung dengan metoda *free swelling test* (Studi Kasus: Tanah Lempung Limau Manih–Kota Padang). *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 7(1), hlm 25-36.
- Samuel, R. dan A. J. Susilo (2020), Pengujian Tanah Ekspansif Dengan Skala Model Menggunakan Kayu Dowel sebagai Pengganti Dinding Penahan Tanah. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil* Vol. 3, No. 3, Agustus 2020: hlm 853-864.
- Seed, H.B., Woodward, R.J., and Lundgren, R. (1962). *Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays*. *Journal Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE.*, Vol. 90, No. SM4, pp. 107-131.