



Studi Regangan Aksial dan Lateral pada Tanah Ekspansif

✉ Lisa Fitriyana¹, Abdul Rochim²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA)

Kata Kunci/ Keywords :

expansive soil, swelling, lateral strain, axial strain.

tanah ekspansif, regangan lateral, regangan aksial.

Abstract/ Abstrak:

Swelling and shrinkage abilities of soils are dangerous for buildings. With the aims to identify an expansive soil and to know its lateral and axial strains, an experimental study was performed. Swelling tests were conducted in a specimen having diameter (d) of 4,5 cm and height (h_0) of 2 cm with the variations in : 1) water content $w_{opt} = 31\%$ and 18% ; 2) vertical pressure (p_v) 1 kPa, 3,5 kPa and 6,9 kPa; and 3) membrane thickness (t) 0,7 mm and 0,5 mm. The strain in the axial direction was measured with a dial gauge that was set vertically parallel whereas the lateral strain is by measuring changes in diameter of the specimen with a digital caliper measurement tools. Based on the analysis on the identification results, the observed soil is classified as expansive soil with the expansion potential is high average. The test results show the same potential for the occurrence of lateral and lateral strain if the lateral retention (e.g. retaining wall) is weak. The largest axial and lateral soil development occurred at water content $w_0 = 18\%$ are 17% and $15,84\%$ respectively.

Kemampuan mengembang dan menyusut tanah merupakan ancaman besar bagi bangunan-bangunan yang terletak di atas dan sekitarnya. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tanah ekspansif dan mengetahui besarnya regangan arah lateral dan aksial. Pengujian pengembangan ini dilakukan pada diameter benda uji yaitu 4,5, tinggi sampel (h_0); 2 cm dengan variasi kadar pada $w_{opt} = 31\%$ dan 18% , variasi tekanan vertikal (p_v); 1 kPa, 3,5 kPa, dan 6,9 kPa dan variasi ketebalan membran (t) 0,7 mm dan 0,5 mm. Regangan arah aksial diukur dengan dial gauge yang dipasang sejajar vertikal sedang regangan lateral diukur dengan mengukur perubahan diameter benda uji dengan alat ukur caliper digital. Berdasarkan analisis hasil identifikasi, tanah yang diamati merupakan tanah ekspansif dengan potensi mengembang rata-rata tinggi. Hasil pengujian menunjukkan potensi yang sama besar terjadinya regangan aksial dan lateral jika penahan lateralnya (misal dinding penahan tanah) lemah. Pengembangan tanah secara aksial dan lateral yang paling besar terjadi pada kadar air $w_0 = 18\%$ yaitu sebesar 17% dan $15,84\%$.

Sitasi:

Fitriyana, Lisa. (2017). Studi Regangan Aksial dan Lateral pada Tanah Ekspansif. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 19(2), 121-128.

© 2017 Universitas Negeri Semarang

✉ Lisa Fitriyana :
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung, Kota Semarang
E-mail : fitriyanalisa@gmail.com

p-ISSN 1411-1772
e-ISSN 2503-1899

PENDAHULUAN

Tanah merupakan material yang selalu berhubungan dengan konstruksi sipil sehingga tanah menjadi komponen yang sangat diperhatikan dalam perencanaan konstruksi. Sebagian dari jenis tanah ada yang memiliki sifat buruk seperti tanah ekspansif yaitu tanah lempung yang memiliki sifat kembang susut yang besar dan prilakunya dipengaruhi oleh air. Tanah lempung yang mengandung mineral montmorillonite sangat mudah mengembang akibat kenaikan kadar air (Hardiyatmo, 2014).

Tipe-tipe gerakan pengembangan pada tanah ekspansif ada 2 yaitu gerakan pengembangan arah lateral dan vertikal (Hardiyatmo, 2014). Uji kembang dilaboratorium, sering dilakukan pada ring yang terkekang arah lateral sehingga tidak ada deformasi kembang arah horizontal. Kondisi ini agak berbeda dengan kejadian di lapangan, model kembang satu dimensi (arah vertikal) tentu tidak akan cocok bila permukaan lempung ekspansif miring atau tanah lempung berada di belakang dinding penahan tanah, atau di tepi dinding suatu terowongan.

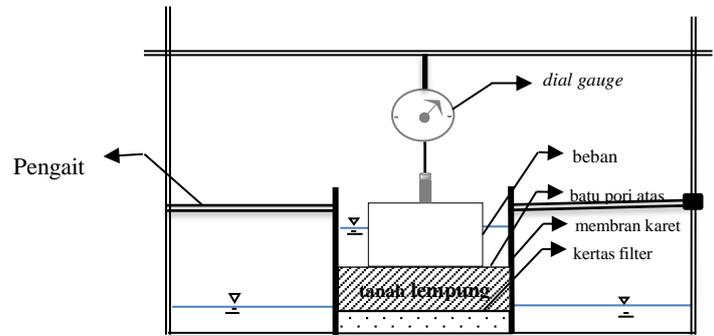
Di Indonesia, masalah lempung ekspansif hampir terdapat di seluruh wilayah Indonesia mulai dari Sumatera Utara sampai Papua seperti di Desa Bugel Kec. Godong Kab. Purwodadi yang merupakan tanah lempung ekspansif tinggi. Beberapa Penelitian stabilisasi tanah ekspansif di daerah ini seperti dengan semen dan abu sekam padi (Ariyani, Ninik & Wahyuni, DP, 2007). Penelitian stabilisasi lainnya yaitu menggunakan proses elektrokinetik dengan stabilisator accu zuur dan kapur (Permadi, W & Pradipta, BK, 2016). Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tanah ekspansif dan mengetahui besarnya regangan arah lateral dan aksial.

METODE

Pengujian utama yaitu uji pengembangan arah aksial (vertikal) dan lateral (horizontal) menggunakan pengekang membran karet dari latex dengan tekanan vertikal (p_v) bervariasi. Uji pengembangan ini bertujuan untuk mengetahui pengembangan arah lateral dan aksial dan besarnya tekanan membran (p_h) terhadap pengembangan tanah.

Dial gauge yang dipasang pada sumbu vertikal digunakan sebagai pengukur pengembangan arah aksial (vertikal) seperti pada Gambar 1, sedang untuk mengukur pengembangan arah lateral (horizontal) digunakan caliper digital dengan cara mengukur perubahan diameter sampel. Hasil yang diinginkan yaitu melihat pengembangan yang terjadi pada arah aksial dan lateral, serta untuk dilakukan validasi

pada sampel tanah yang dicetak pada diameter 4,5 cm dengan tinggi sampel 2 cm di masukkan ke dalam membran karet dengan ketebalan yang berbeda-beda yaitu 0,5 mm dan 0,7 mm seperti variasi yang terlihat pada Tabel 1. Skema alat uji di tunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat pengujian pengembangan

Tabel 1. Variasi jumlah benda uji

| Diameter benda uji | Tinggi sampel, | Tebal membran | Kadar air awal | Tekanan vertikal, p_v (kPa) |
|--------------------|----------------|---------------|----------------|-------------------------------|
| D , (cm) | H_o (cm) | t , (mm) | w_o , (%) | |
| 4,5 | 2 | 0,5 | 18 | 3 |
| | | | 31 | 3 |
| | | 0,7 | 18 | 3 |
| | | | 31 | 3 |

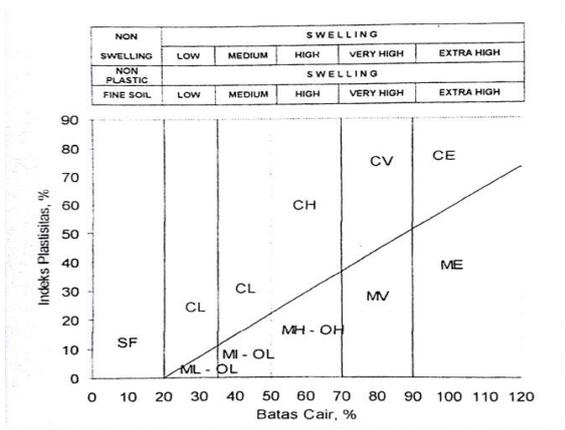
Identifikasi Tanah Ekspansif

Cara sederhana untuk mengidentifikasi potensi perubahan volume tanah dikaitkan dengan indeks plastisitas (PI) atau batas susut (SL) seperti pada Tabel 2 dan Metode Grande Modifikasi pada Gambar 2.

Tabel 2. Hubungan potensi pengembangan dan indeks plastisitas (PI)

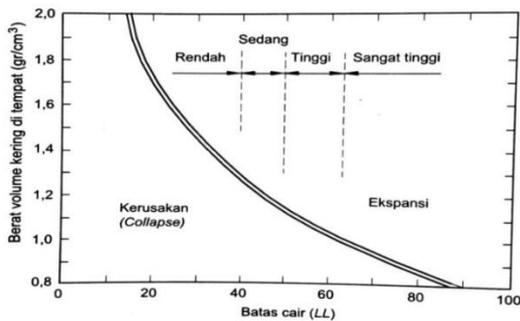
| Indeks Plastisitas (%) | Potensi pengembangan |
|------------------------|----------------------|
| >35 | Sangat tinggi |
| 20 – 55 | Tinggi |
| 10 – 35 | Sedang |
| 0 – 15 | Rendah |

Sumber : Chen, 1988



Gambar 2. Hubungan batas cair (LL) dan Indeksplastisitas (PI)

Hubungan batas cair (LL) dan berat volume kering (γ_d) di tempat untuk mengetahui sifat mudah mengembang dan kerusakan struktur tanah pada pengalaman U.S Water and Power Resources Service, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan batas cair (LL) dan berat volume kering (γ_d) di tempat untuk mengetahui sifat mudah mengembang dan kerusakan struktur tanah (Mitchell and Gardner, 1975; Gibbs, 1969) dalam Hardiyatmo (2014)

Perlu diingat bahwa potensi pengembangan yang umumnya dinyatakan dalam perbandingan perubahan tinggi dibagi tinggi awal tanah, bergantung pada: tekanan yang bekerja, kepadatan, dan kadar air. Potensi pengembangan yang lebih mendekati lapangan diperoleh dari hasil uji pengembangan dalam oedometer (Hardiyatmo, 2014).

Altmeyer (1955) dalam Hardiyatmo (2014) menyarankan petunjuk untuk menentukan potensi pengembangan yang dikaitkan dengan batas susut dan susut linier, seperti yang terlihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Derajat ekspansi berdasarkan batas susut dan susut linier

| Batas susut, SL (%) | Susut linier (%) | Derajat ekspansi |
|---------------------|------------------|------------------|
| <10 | >8 | Kritis |
| 10-12 | 5-8 | Sedang |

>12

0-5

Non kritis

Sumber : Altmeyer, 1955

Potensi Pengembangan

Potensi pengembangan adalah persentase pengembangan ke arah lateral dimana sampel harus direndam atau dijenuhkan dengan tekanan 1 psi (6,9 kPa) untuk tanah terusik yang dipadatkan untuk mencapai kepadatan maksimum dan kadar air optimum dengan menggunakan standar pemadatan AASHTO (Seed, 1962). Contoh tanah akan mengembang secara vertikal dan perubahan tinggi dibagi tinggi awal merupakan regangan aksial (vertikal) yang dinyatakan dalam Persamaan (1):

$$\epsilon_z = \frac{\Delta H}{H} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Regangan lateral dinyatakan oleh Persamaan (2):

$$\epsilon_x = \frac{\Delta D}{D} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- ϵ_z = regangan pengembangan aksial (%)
- ΔH = perubahan tinggi sampel (mm)
- H = tinggi awal (mm)
- ϵ_x = regangan pengembangan lateral (%)
- ΔD = perubahan diameter sampel (mm)
- D = diameter awal (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

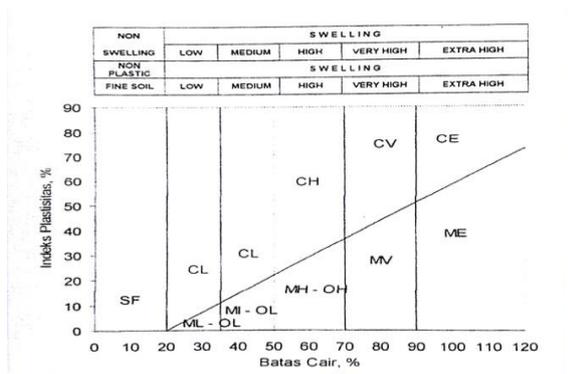
Pengujian Properties Tanah

Tabel 4. Hasil pengujian propertis tanah lempung

| Sifat | Nilai | Satuan |
|----------------------------------------------|-------|-------------------|
| Berat jenis, Gs | 2,78 | |
| Batas cair, LL | 90,75 | % |
| Batas plastis, PL | 24,14 | % |
| Indeks plastisitas, PI | 66,61 | % |
| Batas susut, SL | 26,00 | % |
| Persen butiran tanah lolos saringan no. 200 | 89,79 | % |
| Persen butiran tanah tertahan saringan no. 4 | - | |
| Persen fraksi lempung 0,002 mm, C% | 25,5 | % |
| Aktivasi, A=PI/C | 2,61 | % |
| Kadar air optimum, wopt | 31,46 | % |
| Berat volume kering maksimum, γ_d max | 13,89 | kN/m ³ |
| Klasifikasi tanah system Unified | CH | |

Klasifikasi Tanah Ekspansif

Dari hasil uji pendahuluan pada Tabel 4 digunakan untuk klasifikasi tanah ekspansif. Pada sistem Grande Modifikasi menggunakan parameter batas cair (LL = 90,57 %) dan indeks plastisitas (PI = 66,61%). Kemudian nilai PI dan LL itu diplotkan sehingga mendapatkan klasifikasi tanah CE yaitu lempung ekspansif tingkat tinggi (extra high) seperti terlihat pada Gambar 4.



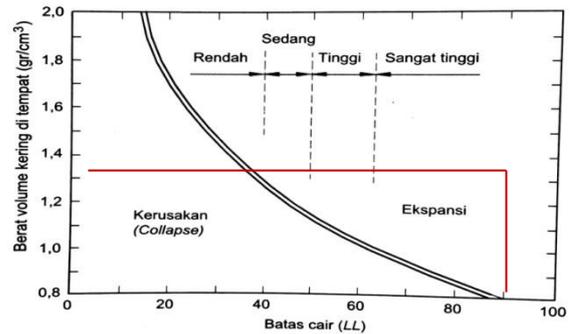
Gambar 4. Hasil Klasifikasi Sistem Grande Modifikasi

Cara sederhana untuk mengidentifikasi potensi perubahan volume tanah dikaitkan dengan indeks plastisitas (PI) atau batas susut (SL). Seperti pada Tabel 5 yaitu hubungan potensi pengembangan dan indeks plastisitas (PI) Chen (1988). Dari hasil klasifikasi dengan nilai PI = 90,75% diperoleh hasil klasifikasi tanah Purwodadi termasuk ekspansif sangat tinggi (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil Klasifikasi Chen (1988)

| Indeks Plastisitas (%) | Potensi pengembangan |
|------------------------|----------------------|
| >35 | Sangat tinggi |
| 20 – 55 | Tinggi |
| 10 – 35 | Sedang |
| 0 – 15 | Rendah |

Hasil klasifikasi antara batas cair (LL = 90,75 %) dan berat volume kering ($\gamma_d = 1,389 \text{ gr/cm}^3$) menggunakan grafik pada Gambar 2.3 (Mitchell and Gardner, 1975; Gibbs, 1969) dalam Hardiyatmo (2014) yaitu tanah lempung ekspansif tergolong sangat tinggi. Seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Klasifikasi (Mitchell and Gardner, 1975; Gibbs, 1969) dalam Hardiyatmo (2014)

Menurut Altmeyer (1955) dalam Hardiyatmo (2014) menentukan potensi pengembangan yang dikaitkan dengan batas susut dan susut linier, seperti yang terlihat dalam Tabel 4 sehingga diperoleh hasil klasifikasinya yaitu dalam katagori non kritis (Tabel 6)

Tabel 6. Hasil klasifikasi Derajat ekspansi berdasarkan batas susut dan susut linier

| Batas susut, SL (%) | Susut linier (%) | Derajat ekspansi |
|---------------------|------------------|------------------|
| <10 | >8 | Kritis |
| 10-12 | 5-8 | Sedang |
| >12 | 0-5 | Non kritis |

Sumber : Altmeyer, 1955

Dari hasil klasifikasi beberapa metode yang dipakai dapat disimpulkan bahwa tanah di lokasi Desa Bugel-Purwodadi termasuk tanah ekspansif tinggi dan perlu penanganan khusus agar tidak terjadi kerusakan terutama kerusakan konstruksi.

Hasil Pengujian Pengembangan

Pengujian pengembangan diperoleh hubungan antara waktu pengembangan terhadap pengembangan arah aksial (ϵ_z) dan lateral (ϵ_x) dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4 sampai Gambar 5.

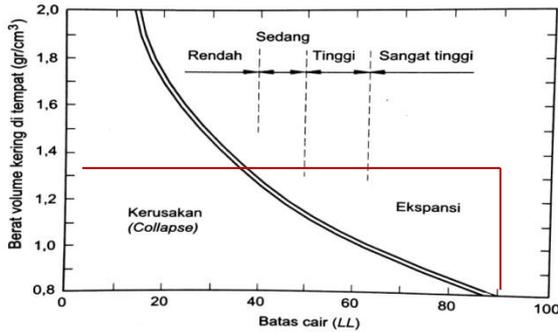
Cara sederhana untuk mengidentifikasi potensi perubahan volume tanah dikaitkan dengan indeks plastisitas (PI) atau batas susut (SL). Seperti pada Tabel 7 yaitu hubungan potensi pengembangan dan indeks plastisitas (PI) Chen (1988). Dari hasil klasifikasi dengan nilai PI = 90,75% diperoleh hasil klasifikasi tanah Purwodadi termasuk ekspansif sangat tinggi.

Tabel 7. Hasil Klasifikasi Chen (1988)

| Indeks Plastisitas (%) | Potensi pengembangan |
|------------------------|----------------------|
| >35 | Sangat tinggi |
| 20 – 55 | Tinggi |

10 – 35 Sedang
0 – 15 Rendah

Hasil klasifikasi antara batas cair (LL = 90,75 %) dan berat volume kering ($\gamma_d = 1,389 \text{ gr/cm}^3$) menggunakan grafik pada Gambar 2.3 (Mitchell and Gardner, 1975; Gibbs, 1969) dalam Hardiyatmo (2014) yaitu tanah lempung ekspansif tergolong sangat tinggi. Seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Klasifikasi

Sumber : Mitchell and Gardner, 1975; Gibbs, 1969 dalam Hardiyatmo, 2014

Menurut Altmeyer (1955) dalam Hardiyatmo (2014) menentukan potensi pengembangan yang dikaitkan dengan batas susut dan susut linier,

seperti yang terlihat dalam Tabel 4 sehingga diperoleh hasil klasifikasinya yaitu dalam katagori non kritis (Tabel 8)

Tabel 8. Hasil klasifikasi Derajat ekspansi berdasarkan batas susut dan susut linier

| Batas susut, SL (%) | Susut linier (%) | Derajat ekspansi |
|---------------------|------------------|------------------|
| <10 | >8 | Kritis |
| 10-12 | 5-8 | Sedang |
| >12 | 0-5 | Non kritis |

Sumber : Altmeyer, 1955

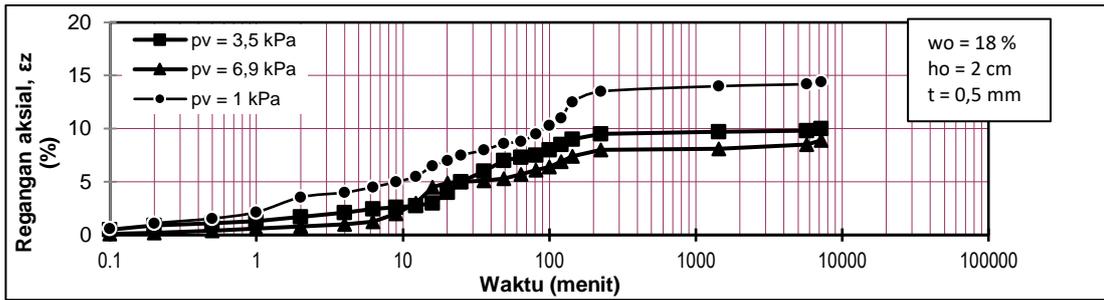
Dari hasil klasifikasi beberapa metode yang dipakai dapat disimpulkan bahwa tanah di lokasi Desa Bugel-Purwodadi termasuk tanah ekspansif tinggi dan perlu penanganan khusus agar tidak terjadi kerusakan terutama kerusakan konstruksi.

Hasil Pengujian Pengembangan

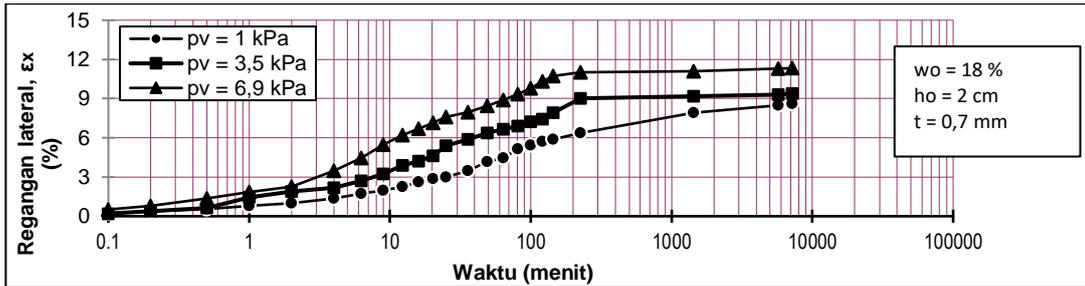
Pengujian pengembangan diperoleh hubungan antara waktu pengembangan terhadap pengembangan arah aksial (ϵ_z) dan lateral (ϵ_x) dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 7 sampai Gambar 8.

Tabel 8. Rekapitulasi hasil pengembangan pada D = 4.5 cm, h = 2 cm dengan $\gamma_d = 13,89 \text{ kN/m}^3$

| Kadar air awal, w_0 (%) | Tinggi awal sampel h_0 (cm) | Tebal membran (mm) | Tekanan vertikal p_v (kPa) | Angka pori awal, e_0 (%) | Regangan aksial ϵ_z (%) | Regangan lateral ϵ_x (%) |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 18 | 2 | 0,5 | 1 | 1,06 | 15.700 | 10.911 |
| | | | 3,5 | 1,09 | 11.550 | 13.822 |
| | | | 6,9 | 1,10 | 9.250 | 15.844 |
| | | 0,7 | 1 | 1,09 | 17.000 | 10.467 |
| | | | 3,5 | 1,11 | 12.050 | 13.333 |
| | | | 6,9 | 1,10 | 9.400 | 15.800 |
| 31 | 2 | 0,5 | 1 | 1,09 | 14.400 | 8.844 |
| | | | 3,5 | 1,08 | 10.000 | 10.667 |
| | | | 6,9 | 1,12 | 8.900 | 11.733 |
| | | 0,7 | 1 | 1,09 | 16.000 | 8.622 |
| | | | 3,5 | 1,09 | 12.000 | 9.400 |
| | | | 6,9 | 1,09 | 9.250 | 11.333 |

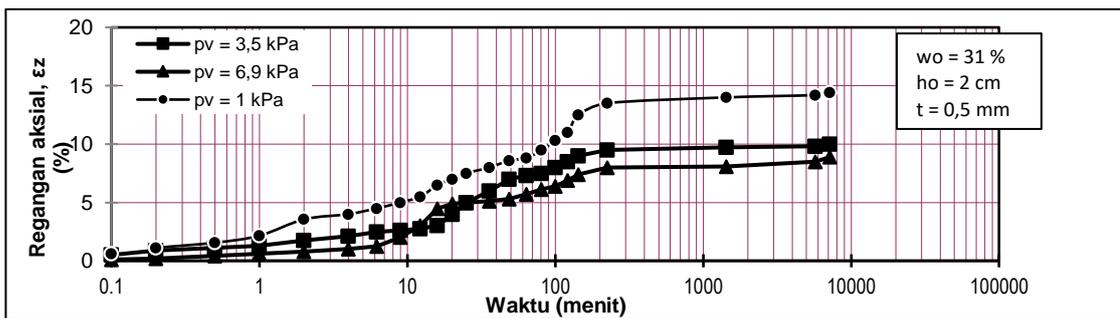


(a)

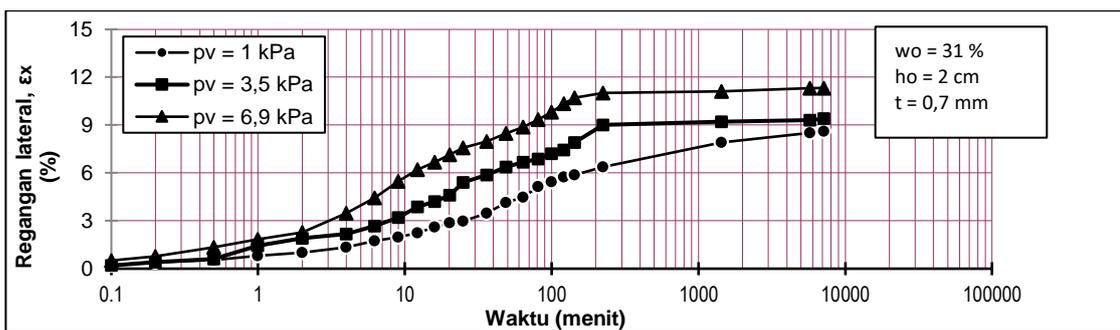


(b)

Gambar 7. Hubungan antara waktu pengembangan terhadap regangan (a) aksial dan (b) lateral pada $w_0=18\%$



(a)

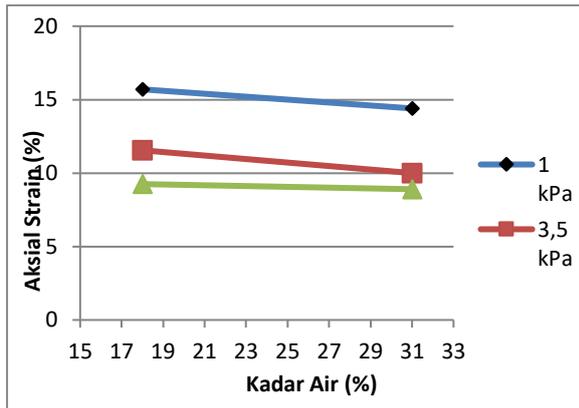


(b)

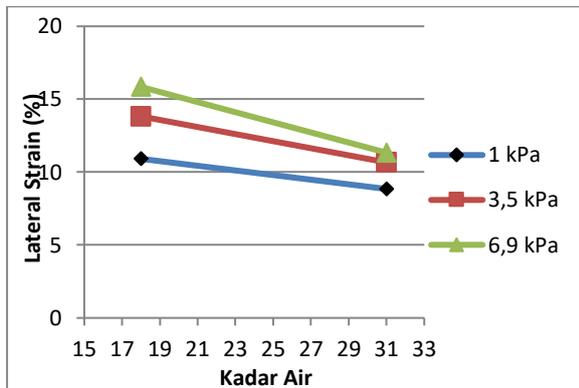
Gambar 8. Hubungan antara waktu pengembangan terhadap regangan (a) aksial dan (b) lateral pada $w_0=31\%$

Pengaruh Kadar Air Awal (w_0)

Kadar air awal (w_0) sangat berpengaruh pada regangan pengembangan. Hasil uji pengaruh kadar air terhadap regangan pengembangan di tunjukkan oleh Gambar 3.5.



(a) Regangan Aksial



(b) Regangan Lateral

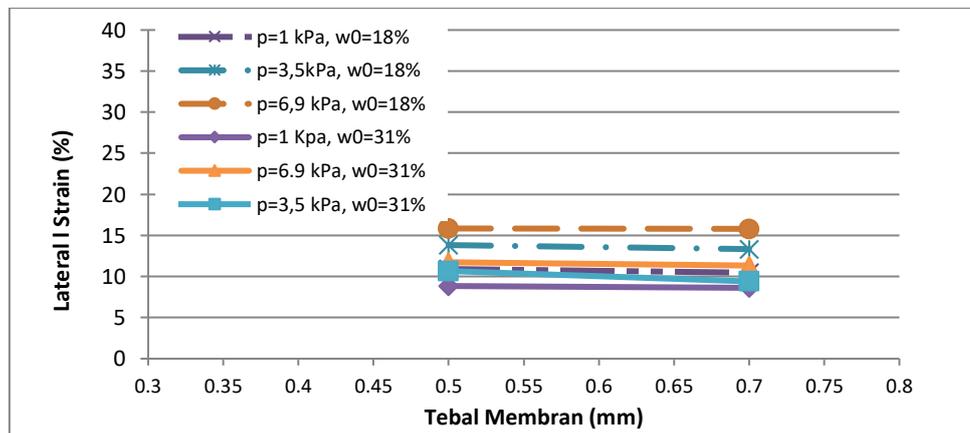
Gambar 9. Pengaruh variasi kadar air pada regangan Aksial dan Lateral pada $h_0 = 2$ cm dan $t = 0,5$ mm

Hasil pengujian pada Gambar 9 menunjukkan bahwa kadar air mempengaruhi regangan aksial (ϵ_z) dan lateral (ϵ_x), terutama benda uji dengan tekanan vertikal (p_v) = 1 kPa. Regangan pengembangan aksial terbesar saat $w_0 = 18\%$ sebesar 15.8%. Pada pengujian ini regangan pengembangan aksial lebih besar dari pada regangan lateral (Gambar 9.a). Sedangkan regangan lateral terbesar terjadi pada benda uji dengan tekanan vertikal (p_v) = 6,9 kPa pada saat $w_0 = 18\%$, pada pengujian ini regangan lateral lebih besar dari regangan aksial (Gambar 9.b).

Pengaruh Tebal Membran (t)

Variasi tebal membran dalam pengujian ini adalah 0,5 mm dan 0,7 mm. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh tebal membran pada benda uji saat terjadi regangan pengembangan. Hasil uji pengaruh tebal membran terhadap regangan pengembangan di tunjukkan pada Gambar 10.

Gambar 10 menunjukkan bahwa tebal membran mempengaruhi regangan lateral, yaitu semakin tebal membran pada benda uji, semakin kecil regangan lateral yang terjadi, sebaliknya semakin tipis membran pada benda uji, semakin besar regangan lateral. Regangan lateral (ϵ_x) maksimum mencapai 15,844% pada $t = 0,5$ mm, $p = 6,9$ kPa, $w_0 = 18\%$.

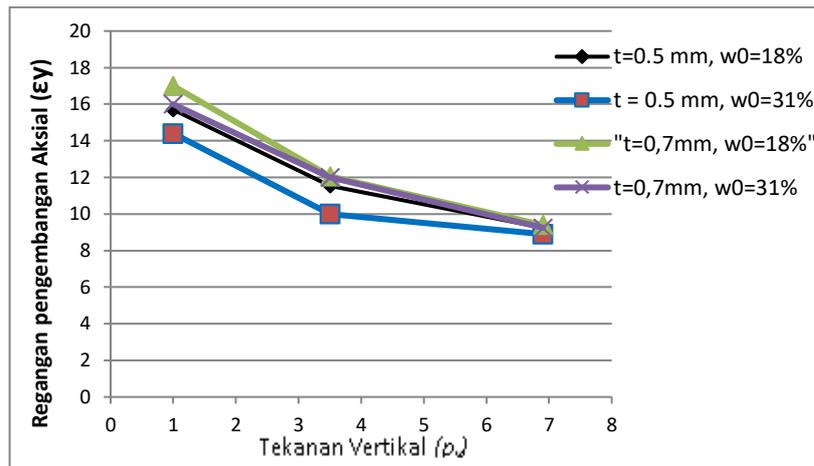


Gambar 10. Pengaruh variasi tebal membran terhadap regangan lateral pada $h_0 = 2$ cm

Pengaruh Tekanan Vertikal (p_v) terhadap Regangan Pengembangan Aksial dan Lateral

Pada penelitian ini digunakan tiga variasi tekanan arah vertikal (p_v) yaitu 1 kPa, 3,5 kPa, dan 6,9 kPa. Tujuan dilakukan variasi tekanan vertikal

(p_v) adalah untuk melihat pengaruh tekanan secara vertikal (p_v) terhadap regangan pengembangan arah aksial dan lateral



Gambar 11. Pengaruh tekanan vertikal (p_v) terhadap regangan pengembangan aksial, ϵ_y pada diameter, $D = 4,5$ cm, $h_o = 2$ cm

Gambar 11 menunjukkan regangan Aksial terbesar terjadi pada tekanan vertikal (p_v) 1 kPa. Hubungan antara tekanan vertikalnya (p_v) terhadap regangan pengembangannya bahwa semakin kecil tekanan vertikalnya (p_v), semakin besar regangan aksialnya karena tekanan yang menekan pengembangan juga kecil dan semakin besar tekanan vertikalnya (p_v) maka semakin kecil regangan aksialnya. Sedang untuk regangan lateralnya, semakin besar tekanan vertikalnya (p_v), semakin besar regangan lateralnya dan semakin kecil tekanan vertikalnya (p_v) maka semakin kecil pula regangan lateralnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa jenis tanah di lokasi Desa Bugel-Purwodadi termasuk tanah ekspansif tinggi dimana mempunyai parameter batas cair ($LL = 90,57\%$) dan indeks plastisitas ($PI = 66,61\%$). Regangan Aksial (ϵ_z) maksimum mencapai $15,844\%$ pada $t = 0,5$ mm, $p = 6,9$ kPa, $w_0 = 18\%$ sedangkan regangan lateral (ϵ_x) maksimum mencapai 17% pada $t = 0,7$ mm, $p = 1$ kPa, $w_0 = 18\%$. Sehingga potensi ancaman kerusakan struktur sipil hampir sama besar antara regangan lateral (ϵ_x) dan potensi ancaman regangan vertikal (ϵ_z). Faktor yang mempengaruhi besarnya regangan arah aksial dan lateral sangat berhubungan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi potensi pengembangan seperti tekanan vertikal (p_v), kadar air awal (w_0), dan tebal membran (t). Untuk mengurangi potensi kembang susut pada tanah ekspansi dapat melakukan stabilisasi tanah agar kerusakan struktur akibat kembang susut tanah ekspansif tidak terjadi. Stabilisasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan penambahan kapur (*lime*) sesuai dengan penelitian

yang telah dilakukan oleh Sutikno dan Damianto. B. (2009).

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyani, Ninik & Wahyuni. DP, 2007, Majalah Ilmiah : Perbaikan Tanah Lempung Dari Grobogan Purwodadi Dengan Campuran Semen Dan Abu Sekam Padi, Yogyakarta, UKRIM
- Chen, F.H., 1975, Foundations On Expansive Soils., Development in Geotechnical Engineering, Elsevier Scientific Publication Company, New York
- Hardiyatmo, H.C., 2014, Tanah Ekspansif, edisi 1, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Permadi, W & Pradipta, BK, 2016, Jurnal Teknik Sipil : Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Godong-Purwodadi Km 50 Menggunakan Proses Elektrokinetik Dengan Stabilisator Accu Zuur Dan Kapur, Semarang, Universitas Diponegoro
- Sudjianto, A.T., 2012, Disertasi : Permodelan Perilaku Kembang Tiga Dimensi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Oedometer Modifikasi, Yogyakarta, Universitas Gajah Mada,
- Sutikno dan Damianto. B. (2009). Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Penambahan Kapur (Lime) : Aplikasi Pada Pekerjaan Timbunan, Jurnal Teknik Sipil dan