

Model Skala Laboratorium Tanah Ekspansif Saat Mengembang dengan Beban Slab

Ekspansif Soil Laboratory-scale model when swelling with slab load

Cahyo Agung Saputra*, Bambang Setiawan, Yusep Muslih Purwana

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.

*Corresponding author email: Saputra71@outlook.co.id



Kata Kunci:

Tanah Ekspansif;
Swelling, Slab; Kadar
Air

Abstrak

Tanah ekspansif termasuk dalam jenis tanah bermasalah yang sangat sensitif terhadap perubahan kadar air. Jenis tanah ini menyusut secara signifikan sebagai akibat dari perubahan volume pori, menciptakan gaya angkat pada struktur yang ada dan berpotensi merusaknya. Tujuan penelitian ini untuk melihat perilaku tanah ekspansif yang berada di bawah slab beton, mulai dari pola pengembangan, tekanan yang ditimbulkan ketika tanah mengembang dan kecepatan rambatan aliran air. Penelitian dilakukan secara eksperimen di Laboratorium Mekanika Tanah UNS Surakarta, alat uji utama yang digunakan dalam pengujian ini berbentuk box uji dua dimensi, parameter propertis tanah yang diuji adalah kadar air awal, *specific gravity*, *grain size analysis*, dan *atterberg limit*. Tanah ekspansif yang digunakan berasal dari daerah Sambungmacan. Hasil dari permodelan ini didapatkan, nilai tekanan pengembangan maksimum hasil uji menggunakan proving ring adalah sebesar 121,26 kPa dengan *displacement* maksimum 58,54 mm dan kecepatan rambatan air rata-rata 1,2094 mm/jam.

Keywords:

*Expansive Soil; Swelling;
Slabs; Water content*

Abstract

Expansive soil is a problematic soil type that is very sensitive to changes in moisture content. These soils shrink significantly as a result of changes in pore volume, creating a lifting force on existing structures and potentially damaging them. The purpose of this research is to observe the behavior of expansive soils under concrete slabs, starting from the swelling pattern, the pressure generated when the soil swelling and the speed of water flow propagation. The research was conducted experimentally at the Soil Mechanics Laboratory of UNS Surakarta, the main test equipment used in this test was a two-dimensional test box, the soil property parameters were initial moisture content, specific gravity, grain size, and Atterberg limit. The expansive soil used comes from Sambungmacan area. The result of this modeling was obtained, the maximum development pressure value of the test results using the proving ring is 121.26 kPa with a maximum displacement of 58.54 mm and an average water propagation speed of 1.2094 mm/hour.

PENDAHULUAN

Tanah merupakan dasar bagi suatu konstruksi agar dapat berdiri. Menurut Shah, Mengal, & Mandokhail, (2017), tanah adalah massa mineral yang tidak terkonsolidasi (longgar) dengan atau tanpa bahan organik yang terletak di permukaan kerak bumi. Karena kondisi tanah memiliki dampak yang besar pada bangunan, survei tanah sebelum konstruksi sangat diperlukan. Pekerjaan konstruksi tidak lepas dari aspek terpenting yaitu tanah. Beberapa masalah yang sering dihadapi pada dasarnya disebabkan oleh sifat teknis tanah yang buruk, yang dimanifestasikan sebagai air tanah yang berlebih, daya komparatif yang tinggi, dan daya dukung yang rendah. Beberapa jenis tanah mengalami perubahan volume secara signifikan karena perubahan kadar air, tanah berlempung dan mengandung banyak mineral cenderung memiliki potensi pengembangan yang tinggi, kondisi tanah ini disebut dengan tanah ekspansif (Hardiyatmo, 2002).

Menurut Mochtar (1994), masalah tanah ekspansif terdapat di seluruh Indonesia, mulai dari Sumatera hingga Papua. Total kerugian belum dilaporkan, berdasarkan penelitian dan penyelidikan yang telah dilakukan oleh

Puslitbang Tol dan Bina Marga di bawah Departemen Pekerjaan Umum, diketahui bahwa kerusakan pada beberapa ruas jalan di pulau Jawa disebabkan oleh masalah tanah ekspansif, sehingga dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan struktur pondasi pada tanah ekspansif, pengembangan tanah pada area tersebut harus dapat diprediksi dan diukur.

Tanah ekspansif ketika mengalami pembasahan maka akan terjadi pengembangan ke arah horizontal maupun vertikal (Sorochan, 1991). Sebagai konsekuensinya, pada konstruksi bangunan seperti pondasi dan jalan yang dibangun di atas tanah ekspansif, harus dilakukan perhitungan *displacement* yang akan terjadi pada saat tanah ekspansif mengalami pengembangan.

Banyak penelitian telah dilakukan tentang perilaku tanah ekspansif. Dalam penelitiannya, (Mu'tabiroh, 2018) membahas tentang Perilaku tanah ekspansif di permukaan jalan terhadap perubahan beban kendaraan, dari hasil penelitian ini dihasilkan output penelitian berupa jenis tanah, kapasitas daya dukung tanah, pengaruh variasi beban yang diberikan pada saat permodelan menggunakan plaxis. Perilaku mengenai tanah ekspansif juga dilakukan (Diana, 2018), penelitian ini membahas tentang perilaku deformasi sistem pelat terpaku pada tanah ekspansif, pengaruh ukuran tiang, sambungan tiang dengan pelat, dan analisis prediktif pengembangan tanah dan deformasi sistem pelat terpaku.

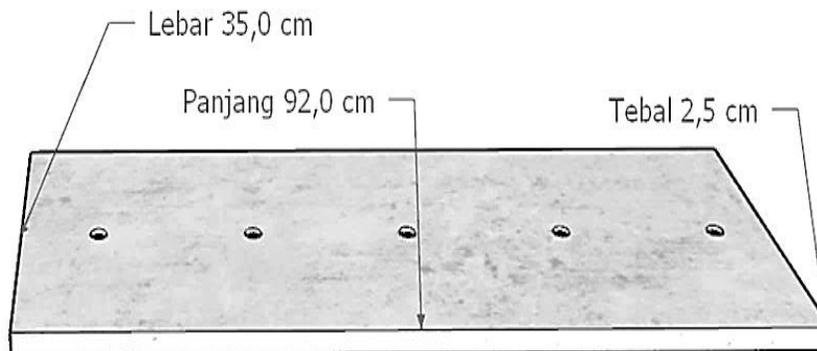
Berdasarkan masalah-masalah yang sering ditimbulkan oleh tanah ekspansif dan hasil riset terdahulu, sangat perlu untuk diteliti, salah satunya dengan cara permodelan bagaimana perilaku dan pola pengembangan yang terjadi pada tanah ekspansif, sehingga bisa diketahui cara untuk meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan.

METODE PENELITIAN

Secara keseluruhan, penelitian ini meliputi empat tahapan pekerjaan, pertama pengambilan sampel tanah (*sampling*), kedua identifikasi tanah ekspansif (*identification of expansif soil*), ketiga penjemuran dan penghancuran tanah, dan keempat pengujian pengembangan tanah pada kotak uji (*swelling*). Penelitian ini dilakukan dengan mengaliri air pada sisi box uji, yang berlangsung sampai diperoleh *swelling* maksimal dan nilainya tetap.

Material

Material utama yang digunakan adalah tanah dan pelat beton. Material tanah ini diambil di daerah Kecamatan Sambungmacan, Kabupaten Sragen dengan koordinat $-7^{\circ}21'43,874''$; $E111^{\circ} 7'15,627''$. Sampel tanah tersebut diuji dan dijemur di bawah terik matahari kemudian dihaluskan dan disaring dengan nomor saringan 4. Slab Beton terbuat dari rasio campuran 1 semen : 2,9 pasir : 4,1 koral, dengan mutu beton 14,05 MPa setelah dilakukan uji tekan. Berikut ditunjukkan pada Gambar 1 dimensi slab yang dimodelkan. Pada bagian tengah slab diberi lubang sebanyak lima titik, yang berfungsi sebagai tempat Proving ring.



Gambar 1. Dimensi Slab

Alat

Ada 2 alat uji utama dalam permodelan ini yaitu proving ring dan box uji. Proving Ring merupakan alat yang digunakan untuk mengukur gaya yang dihasilkan oleh tanah ekspansif pada saat pembasahan. Tanah akan mengembang dan mendorong ke atas kemudian diterima oleh luasan piringan. Sebelumnya proving ring telah dikalibrasi untuk mengetahui *Load Ring Constanta* (LRC). Pada Gambar 2 dan Tabel 1 merupakan tampilan dan nilai LRC dari proving ring yang digunakan.



Gambar 2. Proving Ring

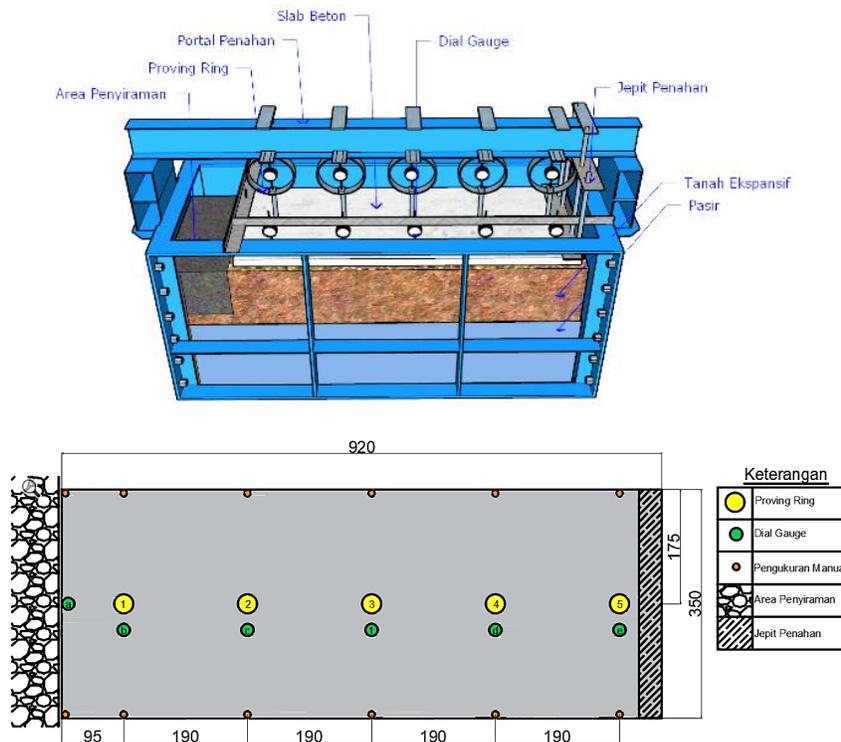
Tabel 1. Nilai LRC Proving Ring

Proving Ring	Load in (Kg)	LRC-Dial Gauge Reading (div)
1	0,6023	1,33 lbs
2	0,5352	1,18 lbs
3	0,4406	0,97 lbs
4	0,5366	1,18 lbs
5	0,4656	1,03 lbs

Kotak uji yang digunakan terbuat dari besi, dengan dimensi: panjang 120 cm, lebar 48 cm tinggi 57 cm. Pada sisi depan dan belakang box terdapat membran akrilik setebal 2 cm. Kedua sisi box ditahan oleh besi strip plate secara melintang dan membujur.

Perangkaian Material dan Alat Uji

Tahap ini material mulai dimasukan ke dalam box uji, volume tanah yang digunakan 0,88 m³ dengan berat 114,46 kg. Meletakkan pelat di atas tanah yang telah dipadatkan sebelumnya, memasang proving ring pada setiap titik lubang yang terdapat pada slab, memasang portal penahan proving ring di atas box uji, memasang jepit penahan pada sisi ujung slab, menentukan titik pemasangan dial di atas slab, mengatur semua posisi jarum dial agar berada di posisi nol. Gambar 3 merupakan tampilan dari box uji yang telah dirangkai dan penentuan titik penempatan dial pembacaan.



Gambar 3. (a) Konfigurasi rangkaian box, (b) Posisi peletakan dial

Pengujian

Sebelum dilakukan pengujian inti ada beberapa tahapan pengujian awal yang dilakukan, seperti indeks properties, pemadatan, berat isi dan CBR.

1. Indeks properties tanah

Pengujian propertis tanah meliputi survei pendahuluan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan tanah yang diuji. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisa untuk mengetahui besarnya pengembangan tanah dengan menggunakan berbagai metode.

2. Pemadatan

Pemadatan dilakukan sesuai standar (ASTM D-698). Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kepadatan maksimum sampel tanah di kotak uji, kemudian diukur kerataan permukaannya menggunakan waterpass.

3. Berat Isi Kering (Kepadatan)

Tahapan ini dilakukan di tiga titik yaitu kiri, kanan dan tengah tanah. Proses pelaksanaannya dilakukan dengan cara menimbun cawan di kedalaman 10 cm, kemudian dikubur lalu dipadatkan dan selanjutnya dilakukan tes CBR. Setelah pengujian CBR selesai cawan yang telah ditimbun diambil kembali dan diuji berat isi kering hasil dari pemadatan sebelumnya, didapatkan $\gamma_{rata-rata} = 1,46 \text{ gr/cm}^3$.

4. Pengujian CBR

Uji CBR (*California Bearing Ratio*) adalah salah satu metode yang digunakan untuk menentukan kekuatan tanah dengan membandingkan tahanan piston dengan tanah dengan tahanan yang sama (Feryan, 2019). Uji CBR pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tanah awal sebelum dilakukan pembasahan.

5. Pengaliran Air dan Pembacaan

Pengaliran air dimulai pada salah satu sisi box yaitu pada segmen batu pecah seperti terlihat pada Gambar 3, yang dialirkan secara konstan sebanyak 1.5 liter perhari pada pukul 08.00 selama 32 hari. Waktu pembacaan data perhari dilakukan pada 0.5 jam, 1 jam, 1.5 jam, 3 jam dan 6 jam setelah penyiraman dilakukan, pembacaan terakhir dilakukan pada pukul 16.00.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks Properties Tanah

Hasil tes indeks propertis pada Tabel 2, tanah Sambungmacan termasuk kedalam kategori ekspansif dengan derajat pengembangan sangat tinggi, dilihat dari hasil pengujian indeks plastisitas $>32\%$ (Raman, 1967). Dilihat dari batas cair (LL) tanah Sambungmacan juga masuk ke dalam kategori ekspansif dengan derajat pengembangan sangat tinggi karena berada pada rentang nilai 70-90% (Ladd & Lambe, 1961).

Tabel 2. Indeks Properties Tanah Sambung Macan

Pengujian	Parameter	Satuan	Nilai
Kadar air awal	w_0	%	61,6
Specific Gravity	G_s	-	06,28
Grain size analysis	Gravel(G)	%	7,12
	Sand (S)	%	14,44
	Silt (M)	%	73,53
	Clay (C)	%	4,91
Atterberg limit	Batas Cair (LL)	%	89,85
	Batas Plastis (PL)	%	40,83
	Indeks Plastis (PI)	%	49,02
	Batas Susut (SL)	%	23,57
	Klasifikasi Tanah	-	Lanau tak organik

Berat Isi Kering (Kepadatan)

Hasil kapadatan berat isi kering bisa ditarik hubungan nilainya dengan potensi pengembangan secara grafis dengan memplotkan berat isi kering yang telah didapatkan (Vijayvergiya & Ghazzaly, 1973). Potensi pengembangan yang di peroleh sekitar 2,2% ini termasuk kedalam potensi pengembangan yang tinggi karena > 1,5% (Snethen, 1984).

Tabel 3. Berat Isi Kering

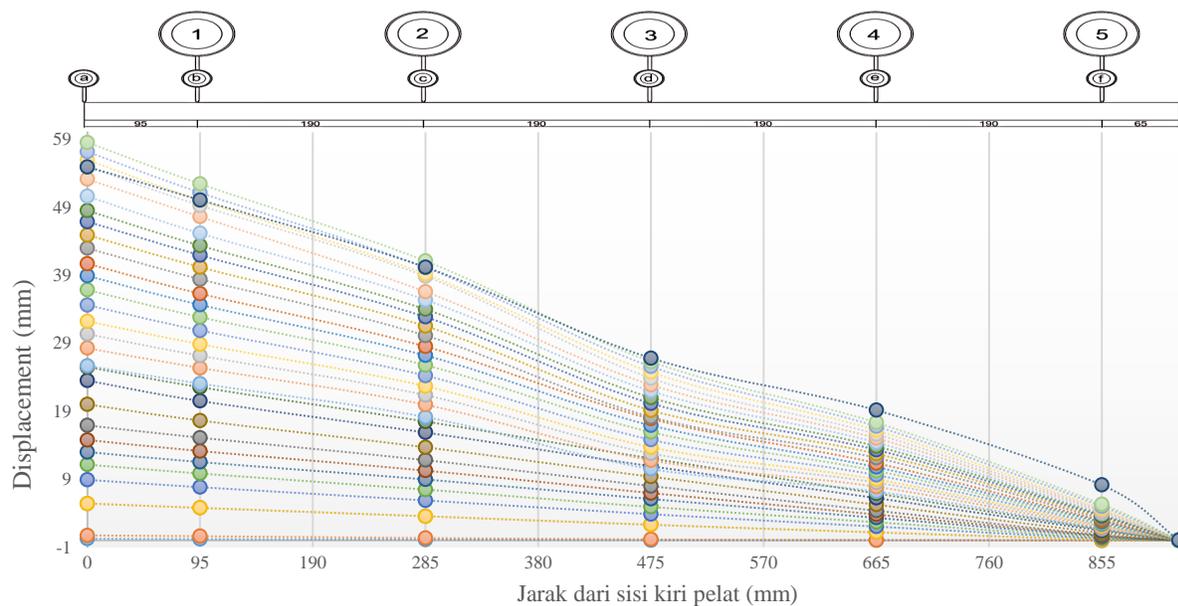
Cawan	18	19	46
Berat Cawan	4,34	4,18	4,2
Berat Cawan + Raksa (cm ³)	843,36	849,6	810,6
Berat cawan + tanah (gr)	87,58	91,27	90,55
Y (gr/cm ³)	1,41	1,46	1,52
Y Rata-rata		1,46	

Uji CBR

Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali di titik yang berbeda-beda kemudian diambil nilai rata-rata sebesar 2,13%. Dari nilai CBR ini dapat ketahui nilai modulus reaksi subgrade tanah sebesar 19 kPa/mm dari korelasi antara CBR dengan Reaksi Subgrade (NAASRA, 1987).

Displacement Slab Beton

terjadi *displacement* pelat beton ke arah vertikal akibat dari desakan pengembangan tanah ekspansif pada Gambar 4 dapat dilihat besaran dan pola *displacement* yang terjadi pada pelat beton. *Displacement* tertinggi berada pada dial (a), dimana *displacement* yang terjadi sebesar 58,545 mm yang terjadi pada hari ke-31 + 30 menit. Saat deformasi maksimum terjadi kadar air berada pada level 46,22%. Tabel 4 menampilkan data *displacement* yang terjadi pada setiap titik dial, sampai menyentuh deformasi maks pada setiap dial.



Gambar 4. Grafik *Displacement* slab selama 32 Hari

Tabel 4. Nilai Maksimum *Displacement*

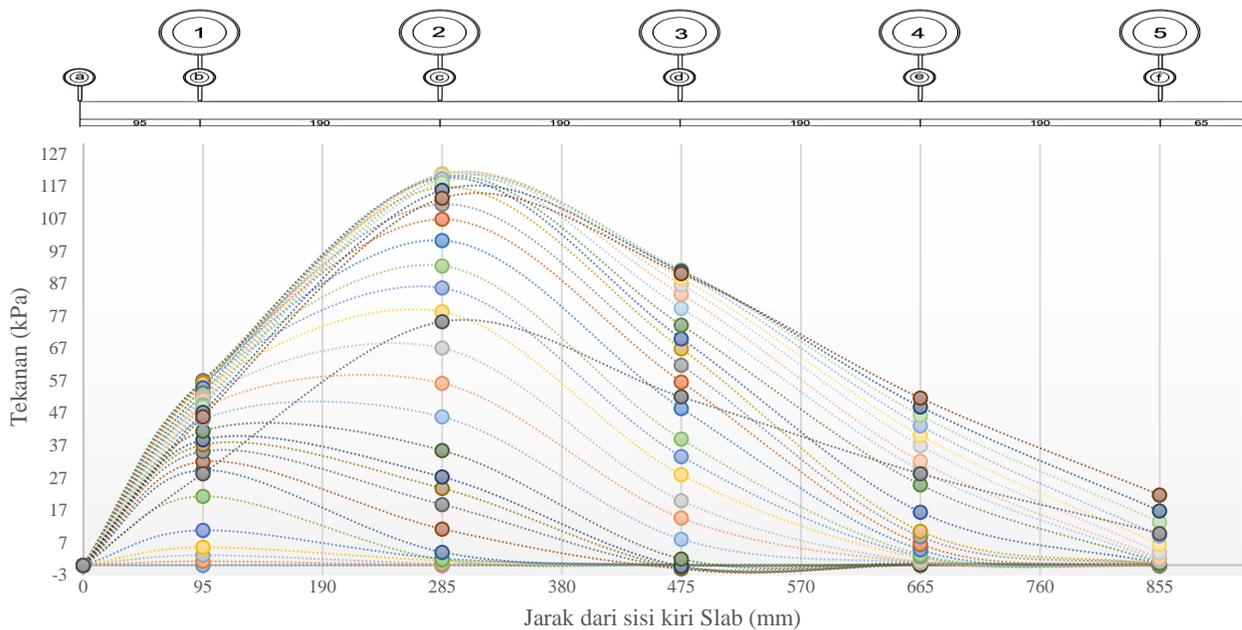
<i>Dial Gauge</i>	<i>Displacement (mm)</i>	<i>Waktu</i>	
		<i>Hari</i>	<i>Jam</i>
a	58,54	31	+0,5
b	52,47	31	+0,5
c	41,16	31	+0,5
d	26,4	31	+0,5
e	19,12	32	-
f	8,12	32	-

Pengembangan Tanah Ekspansif

Tekanan pengembangan pada tanah ekspansif diukur menggunakan proving ring. Tanah akan mengembang dan mendorong ke atas yang diterima oleh luasan piringan besi dan dibaca melalui dial. Pada pengujian ini diperoleh nilai preasure yang berbeda-beda pada setiap proving ring yang ada sesuai dengan jarak dan kadar air yang di berikan. Pada Gambar 5 bisa kita lihat pola tekanan pengembangan tanah yang terjadi di bawah pelat beton selama 31 hari pengaliran air, dengan kadar air total 40,56%. Tabel 5 merupakan hasil rekapitulasi nilai tekanan pengembangan PVR maksimal pada setiap dial.

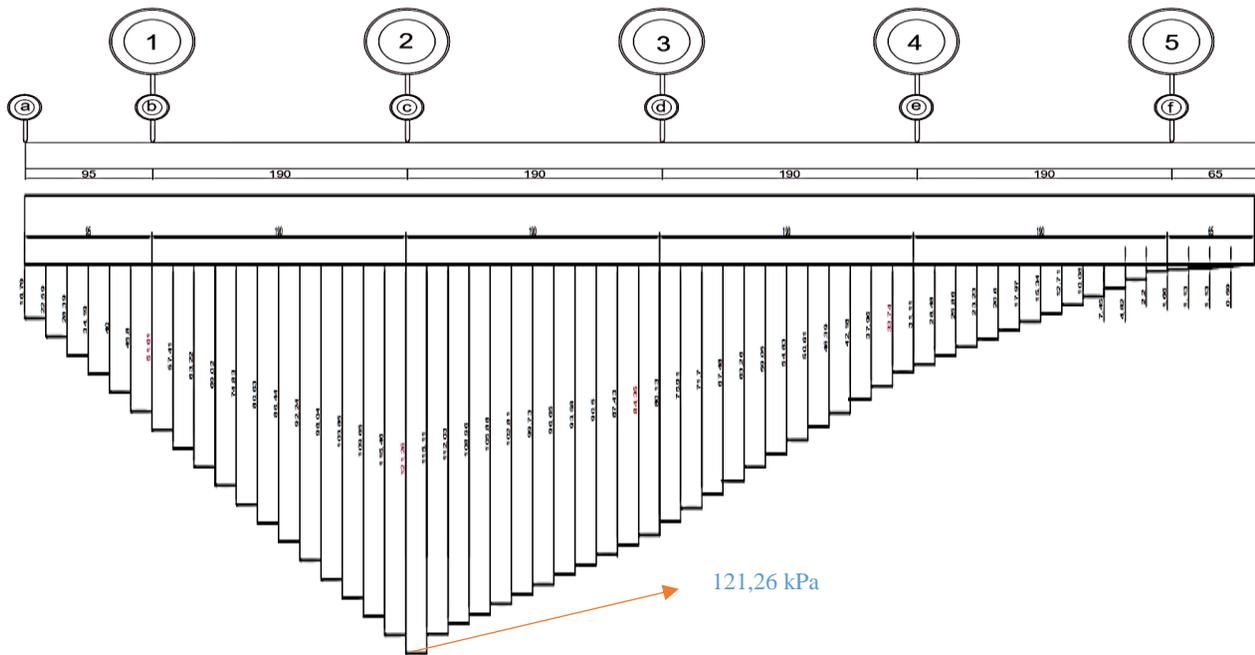
Tabel 5. Rekapitulasi Tekanan Mengembang Maksimal

PVR	Tekanan (kPa)	Waktu		Kadar Air (%)	Panjang Rambatan Air (mm)
		Hari	+Jam		
1	57,41	18	6	24,89	550,18
2	121,26	25	1	34	805,28
3	91,18	29	0	37,94	994,27
4	51,59	31	0	40,56	1048,87
5	21,7	31	0	40,56	1048,87



Gambar 5. Grafik Tekanan Tanah Ekspansif

Berdasarkan nilai tekanan yang di dapatkan maka dapat digambarkan pola dan gaya angkat tanah ekspansif yang bekerja disepanjang bawah slab beton. Pada Gambar 6 merupakan gaya angkat yang bekerja di bawah pelat beton pada saat tekanan maksimum 121,26 kPa.



Gambar 6. Tekanan pengembangan yang bekerja saat maksimum

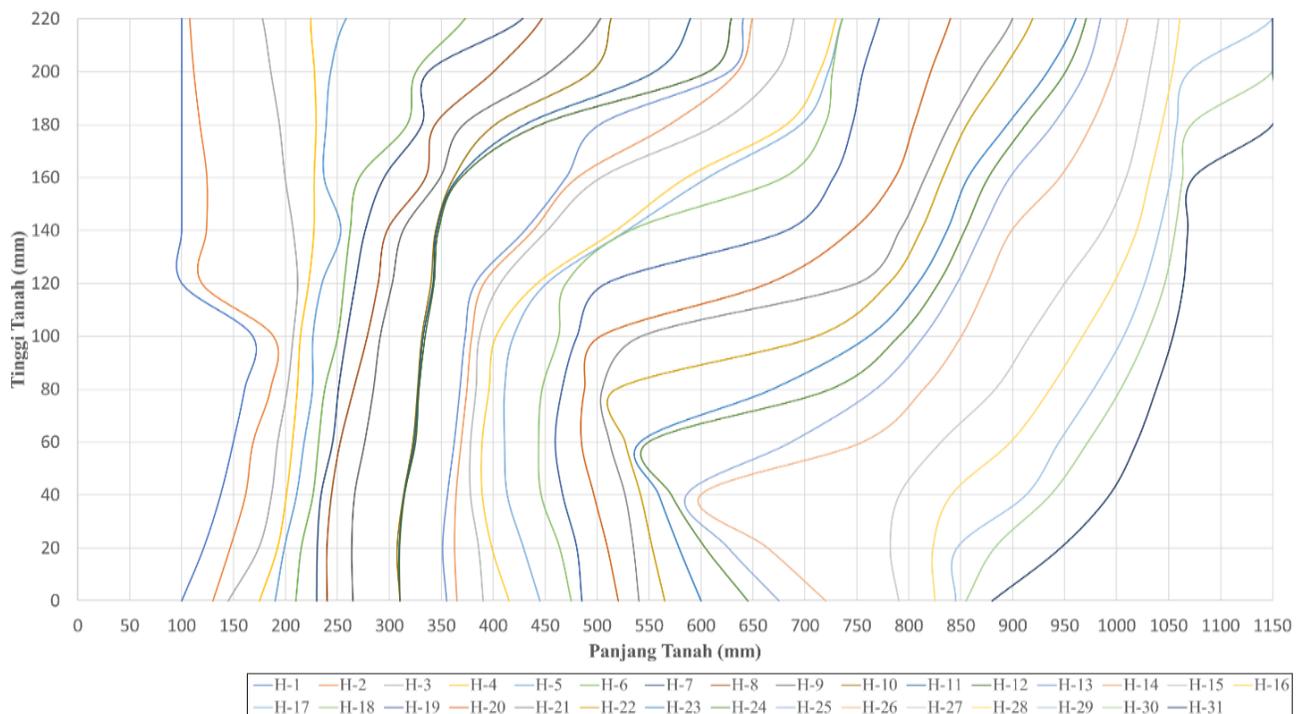
Kecepatan dan Pola Rambatan Air

Kecepatan dan pola rambatan air diperoleh dari hasil pengamatan dan pencatatan setiap harinya dengan cara menggambar setiap pola aliran air yang terjadi setelah pembasahan, pada membran akrilik bagian depan box. Setelah dilakukan rekapitulasi didapatkan kecepatan rambatan air rata-rata adalah 1,209 mm/jam namun kecepatan rambatan memiliki kecepatan yang berbeda-beda sesuai dengan kedalaman tanah, dengan mengetahui kecepatan rambatan aliran ini kita bisa memprediksi berapa lama waktu penyiraman yang diperlukan sampai keadaan tanah jenuh.

Data kecepatan rambatan ini juga bisa dibuktikan bahwa semakin dalam tanah maka semakin pelan kecepatan rambatan sehingga perubahan volume menjadi lebih sedikit. Victorine dkk (1997) menyatakan bahwa pada bagian terdalam tanah perubahan volume tanah yang besar jarang terjadi. Umumnya perubahan volume terjadi berada beberapa meter di bagian atas deposit tanah yang mungkin terpengaruh oleh perubahan kadar air. Kecepatan rambatan sesuai kedalaman tanah dapat dilihat pada Tabel 6 dan pola rambatan air pada Gambar 7.

Tabel 6. Kecepatan rambatan Air

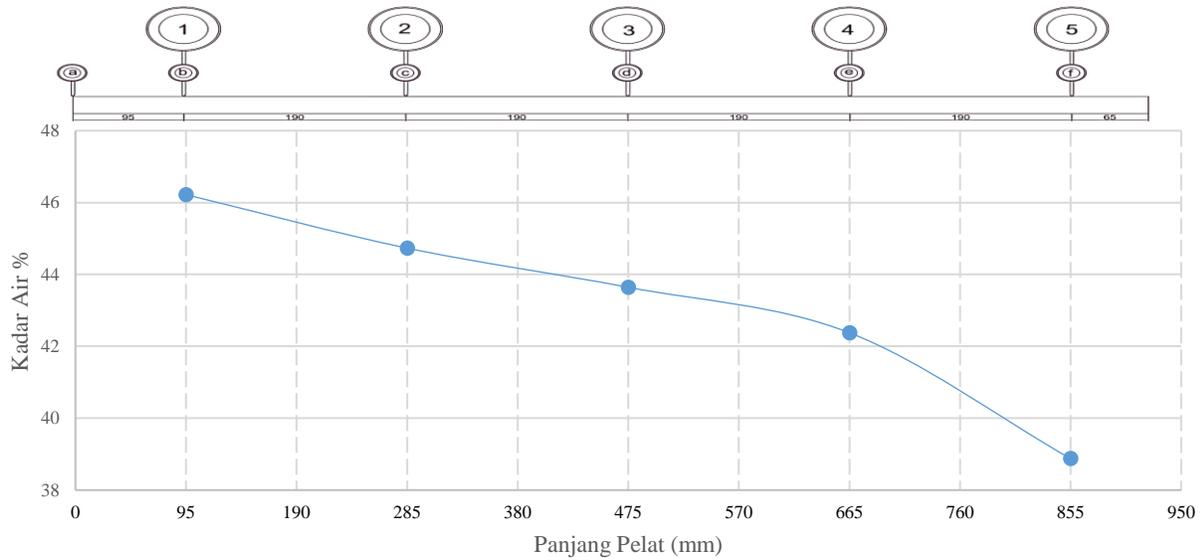
Kedalaman Tanah Dari Permukaan (mm)	Kecepatan Rata-Rata Rambatan Aliran (mm/jam)
0	1,459
20	1,459
40	1,458
60	1,352
80	1,345
100	1,339
120	1,23
140	1,218
160	1,207
180	1,188
200	1,145
220	1,083



Gambar 7. Grafik Pola Rambatan Air

Kadar Air Akhir

Setelah proses pembasahan selesai kemudian di uji kadar air akhir. Sampel yang di uji merupakan tanah yang tepat berada di bawah proving ring. Pada Gambar 8 terlihat bahwa setiap titik proving ring memiliki kadar air akhir yang berbeda-beda, semakin jauh titik dari area pembasahan semakin kecil kadar airnya. Kadar air terbesar berada proving ring 1 sebesar 46,22 % dan terkecil berada di proving ring 5 sebesar 38,88 %.

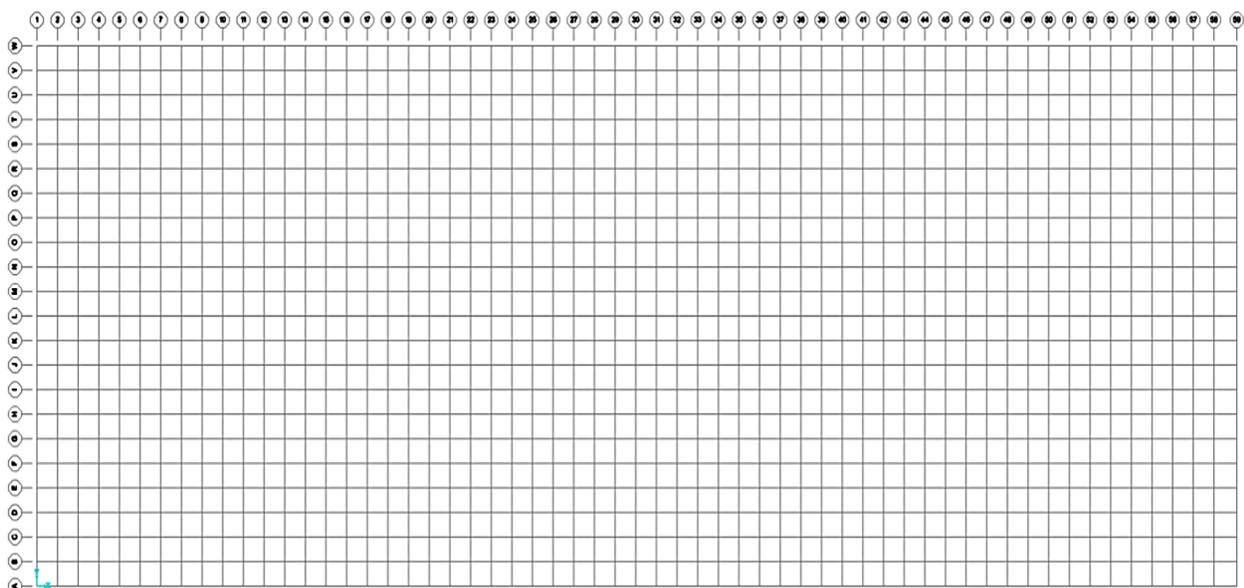


Gambar 8. Grafik Kadar air akhir

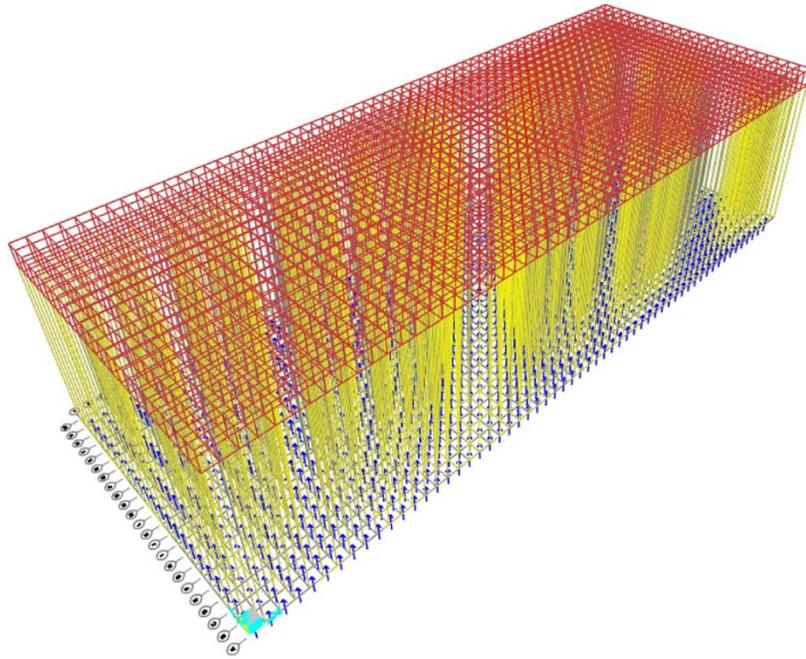
Permodelan Metode Elemen Hingga (MEH)

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang dipakai untuk memecahkan kasus rekayasa teknik, contohnya analisis tegangan. Konsep dari metode ini adalah dengan membagi benda yang dianalisis menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga. Permodelan MEH dibantu dengan Software SAP2000, dimana permodelan yang digunakan merupakan elemen 3D solid dengan memasukan nilai spring yang didapatkan dari tekanan pengembangan pengujian Box uji yang telah dilakukan.

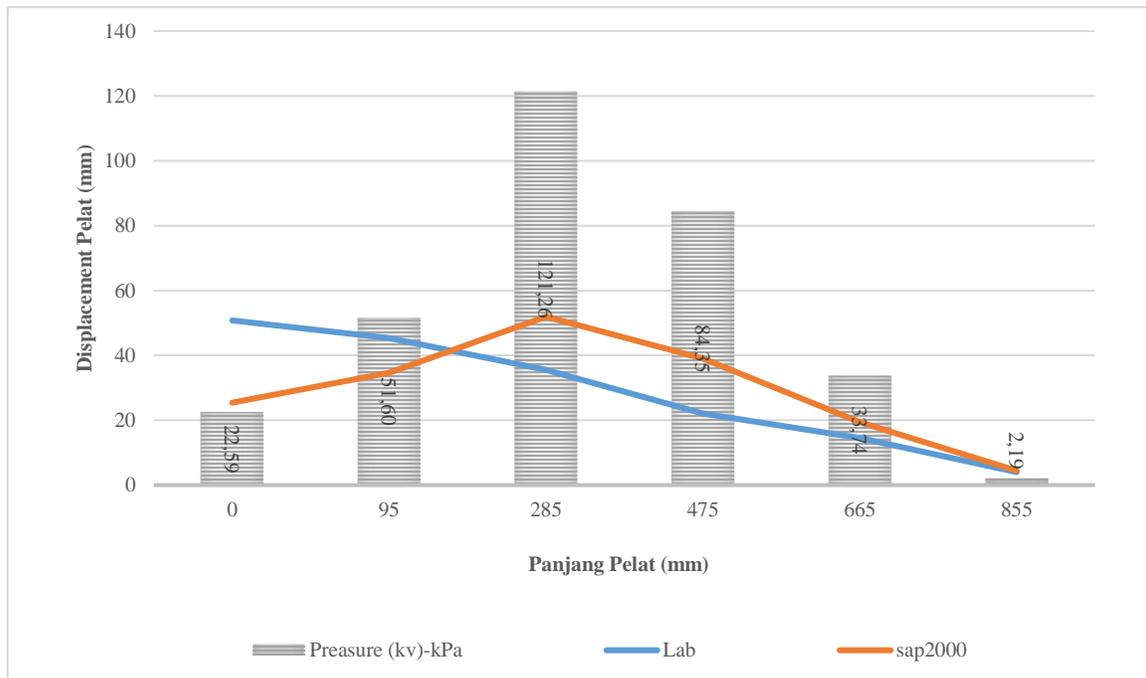
Gambar 9 merupakan tampilan pembagian pias, dibagi mendekati 1,58cm x 1,59cm, semakin banyak pembagian pias maka akan semakin detail. Gambar 10 merupakan bentuk permodelan solid 3D pada SAP2000 dimana penggambaran pelat berwarna merah dan tanah warna kuning.



Gambar 9. Pembagian pias



Gambar 10. Tampilan 3D permodelan



Gambar 11. Grafik Hasil perbandingan analisis SAP2000 dan kotak uji

Hasil MEH yang dilakukan dengan SAP2000 kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil uji laboratorium, terlihat pada Gambar 11 hasil perbandingan antara hasil box uji dan SAP2000. Terlihat bahwa hasil MEH dengan SAP2000 lebih menggambarkan *displacement* yang terjadi, *displacement* yang terjadi mengikuti pola dari tekanan pengembangan yang terjadi.

KESIMPULAN

Hasil pengamatan dan analisa yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

Tanah Sambungmacan termasuk kedalam kategori ekspansif dengan derajat pengembangan sangat tinggi, dilihat dari hasil pengujian indeks plastisitas $>32\%$ dan batas cair berada pada rentang nilai 70-90%.

Tanah Sambungmacan merupakan jenis tanah ekspansif dengan derajat pengembangan tinggi, ini terbukti dari hasil uji indeks properties dan pengujian pengembangan pada box uji yang menunjukkan hasil preasure pengembangan maksimal mencapai 121,26 kPa.

Permodelan ini kita bisa mendapatkan data-data terkait dengan tanah ekspansif yang diperlukan dalam pertimbangan sebuah perencanaan konstruksi nantinya, antara lain seperti pola pengembangan, deformasi pelat beton, preasure maksimal, kecepatan dan pola rambatan air serta korelasi antar data-data tersebut. Nantinya dalam penelitian lebih lanjut diharapkan permodelan seperti ini dapat menjadi prediksi atau masukan dalam perencanaan konstruksi di lokasi tanah ekspansif.

Perbandingan antara MEH SAP2000 dengan hasil uji box, grafik yang dihasilkan dari analisis SAP2000 terlihat lebih menggambarkan deformasi yang terjadi akibat gaya angkat yang diterima dari tanah, dimana deformasi yang terjadi polanya mengikuti nilai kv yang berada dibawahnya. Hal ini bisa membuat SAP2000 digunakan sebagai salah satu software alat bantu analisis MEH pada tanah ekspansif.

REFERENSI

- Diana, W. (2018). *Perilaku sistem pelat terpaku pada tanah ekspansif*. Disertasi Doktor. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Feryan, M. (2019). *Kajian hasil uji laboratorium nilai CBR berdasarkan kompaksi standard proctor dan nilai CBR serta nilai DCPT berdasarkan alat kompaksi Soelarno*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan. Bandung.
- Hardiyatmo, H. C. (2000). *Mekanika tanah I, edisi 2*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
- Ladd, C. C. & Lambe, T. W. (1961). The identification and behavior of compacted expansive clays. *Proceedings Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1*, 201-205.
- Mu'tabiroh, N. L. (2018). *Analisa perilaku tanah ekspansif terhadap infrastruktur perkerasan jalan ditinjau dari variasi beban kendaraan*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil UNISSULA. Semarang.
- Mochtar, I. B. (2002). *Rekayasa Penanggulangan Masalah Pembangunan pada Tanah-Tanah Sulit*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Raman, V. (1967). *Identification of expansive soils from the plasticity index data*. Calcutta: Indian Eng.
- Shah, S. J., Mengal, A. N., & Mandokhail, S. J. (2017). Analysis of swelling characteristics of expansive soil. *Journal of Applied and Emerging Sciences*, 7(1), 47-52.
- Snethen, D. R. (1984). Evaluation of expedient methods for identification and classification of potentially expansive soils. *In Proceedings, 5th International Conference on Expansive Soils, Adelaide*, 22-26.
- Sorochan, E. A.. (1991). *Construction of building on expansive soils*. Boca Raton: CRC Press.
- Victorine, T., Zhang, Z., Fowler, D. W., & Hudson, W. R. (1997). *Basic Concepts, Current Practices, and Available Resources for Forensic Investigation on Pavements*, Report No. FHWA/TX-98/1731-1, Federal Highway Administration Offices of Research & Development, Washington D.C. 20590, USA.

Vijayvergiya, V. N., & Ghazzaly, O. I. (1973). Prediction of Swelling Potential for Natural Clays. *Proceedings Third International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils*, 1, 227-234.