

## **PENGARUH KADAR AIR OPTIMUM DENGAN VARIASI KEPADATAN TERHADAP POTENSI DAN TEKANAN MENGEMBANG PADA TANAH EKSPANSIF**

Bambang Pardoyo<sup>1</sup>, Arif Hidayat<sup>1</sup>

### **ABSTRACT**

*This research is purpose to know about the related between water content and compacted of expansive soil from potential swell and pressure swell. Water content is divided to seven part : OMC-15%, OMC-10%, OMC-5%, OMC, OMC+5%, OMC+10%, and OMC+15%.. Meanwhile the compacted is divided to amount of blow from each layer in standard mold of Proctor. An each layer is given 15x, 25x, 35x, and 55x blows. The result of the research is the try of high increased compaction so potential swell and pressure swell values will decrease. The value of the potential swell and pressure will decrease if the sample test condition to be more wet.*

**Keywords** : water content, expansive soil

### **PENDAHULUAN**

Kegagalan konstruksi yang terjadi pada tanah ekspansif banyak disebabkan oleh pemahaman yang masih terbatas terhadap sifat-sifat teknis tanah ekspansif dan kegagalan dalam identifikasi permasalahan yang sering berkaitan dengan kondisi lingkungan lokal yang mempengaruhi. Tanah ekspansif banyak terdapat di Indonesia. Di antaranya adalah di Cikarang, Cikampek, Purwodadi, Cepu, dan Mojokerto.

Tanah ekspansif telah dianggap sebagai salah satu faktor penyebab bencana alam di Indonesia. Akibat yang umum ditimbulkannya yaitu rusaknya perkerasan jalan, pondasi rumah tinggal, dan tanah longsor. Tanah ekspansif memiliki karakteristik unik dalam menyerap dan melepaskan air. Saat kemarau tiba, hampir seluruh air yang dikandungnya dapat dilepaskan, tetapi saat penghujan tanah ini mampu menyerap air hingga lebih dari 100% berat keringnya.

Tanah ekspansif di Grobogan adalah salah satu masalah geoteknik yang rumit di dunia. Perubahan kadar air terjadi secara drastis.

Jenis mineral yang ada pada tanah menyebabkan tanah kuat menyerap air. Ungkapan tanah ekspansif diterapkan pada tanah yang memiliki kecenderungan untuk mengembang ketika kadar air meningkat (El Sohby dan Rabba, 1981; Wayne et al, 1984; Chen et al, 1985; Mowafy et al, 1985; Popescu, 1986; Gens dan Alonso, 1992; Sivapullaiah, 1996). Tanah ekspansif adalah ungkapan yang digunakan pada semua tanah atau material batuan yang memiliki sifat kemampuan kembang-susut saat perubahan kadar air (John D Nelson, 1992). Tanah ekspansif merupakan tanah yang memiliki prosentase lempung relatif tinggi dan berubah volumenya jika terjadi perubahan kadar air (JCP Geologist, 2001). Tanah ekspansif sering juga disebut tanah kembang-susut yaitu tanah yang mengembang jika basah dan menyusut jika kering (Wilson, 2004). Tekanan yang ditimbulkan mencapai 15.000 psf (Wilson, 2004).

Tanah ekspansif menekan pondasi ke atas selama proses pengembangan. Jika tekanannya melebihi kekuatan pondasi, maka dinding, balok, atau kolom di atasnya akan mengalami kegagalan (Geysler, 2003).

---

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil FT. Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang

Pengaruh Kadar Air Optimum dengan Variasi Kepadatan terhadap Potensi dan Tekanan Mengembang pada Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif menyebabkan keretakan dan patahan pada perkerasan jalan, rel kereta api, pondasi gedung, pelat-pelat di atas tanah, dan pipa-pipa yang mengangkut air (Gromko, 1974; Wayne et al, 1984; Mowafy et al 1985; Kehew, 1995).

Kerusakan yang ditimbulkan oleh tanah ekspansif di Amerika Serikat mencapai 9 milyar dollar di tahun 1997 dan meningkat menjadi 10 milyar dollar di tahun 1998 (Basma, 1998; Al-Rawas, 1998). Di Canada, tanah ekspansif adalah penyebab kerusakan

terparah pada pondasi gedung sejak tahun 1977 (Hamilton,1977).

### Mineralogi Lempung.

Pengetahuan tentang mineralogi lempung adalah faktor dasar dalam mengontrol perilaku tanah ekspansif. Mineral lempung dapat diidentifikasi dengan menggunakan teknik yang bervariasi, teknik yang umum dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tes Laboratorium untuk mengidentifikasi tanah ekspansif.

Tes	Acuan	Sifat yang dicari	Parameter yang ditetapkan
<b>Batas Atterberg.</b>	ASTM D 4318 95	Plastisitas, konsistensi	$P = LL - PL =$ Indeks plastisitas
Liquid Limit (LL)	ASTM D 4318 95	Batas atas plastisitas	
Plastic Limit (PL)	ASTM D 4318 95	Batas bawah plastisitas	$LI = \frac{w - LL}{LL - PL} =$ Indeks liquid
Shrinkage Limit (SL)	ASTM D 4318 95	Batas bawah kadar air dari susut tanah	$R =$ rasio susut $LS =$ susut linear
<b>Kadar Lempung</b>	ASTM D 422 90	Distribusi butir halus	% kurang dari 2 $\mu$ m
<b>Tes Mineralogi</b>	Whittig (1964)	Butir mineral lempung	
Difraksi Sinar X	ASTM STP 479	Karakteristik dimensi kristal	Basal spacings
Analisis suhu diferensial	70		
Mikroskop elektron	Barshad (1965) McCrone dan Delly (1973)	Ukuran dan bentuk dari partikel lempung	
<b>Kapasitas Pertukaran Kation</b>	Chapman (1965)	Pengisian kekurangan dan aktifitas muka pada partikel lempung	CEC (meq/100 g)
<b>Uji kembang bebas</b>	Holtz dan Gibbs (1956)	Kembang saat basah pada sampel yang tak terkonsolidasi dan tak terikat pada kondisi tanah kering udara.	$Free\ swell = (V_{wet} - V_{dry}) / V_{dry} \times 100\%$
<b>Perubahan volume potensial</b>	Lambe (1960)	Kembang (satu dimensi) dan tekan pada saat dipadatkan, sampel yang dibentuk di bawah tegangan dalam kondisi yang terkontrol	SI ( <i>swell</i> index) (lb/ft <sup>2</sup> ) PVC(Potensial Volume Change)
<b>Indek teks Pengembangan</b>	Uniform Building code	Kembang (satu dimensi) di bawah 1 psi tambahan pada sampel tanah yang dipadatkan sampai mencapai kondisi 50% jenuh air (awal).	Expansion Index (EI)
<b>CBR Test</b>	Yoder dan Witczak (1975); Kassiff et.al.(1969)	Kembang (satu dimensi) di bawah tekanan pemadatan tambahan, sampel dibentuk oleh pembasahan sebagian.	<i>Swell</i> /Persen CBR (%)
<b>Tes Koefisien luasan linear (Tes COLE)</b>	Brasher dkk (1966)	Regangan linear dari bongkahan tanah asli saat dikeringkan dari 5 psi (33 kPa) sampai penyedotan suhu oven	COLE dan LE (%)

Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite group*) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran sesuai dengan batasan yang ada (*mika group*, *serpentinite group*).

### ***Kaolinite.***

*Kaolinite* disebut sebagai mineral lempung satu banding satu (1:1). Bagian dasar struktur ini adalah lembaran tunggal silika tetrahedral yang digabung dengan satu lembaran alumina oktahedran (*gibbsite*) membentuk satu unit dasar dengan tebal kira-kira  $7,2\text{\AA}$  ( $1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$ ). Hubungan antar unit dasar ditentukan oleh ikatan hidrogen dan gaya bervalensi sekunder. Mineral *kaolinite* berwujud seperti lempengan-lempengan tipis masing-masing dengan diameter  $1000\text{\AA}$  sampai  $20000\text{\AA}$  dan ketebalan dari  $100\text{\AA}$  sampai  $1000\text{\AA}$  dengan luasan spesifik per unit massa  $\pm 15\text{ m}^2/\text{gram}$ .

### ***Montmorillonite.***

Disebut juga mineral dua banding satu (2:1) karena satuan susunan kristalnya terbentuk dari susunan dua lempeng silika tetrahedral mengapit satu lempeng alumina oktahedral di tengahnya. Tebal satu satuan unit adalah  $9,6\text{\AA}$  ( $0,96\ \mu\text{m}$ ). Hubungan antar satuan unit diikat oleh ikatan gaya Van der Waals di antara ujung-ujung atas dari lembaran silika itu sangat lemah, maka lapisan air ( $n\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) dengan kation yang dapat bertukar dengan mudah menyusup dan memperlemah ikatan antar satuan susunan kristal mengakibatkan antar lapisan terpisah. Ukuran unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.

### ***Illite.***

Memiliki formasi struktur satuan kristal yang hampir sama dengan *montmorillonite*.

## **Aktivitas**

Tepi-tepi mineral lempung mempunyai muatan negatif netto. Ini mengakibatkan terjadinya usaha untuk menyeimbangkan muatan ini dengan tarikan kation. Tarikan ini akan sebanding dengan kekurangan muatan netto dan dapat dihubungkan dengan aktivitas lempung tersebut. Aktivitas adalah parameter yang menggabungkan batas Atterberg dan kadar lempung (Skempton, 1953). Aktivitas ini dapat didefinisikan sebagai:

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{indeks plastisitas (IP)}}{\text{prosentase lempung}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana prosentase lempung diambil sebagai fraksi tanah yang kurang dari  $2\ \mu\text{m}$ . Skempton mengusulkan tiga tingkatan lempung menurut aktivitasnya yaitu:

- nonaktif, untuk aktivitas yang kurang dari 0,75,
- normal, untuk aktivitas 0,75 hingga 1,25,
- aktif, untuk aktivitas yang lebih dari 1,25.

## **Kepadatan Tanah**

Sifat-sifat teknis tanah lempung setelah pemadatan akan bergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah, dan kadar airnya. Pada percobaan Proctor, usaha pemadatan yang dilakukan dengan lima lapisan akan memberikan hasil tanah yang lebih padat dari pada 3 lapisan. Jadi dengan usaha pemadatan yang lebih besar akan diperoleh tanah yang lebih padat. Biasanya kadar air tanah yang dipadatkan didasarkan pada posisi-posisi kadar air, sisi kering optimum (*dry unit weight of optimum*), dekat optimum atau optimum, dan sisi basah optimum (*wet weight of optimum*).

Penyelidikan pada tanah lempung yang dipadatkan memperlihatkan bahwa bila lempung dipadatkan pada sisi kering optimum, susunan tanah akan tidak

bergantung pada macam pemadatannya (Seed dan Chan, 1959). Pemadatan tanah dengan kadar air pada sisi basah optimum akan mempengaruhi susunan, kekuatan geser, serta sifat kemampatan tanahnya. Pada usaha pemadatan yang sama, dengan penambahan kadar air, penyesuaian susunan butiran menjadi bertambah. Pada sisi kering optimum, tanah selalu terflokulasi.

### Tanah Ekspansif

Holtz (1959) mendefinisikan potensi mengembang sebagai perubahan volume dari kondisi kering udara sampel yang takterganggu ketika dijenuhkan di bawah beban 1 psi (6,9 kPa). Seed (1962) mendefinisikan potensi mengembang sebagai perubahan volume dari sampel yang terbentuk pada kadar air optimum dan kepadatan yang maksimal (standar AASHTO) di bawah beban 1 psi (6,9 kPa). Snethen (1979) memberikan definisi potensi mengembang sebagai berikut:

- Potensi mengembang adalah perubahan volume vertikal keseimbangan dari tes oedometer, dinyatakan dalam persen terhadap ketinggian asli dari tanah tak terganggu dengan kadar air asli dan kepadatan menuju keadaan jenuh di bawah beban ekuivalen terapan ke tekanan berlebih setempat.

Pada umumnya ungkapan potensi mengembang mengacu pada kapasitas relatif untuk pengembangan tanah yang berbeda.

Skema klasifikasi menunjukkan tingkatan sebagai berikut:

- Kisaran nilai dari perubahan volume dalam persen dan kemungkinan tekanan mengembang.
- Tingkatan pengembangan kualitatif, contohnya, rendah, menengah, tinggi, dan sangat tinggi.

### Swelling

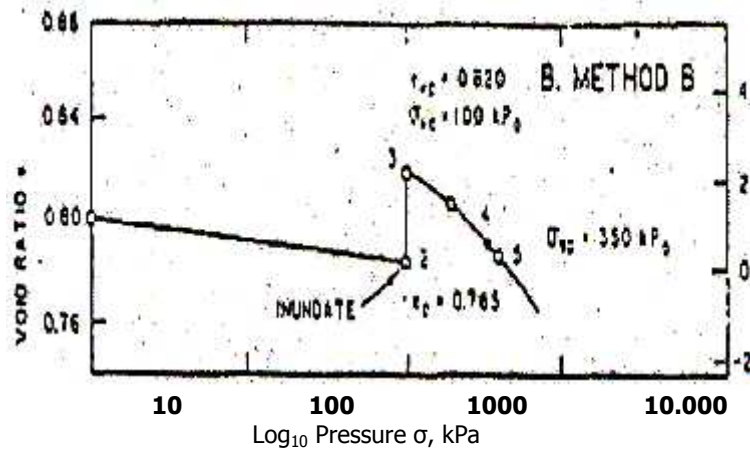
#### Potensi Mengembang

Salah satu cara untuk mengidentifikasi sifat ekspansif dari tanah adalah dengan menggunakan metode pengukuran langsung. Metode ini menggunakan *Oedometer Terzaghi*. Contoh tanah berbentuk silinder tipis diletakkan dalam ring yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan sisi bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah contoh tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah tinggi pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

#### Tekanan Mengembang

Sedangkan untuk mengukur tekanan mengembang, ada dua cara umum yang digunakan dalam praktek. Cara pertama, pengukuran dengan beban tetap sehingga tanah mencapai prosentase mengembang tertinggi kemudian contoh tanah diberi tekanan untuk kembali ke tebal semula. Cara kedua, contoh tanah direndam dengan air dengan mempertahankan volume atau mencegah terjadinya pengembangan dengan cara menambah beban di atasnya setiap saat. Cara ini sering juga disebut *constant volume method*.

Ada beberapa pilihan metode penelitian menurut ASTM-D-4546-90 berkaitan dengan pengujian tekanan mengembang. Namun yang digunakan dalam penelitian ini adalah ASTM-D-4546-90 metode B. Hal ini karena metode B digunakan untuk menghindari perubahan volume dan tekanan yang terjadi di lapangan.



Gambar 1. Hasil Uji Tekanan Mengembang Metode B ASTM.

Pengujian tekanan mengembang merupakan lanjutan dari pengujian potensi mengembang setelah pengembangan maksimum. Selanjutnya diberi tekanan bertahap hingga kembali ke angka pori awal ( $e_0$ ). Pembacaan dial dilakukan pada setiap masing-masing beban setelah pembebanan berlangsung selama 24 jam. Besar beban-besan tersebut adalah minimal kelipatan dari *overburden*.

## METODOLOGI

### Standard Pemadatan (ASTM D-698-91)

Setelah OMC didapatkan dari satu seri percobaan standar Proctor yang terdiri dari lima contoh tanah dengan kadar air yang berbeda akan diperoleh sebanyak lima buah pasangan nilai berat volume kering dan porositas.

Selanjutnya dibuat benda uji yang akan kita lakukan pengujian berdasarkan variasi kadar air (-15%, -10%, -5% di bawah OMC, OMC, dan 5%, 10%, 15% di atas OMC) dan kepadatannya (15x, 25x, 35x, 55x tumbukan) dengan menggunakan alat Proctor akan kita uji terhadap *swell* (potensi

mengembang dan tekanan mengembang) dan kuat geser (geser langsung dan UCS). Contoh tanah tersebut lolos ayakan nomor 40 (4,25 mm).

### Pengujian Index Properties (*Soil Test*)

- a. Berat Isi (ASTM –D-2216-92)
- b. Kadar Air (ASTM –D-2216-92)
- c. Berat Jenis (ASTM –D-854-92)
- d. Distribusi Butiran dan Hidrometer
  - Analisis Ayakan (ASTM –C-136-46)
  - Hidrometer (ASTM –D-1682-90)
- e. Batas Atterberg (ASTM –D-4318-95)
  - Batas Cair
  - Batas Plastis
  - Batas Susut

### Pengujian Swelling

- a. Pengujian Potensi Mengembang
- b. Pengujian Tekanan Mengembang

Pengaruh Kadar Air Optimum dengan Variasi Kepadatan terhadap Potensi dan Tekanan Mengembang pada Tanah Ekspansif

**HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS**

**Index Properties**

Tabel 2. *Index Properties*

Parameter	Nilai
Kadar Air (w)	28-35 %
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,515-2,540
Berat Isi Tanah ( $\gamma_b$ )	1,662-1,756 gram/cm <sup>3</sup>
Porositas (n)	45,99-51,05 %
Angka Pori (e)	0,8515-1,0429
Batas Cair (LL)	89%
Batas Plastis (PL)	32-38%
Indeks Plastisitas (PI)	51-57%
Batas Susut (SL)	4-7%
Lolos saringan No.40	95%
Lolos saringan No.200	91%
Lolos fraksi Lempung	71-74%
Aktifitas (Ac)	1,275-1,357
Klasifikasi AASTHO	A-7-5

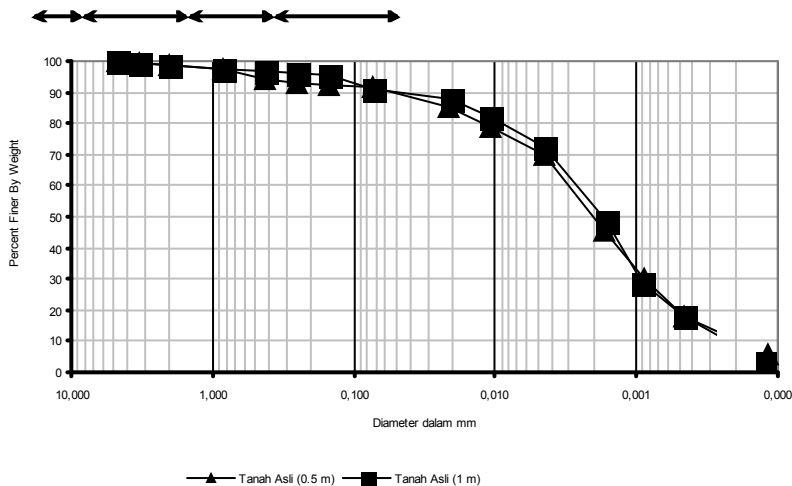
Tabel 3. Hasil Uji Pengambilan *Sample*

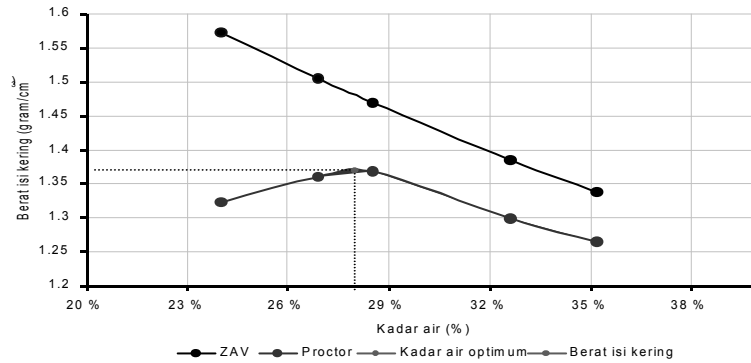
Kedalaman	0,5 m	1,0 m
Lempung	71%	74%
Lanau	20%	17%
Pasir	7%	7%
Kerikil	2%	2%

**Standard Pemadatan (OMC)**

Penentuan kadar air optimum ini menggunakan metode standar Proctor, setelah kadar air optimum didapatkan maka hasilnya akan digunakan sebagai acuan untuk pembuatan benda uji untuk pengujian berikutnya. Besarnya kadar air optimum pada pengujian ini adalah 28%.

**Grain Size**



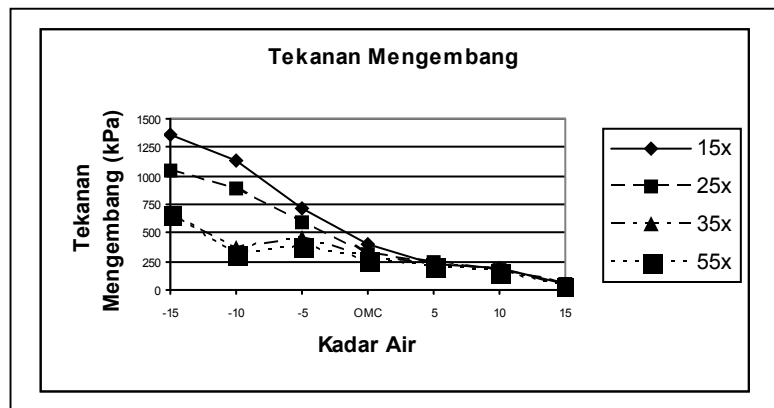


Gambar 3. Grafik Hubungan Berat Isi dengan Kadar Isi

**Pengujian Potensi Mengembang**

Nilai pengujian potensi mengembang dari variasi kadar air dan kepadatan. Hubungan

potensi mengembang benda uji pada kadar air dan variasi kepadatan ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan potensi mengembang benda uji pada kadar air dan variasi kepadatan

Tabel 4. Uji Nilai Potensi Mengembang

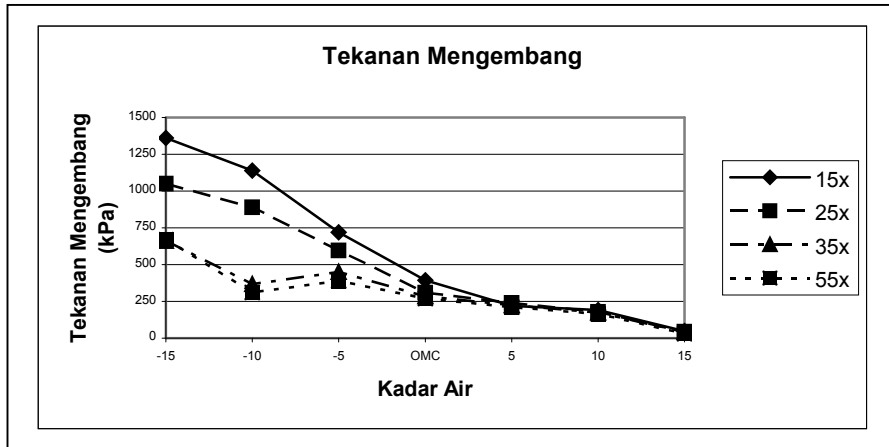
Jumlah Pukulan Tiap Lapis	Nilai Potensi Mengembang (%) Kadar Air						
	-15	-10	-5	OMC	+5	+10	+15
15x	17.91	16.78	14.97	10.60	6.07	1.68	1.13
25x	12.30	10.64	10.54	8.36	4.30	1.76	1.06
35x	9.46	8.39	8.85	8.60	4.35	1.41	0.69
55x	10.67	6.35	8.38	7.48	3.39	1.32	0.41

Pengaruh Kadar Air Optimum dengan Variasi Kepadatan terhadap Potensi dan Tekanan Mengembang pada Tanah Ekspansif

**Pengujian Tekanan Mengembang**

Hasil dari pengujian tekanan mengembang menampilkan hubungan tekanan

mengembang benda uji pada kadar air awal dan kepadatan yang berbeda. Hasil perhitungan sbb:



Gambar 5. Grafik Hubungan potensi mengembang benda uji pada kadar air dan variasi kepadatan

Tabel 5. Uji Nilai Tekanan Mengembang

Jumlah Pukulan Tiap Lapis	Nilai Tekanan Mengembang (kPa)						
	Kadar Air						
	-15	-10	-5	OMC	+5	+10	+15
15x	1360	1140	720	394	220	192	48
25x	1050	890	595	308	240	178	44
35x	660	367	450	284	225	175	42
55x	670	310	390	270	210	165	31

**KESIMPULAN**

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dari beberapa parameter yang telah diuji, maka dapat dipastikan bahwa sampel tanah tergolong dalam tanah ekspansif (menurut Meehan dan Karp, 1996), mengandung mineral lempung jenis *Montmorillonite* (menurut Bowles, 1983), dan memiliki potensi

mengembang yang sangat tinggi (menurut Skempton, 1953), (Holtz dan Gibs, 1956), (Chen, 1965), (Snethen dkk, 1977), dan (Holtz dan Kovacs, 1981).

2. Pada kadar air yang lebih tinggi daripada OMC, nilai tekanan mengembang berada pada rentang yang sempit. Tekanan mengembang bernilai 48 kPa pada kadar air OMC+15% dan 55x pukulan, serta



bernilai 31 kPa pada kadar air OMC+15% dan 15x pukulan. Sehingga rentangnya hanyalah 17 kPa pada kadar air OMC+15%. Pada kadar air yang kurang dari OMC, nilai tekanan mengembang berada pada rentang yang lebar. Tekanan mengembang bernilai 310 kPa pada kadar air OMC-10% dan 55x pukulan, serta bernilai 1140 kPa pada kadar air OMC-10% dan 15x pukulan. Sehingga rentangnya adalah 830 kPa pada kadar air OMC-10%. Hal ini menunjukkan bahwa lebih baik tanah ekspansif berada pada sisi basah daripada sisi kering. Kondisi pada sisi kering relatif tidak menentu keadaannya (terflokulasi) daripada kondisi sisi basah yang lebih seragam struktur tanahnya (terdispersi). Hasil dari pengujian tekanan mengembang ini menunjukkan bahwa kecenderungan tanah ekspansif berada pada posisi yang stabil dari kondisi OMC hingga OMC+10%.

3. Potensi mengembang pada kondisi sisi basah lebih sempit rentangnya daripada kondisi sisi kering. Besarnya potensi mengembang adalah 1,68% pada kondisi OMC+10% dan 15x pukulan, serta bernilai 1,32% pada kondisi OMC+10% dan 55x pukulan. Untuk kondisi OMC+15% dan 15x pukulan memiliki potensi mengembang 1,13% dan kondisi OMC+15% dan 55x pukulan memiliki potensi mengembang 0,41%. Rentang yang dihasilkan adalah 0,36% pada OMC+10% dan 0,82% pada OMC+15%. Pada sisi basah, kuantitas air yang terserap lebih kecil daripada benda uji yang berada pada sisi kering. Dengan semakin banyaknya volume air yang masuk ke dalam pori-pori tanah, maka akan membuat tekanan air pori menjadi lebih tinggi. Tekanan ini akan memberikan efek pengembangan pada volume total benda uji. Kondisi OMC+10% dan OMC+15% merupakan keadaan tanah ekspansif dengan tingkat potensi

mengembang yang minimum pada pengujian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Homoud A.S., Basma A.A, Malkawi A.I, dan Al-Bashabsheh M.A., 1995, "*Cyclic swelling Behavior of clays*". Journal of Geotechnical Engineering, ASCE.
- Al-Rawas, A.A., I. Guba dan A. McGown, 1998, "*Geological And Engineering Characteristics Of Expansive Soils And Rocks In Northern Omar*". Engineering Geology.
- Altmeyer, W.T., 1955, "*Discussion Of The Engineering Properties Of Expansive Clays*", Proceedings of the ASCE.
- American Society for Testing and Materials, 1993, "*Annual book of ASTM standards. Construction. Section 4. Soil and rock*", Philadelphia.
- Basma, A.A., A.S. Al-Homoud dan A. Husein, 1995, "*Laboratory Assessment Of Swelling Pressure Of Expansive Soils*". Applied Clay Science.
- Bowles, Joseph E., 1983, "*Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah*", Erlangga, Jakarta.
- Chen, F.H., 1981, "*Foundations on Expansive Soils*", Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Cokca, Erdal, 1999, "*Effect of Fly Ash on Swell Pressure of an Expansive Soil*", EJGE, Ankara.
- Das, Braja M, 1985, "*Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*", Erlangga, Jakarta.
- El-Sohby, M.A. dan Rabba E.A., 1981, "*Some factors affecting swelling of clayey soils*", Geotechnical Engineering.
- Gens, A. dan Alonso, E.E., 1992, "*A framework for the behaviour of unsaturated expansive clays*", Canadian Geotechnical Journal.

- Geyser, Clinton, 2003, "*Expansive soil in Weltevreden Park, Gauteng, South Africa*", tesis, Technische Universiteit Delft.
- Gromko, G.J., 1974, "*Review of expansive soils*", ASCE Journal of Geotechnical Engineering.
- Hamilton, J.J., 1977, "*Foundations on Swelling or Shrinking Subsoils*", Canadian Building Digest, Toronto.
- Handy, Richard L, 1995, "*The Day the House Fell: Homeowner Soil Problems - From Landslides To Expansive Clays And Wet Basements*", ASCE Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 1992, *Mekanika Tanah I*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Holtz Robert D. dan Kovacs William D, 1981, "*An introduction to Geotechnical Engineering*", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Holtz, W.G. dan Gibbs, H.J., 1959, "*Engineering Properties of Expansive Clays*", ASCE Journal.
- Jones, D.E. Jr. dan W.G. Holtz, 1973, "*Expansive Soils - the Hidden Disaster*", ASCE, Civil Engineering.
- Kehew, A.E., 1995, "*Geology for Engineers and Environmental Scientists*", Prentice Hall, New Jersey.
- Komine, H. dan Ogata, N., 1996, "*Prediction of swelling characteristics of compacted bentonite*", Canadian Geotechnical Journal.
- Lambe, T.W., 1958, "*Soil Testing for Engineering*", John Wiley and Sons. Inc, New York.
- Lambe, T.W. dan R.V. Whitman, 1969, "*Soil Mechanics*", John Wiley and Sons, New York.
- Meehan, R.L. dan Karp, L.B., 1994, "*California Housing Damage Related to Expansive Soils*", Journal of Performance of Constructed Facilities.
- Mowafy, Y.M., Bauer, G.E., dan Sakeb, F.H., 1985, "*Treatment of expansive soils: a laboratory study*", Transportation Research Record.
- Nelson, John D. dan Debora J. Miller, 1992, "*Expansive Soils: Problems and Practice in Foundation dan Pavement Engineering*", John Wiley dan Sons, Toronto.
- Popescu, M.E., 1986, "*A Comparison Between The Behaviour Of The Swelling And Collapsing Soils*", Engineering Geology.
- Raman, V., 1967, "*Identification Of Expansive Soils From The Plasticity Index And The Shrinkage Data Index*", Indian Engineering.
- Seed, H.B., Woodward, R.J., dan Lundgren, R., 1962, "*Prediction of Swelling Potential for Compacted Clay*", ASCE Journal.
- Sivapullaiah, P.V., Sridharan, A. dan Stalin, V.K, 1996, "*Swelling Behaviour Of Soil Bentonite Mixtures*", Canadian Geotechnical Journal.
- Skempton, A.W, 1953, "*The Colloidal Activity Of Clays*", Proceedings Of The International Conference Of Soil Mechanics And Foundation Engineering, Zurich.
- Snethen, D.R., Johnson, L.D., dan Patrick, D.M., 1977, "*An Evaluation Of Expedient Methodology For Identification Of Potentially Expansive Soils*", Soil and Pavements Laboratory, U.S. Army Engineering Waterway.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kazuto Nakazawa, 2000, "*Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*", Pradnya Paramita, Bandung.
- Wayne, A.C., Mohamed, A.O., dan El-Fatih, M.A., 1984, "*Construction on expansive soils in Sudan*", Journal of Construction Engineering dan Management.
- Wilson, C.R., Davis, J.G. dan N. Mejia, 2004, "*Landscaping on Expansive Soils*", Colorado State University Cooperative Extension, Colorado.

