

THE EFFECT OF WATER CONTENT CHANGE AND SUCTION IN BEHAVIOUR VOLUMETRIC SWELLING OF EXPANSIVE SOIL

PENGARUH PERUBAHAN KADAR AIR DAN *SUCTION* TERHADAP PERILAKU KEMBANG VOLUMETRIK TANAH LEMPUNG EKSPANSIF

Agus Tugas Sudjianto¹⁾, Kabul Basah Suryolelono²⁾, Ahmad Rifa'i²⁾, dan Indrasurya B Mochtar³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil Universitas Gajah Mada

Jl. Grafika No. 2 Yagyakata 55281

E-mail : ats_2003@yahoo.com

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada

Jl. Grafika No. 2 Yagyakata 55281

E-mail : ahmad.rifai@tsipil.ugm.ac.id

³⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, FTSP Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

E-mail : indramochtar@telkom.net

ABSTRACT

The changing of climate in Indonesia gives fluctuation of water soil content in its result rain, evaporation and evapotranspiration. As a result, the large water content change the expansive soil will volume change and suction. The expansive soil will volumetric swelling upon wetting and shrinking to drying. This behaviour can damage structures above and in the clay. The phenomenon is very interesting to be researched, how far water content change and suction the behaviour volumetric swelling expansive soil from Soko Ngawi region East Java Province had been chosen to be the material for this research. The research of swelling is done using disturbed sample under confined and unconfined condition with diameter 6,35 cm and high 1,50 cm, with initial water content 10% and dry density 1,26 g/cm³ with modification Oedometer tools. The water content change measured with gypsum block and suction with filter paper Whatman No. 42. The results of research indicate, The water change has linear relation with volumetric swelling, while the suction has inversely proportional with volumetric swelling.

Key words : The expansive of clay, water content change, suction, volumetric swelling.

ABSTRAK

Perubahan musim di Indonesia menyebabkan fluktuasi kadar air tanah akibat hujan, evaporasi dan evapotranspirasi. Akibat perubahan kadar air ini, tanah ekspansif akan mengalami perubahan volume dan *suction*. Tanah ekspansif akan mengalami kembang volumetrik yang tinggi pada saat terjadi pembasahan dan penyusutan pada saat pengeringan. Kembang susut ini akan menyebabkan kerusakan pada struktur yang dibangun diatas maupun didalam tanah. Fenomena ini penting untuk diteliti, sejauh mana pengaruh perubahan kadar air dan *suction* terhadap perilaku kembang volumetrik tanah lempung ekspansif dari Soko, Kabupaten Ngawi Propinsi Jawa Timur yang menjadi sampel dalam penelitian ini. Penelitian kembang dilakukan pada benda uji terganggu dengan kondisi terkekang arah lateral secara tipis dengan diameter 6,35 cm dan tinggi 1,70 cm, dengan kadar air awal 10 % dan berat volume kering 1,26 g/cm³ dengan alat Oedometer modifikasi. Perubahan kadar air diukur dengan *gypsum block* modifikasi sedangkan *suction* diukur dengan kertas filter Whatman No. 42. Hasil penelitian memperlihatkan perubahan kadar air mempunyai hubungan berbanding lurus dengan kembang volumetrik, sedangkan *matric suction* mempunyai hubungan berbanding terbalik dengan perilaku kembang volumetrik.

Kata-kata kunci : tanah lempung ekspansif, perubahan kadar air, *matric suction*, kembang volumetrik.

PENDAHULUAN

Setiap pekerjaan teknik sipil tidak lepas dengan aspek yang paling penting yaitu tanah. Sejumlah masalah dengan bangunan teknik sipil yang sering dijumpai di lapangan adalah akibat dari sifat - sifat teknis tanah yang buruk, yang ditandai dengan kadar air tanah yang tinggi, kompreibilitas yang besar dan daya dukung yang rendah. Sebagian dari jenis tanah yang memiliki sifat buruk tersebut adalah tanah yang mudah mengalami kembang susut yang besar.

Beberapa jenis tanah yang memiliki potensi kembang susut yang besar adalah tanah yang dapat mengalami perubahan volume yang signifikan seiring dengan perubahan kadar airnya. Tanah jenis ini merupakan tanah lempung yang banyak mengandung mineral-mineral yang memiliki potensi kembang yang tinggi. Tanah dengan kondisi seperti ini sering disebut sebagai tanah lempung ekspansif (Hardiyatmo, 2006). Tanah lempung ekspansif dapat ditemukan dibanyak tempat di dunia seperti dikutip dalam Chen (1975), yaitu Argentina, Arab Saudi, Afrika Selatan,

Amerika Serikat, Australia, Canada, Cina, Ethiopia, Ghana, India, Iran, Israel, Kenya, Meksiko, Maroko, Myanmar, Yordania, Sudan, Ethiopia, Spanyol, Turki dan Venezuela.

Fenomena kembang - susut yang tinggi tersebut dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan. Jones & Holtz (1973) melaporkan, di Amerika Serikat, kerugian yang diakibatkan oleh masalah tanah ekspansif ternyata melebihi bencana alam lainnya, termasuk kerugian yang diakibatkan oleh gempa bumi dan angin tornado. Menurut data dari *Federal Emergency Agency* (FEMA) tahun 1982, kerugian akibat tanah ekspansif pada tahun 1970 mencapai \$ 798.100.000 (Nelson dan Miller, 1992). Gourley dkk (1993) menyatakan, setiap tahun kerusakan gedung, struktur bangunan dan jalan yang diakibatkan oleh tanah ekspansif diprediksi sekitar \$150.000.000 di UK, sekitar \$100.000.000 di USA, dan bahkan mencapai milyaran Dollar di seluruh dunia.

Di Indonesia, ditinjau dari kejadian tanahnya, masalah tanah lempung ekspansif hampir terdapat di seluruh Indonesia, mulai dari Sumatra Utara sampai ke Papua. Jumlah kerugiannya belum dilaporkan, tetapi dari penelitian dan *survey* yang telah lakukan

oleh pihak Bina Marga dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan Departemen Pekerjaan Umum, banyak kerusakan yang terjadi pada beberapa ruas jalan di Pulau Jawa disebabkan oleh masalah tanah lempung ekspansif (Mochtar, 1994).

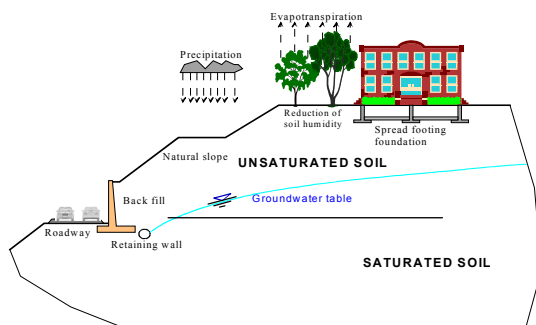
Uji *swelling* di laboratorium selama ini, dilakukan pada ring yang terkekang arah lateral, sehingga tidak ada deformasi *swelling* arah horisontal. Dengan demikian *swelling* diasumsikan terjadi hanya pada arah vertikal saja. Kondisi ini agak berbeda dengan banyak kejadian di lapangan, dimana tanah yang mengembang adalah tanah yang sudah menyusut sebelumnya. Pada tanah yang telah menyusut tersebut menjadi retak – retak akibat penyusutan 3 dimensi. Sewaktu mengembang, tanah tersebut kembali mengembang bebas ke segala arah dari posisinya semula. Model kembang satu dimensi (arah vertikal) tentunya tidak akan cocok bila permukaan tanah lempung ekspansif miring, bila tanah lempung berada di belakang dinding penahan tanah, atau di tepi dinding suatu terowongan. Pada kasus – kasus tersebut, *Swelling* arah horisontal sangat menonjol akibat gerakan dinding (Coduto, 1994).

Permasalahan tanah ekspansif di Indonesia semakin kompleks, karena negara kita terletak di daerah tropis, selalu terjadi siklus pembasahan dan pengeringan akibat musim hujan dan kemarau. Akibatnya pada daerah yang mempunyai tanah dasar ekspansif terjadi kembang susut akibat perubahan kadar air dan *suction*. Berdasarkan fenomena tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh perubahan kadar air dan *matric suction* terhadap perilaku kembang volumetrik tanah ekspansif.

STUDI PUSTAKA

Proses kembang tanah lempung ekspansif dipengaruhi oleh faktor lingkungan, di antaranya faktor perbedaan iklim, curah hujan, sistem drainasi dan fluktuasi muka air tanah. Myers (2005) menyebutkan bahwa perubahan kadar air pada tanah lempung, khususnya pada tanah lempung ekspansif, akan menyebabkan perubahan volume. Pengurangan kadar air menyebabkan lempung menyusut dan sebaliknya bila kadar air bertambah lempung mengembang. Yong dan Warkentin (1975) menyatakan pada proses kembang susut tanah lempung ekspansif, proses mengembang merupakan proses yang agak lebih kompleks dibandingkan dengan penyusutan.

Beberapa contoh masalah praktis geoteknik pada tanah ekspansif dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 1. Sebagai contoh, struktur badan jalan raya, pondasi bangunan dan stabilitas lereng yang dibangun di atas muka air tanah. Di sini akan terjadi perubahan volume akibat *swelling* dan *suction* tanah ekspansif ketika hujan terjadi (Rifa'i, 2002).



Gambar 1. Contoh masalah praktis geoteknik pada tanah lempung ekspansif (Rifa'i, 2002)

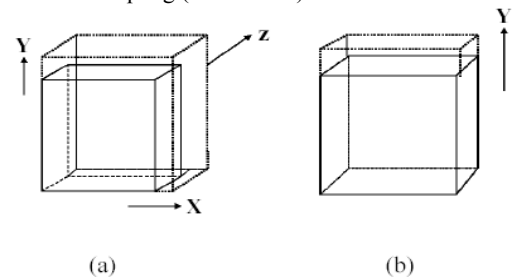
Perilaku kembang pada tanah ekspansif merupakan kebalikan dari peristiwa kapiler. Bila kadar air dalam tanah naik dan tanah menjadi jenuh maka tegangan kapiler mengecil dan tegangan air pori dengan sendirinya akan menurun dan dapat sama dengan tegangan hidrostatik. Dengan menurunnya tegangan air

pori maka tanah ekspansif cenderung mengembang kembali pada posisi semula (Mochtar 2000).

Fenomena kembang (*swelling*) pada tanah ekspansif terjadi pada kondisi pembasahan (*wetting*) dengan nilai derajat kejenuhan (S_r) < 1, berarti tanah berada pada kondisi tidak jenuh (*unsaturated*). Pada kondisi *unsaturated* ini maka tanah lempung ekspansif mengalami tiga fase, yaitu : butiran, air dan udara, sehingga terjadi tegangan air pori negatif (*suction*). Akibat dari *suction* ini menyebabkan sifat fisis tanah menjadi berubah terutama pada derajat kejenuhan (S_r) dan angka pori (e). Sehingga tegangan air pori negatif (*suction*) yang terjadi pada tanah ekspansif akan mempengaruhi perilaku kembang – susut tanah lempung ekspansif (Rifa'i, 2002).

Pada banyak kasus kembang (*swelling*) yang terjadi pada tanah lempung ekspansif, pengukuran hanya dilakukan pada arah vertikal, sedangkan kembang arah horisontal belum banyak diperhatikan. Untuk analisis kembang dengan kondisi yang aktual di lapangan, uji kembang di laboratorium seharusnya dapat mengukur juga deformasi kembang pada arah vertikal dan horisontal (Taboada, 2003).

Mekanisme kembang pada tanah ekspansif di lapangan terjadi pada tiga dimensi atau yang dikenal dengan kembang volumetrik. Taboada (2003) menyatakan bahwa tipe pengembangan (*swelling*) tanah ekspansif ketika tanah ekspansif dalam keadaan kering menjadi basah, sepanjang tahap awal tanah ekspansif akan mengalami ekspansi volumetrik tiga dimensi (*three dimensional (3-D) volumetric expansions*) karena tanah kering mengalami retak – retak yang masih terbuka (Gambar 2a). Pada tahap selanjutnya, setelah retak - retak pada tanah lempung ekspansif tertutup akibat pembasahan atau meningkatnya kadar air dalam tanah lempung ekspansif maka ekspansi volumetrik tanah lempung ekspansif hanya satu dimensi, menyebabkan naiknya permukaan tanah lempung (Gambar 2b).



Gambar 2. Skema diagram kembang tanah (a) 3 – D, (b) 1 – D (Taboada, 2003)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini meliputi bahan penelitian, peralatan utama yang digunakan prosedur uji kembang vertikal dan horisontal dengan acuan standar ASTM, adapun uraian dari keduanya adalah sebagai berikut.

Tanah Lempung Ekspansif

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan contoh tanah lempung ekspansif yang diambil dari Soko, Kabupaten Ngawi, Propinsi Jawa Timur. Pengambilan sampel dilakukan dalam kondisi *undisturbed* dan *disturbed*. Sampel diambil ± 20 cm dari bahu jalan. Sampel *undisturbed* diambil dengan menggunakan tabung sampel yang mempunyai dimensi panjang 30 cm dan diameter 7 cm. Sampel *undisturbed* akan dijaga agar tetap asli dari perubahan kadar air dan getaran serta bersih dari akar-akar tanaman. Untuk sampel *disturbed*, diambil dengan cangkul dan sekop dimasukkan ke dalam kantong yang sudah disiapkan. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0,50 – 1,00 m dari permukaan tanah (Gambar 3).

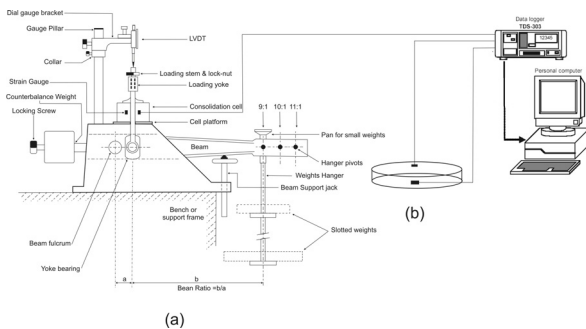


Gambar 3. Pengambilan sampel tanah di Soko (Ngawi)

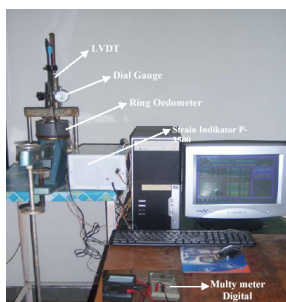
Prosedur Uji Kembang Vertikal dan Horizontal

Pada penelitian ini untuk mengukur kembang volumetrik maka dikembangkan alat kembang modifikasi untuk mengukur kembang arah vertikal dan horizontal. Skematik alat kembang modifikasi seperti pada Gambar 5. Peralatan yang digunakan untuk penelitian kembang vertikal dan horizontal adalah alat konsolidasi yang dimodifikasi, untuk mengukur kembang tanah lempung ekspansif pada arah vertikal dan arah horizontal. Alat ini terdiri dari seperangkat alat *Oedometer*. Pada *ring* sampel diberi *strain gauge* untuk mengukur *swelling* arah horizontal, untuk *swelling* vertikal diukur dengan menggunakan *Linear Vertical Displacement Transducer (LVDT)*. *Strain gauge* dan LVDT dihubungkan ke *strain indicator (P-3500)*, dari *strain indicator* dihubungkan ke komputer untuk mengakuisi data penelitian (Gambar 4.a). Detail pemasangan *strain gauge* menggunakan sistem *rectangular rosetts* (Gambar 4.b). Pengukuran perubahan kadar air digunakan *gypsum block* modifikasi yang dihubungkan ke *multy meter* digital untuk mengetahui hambatan air tanah lempung (Ohm) yang dikalibrasi menjadi kadar air (%). Hasil modifikasi pada Gambar 4 menghasilkan alat *Oedometer* modifikasi seperti pada Gambar 5.

Metode uji kembang menggunakan standar ASTM D4546-96 dengan berdasarkan metode Seed (1962), yaitu uji kembang dibawah tekanan 6,9 kPa, pada sampel tanah yang dibebani dengan menggunakan ring membran (Gambar 6). Dimensi sampel tanah dengan diameter 6,35 cm dan tinggi 1,70 cm, dengan kadar air awal 10 % dan berat volume kering 1,26 g/cm³.



Gambar 4. (a) Skema alat uji *swelling* vertikal – horizontal tanah lempung ekspansif
(b) Detail pemasangan *strain gauge*



Gambar 5. Alat uji kembang vertikal dan horizontal modifikasi (Sudjianto, 2008)



Gambar 6. Ring membran *Oedometer* modifikasi (Sudjianto, 2008)

Perhitungan Kembang Volumetrik

Perhitungan kembang vertikal – horizontal dari hasil data pada alat *Oedometer* yang dimodifikasi digunakan formula 1 dan 2. Untuk perhitungan kembang volumetrik dengan menggunakan formula 3.

$$SZ = \frac{\text{tinggi akhir} - \text{tinggi awal}}{\text{tinggi awal}} \times 100\% = \frac{\Delta H}{H} \times 100\% \quad (1)$$

$$SX = \frac{\text{diameter akhir} - \text{diameter awal}}{\text{diameter awal}} \times 100\% = \frac{\Delta D}{D} \times 100\% \quad (2)$$

$$SV = \frac{\text{volume akhir} - \text{volume awal}}{\text{volume awal}} \times 100\% = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji *Properties* Tanah

Uji *properties* terhadap tanah lempung Soko (Ngawi) dimaksudkan untuk mendapatkan informasi tentang potensi kembang (*swelling potential*) tanah dari data sifat fisis khususnya batas konsistensi tanah, kandungan kimia dan komposisi mineral tanah. Bila ditinjau secara visual, sampel tanah lempung mempunyai warna hitam keabuan. Hasil uji sifat fisis, kandungan kimia dan komposisi mineral tanah lempung ekspansif dari Soko, Ngawi (Jawa Timur) seperti terlihat pada Tabel 1 – 3 dan Gambar 7 hasil uji X-Ray *diffraction*.

Tabel 1. Hasil uji *properties* tanah Soko (Ngawi)

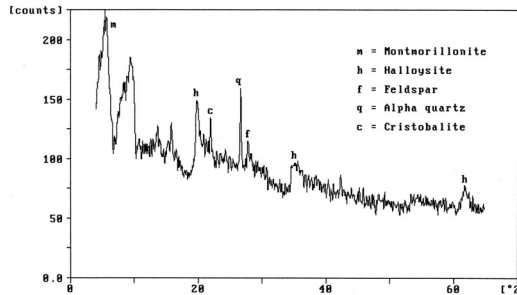
No	Parameter	Hasil
1.	Kadar air, w_a (%)	63.59
2.	Berat volume, γ (t/m ³)	1.51
3.	Gravitasi khusus, G_s	2.62
4.	Batas plastis, PL (%)	29.77
5.	Batas cair, LL (%)	101.00
6.	Indeks plastisitas, I (%)	71.23
7.	Batas susut, SL (%)	10.70
8.	Kadar lempung (%)	95.60
9.	Klasifikasi tanah (AASHTO)	CH

Tabel 2. Kandungan mineral tanah lempung Soko (Ngawi)

No	Komposisi Mineral	Persen Berat (%)
1.	Montmorilonite	49.74
2.	Halloysite	45.10
3.	Feldspar	4.63
4.	Alpha Quartz	0.27
5.	Cristobalite	0.26

Tabel 3. Hasil analisis kimia tanah lempung Soko (Ngawi)

No	Kandungan kimia tanah	Hasil (%)
1.	SiO ₂	76.10
2.	Al ₂ O ₃	18.59
3.	Fe ₂ O ₃	2.75
4.	CaO	1.80
5.	MgO	0.50
6.	Na ₂ O	0.22
7.	K ₂ O	0.04



Gambar 7. Hasil uji X-ray tanah lempung Soko, Ngawi.

Hasil uji *properties* tanah khususnya batas konsistensi tanah pada nilai batas cair (LL) 101% dan indeks plastisitas (IP) 71,32 % dan hasil uji komposisi ineral tanah lempung Soko, Ngawi yang paling dominan adalah *montmorillonite* sebesar 49,74%, tanah ini memiliki potensi kembang yang sangat tinggi. Prosedur ini seperti yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu diantaranya, Holts dan Gibbs (1956), Seed dkk (1962), Van Der Merwe (1964), Dakssanamurty dan Raman (1973) dan Chen (1988) yang menyatakan, tanah lempung dikalsifikasikan sebagai tanah dengan potensi kembang yang sangat tinggi jika nilai LL > 60% dan IP > 35% serta kandungan *montmorillonite* lebih dari 35% dari total kandungan mineral.

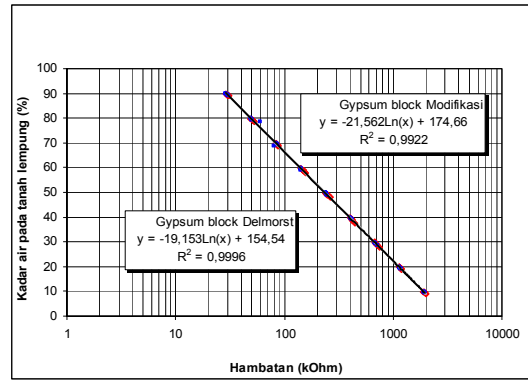
Hasil Kalibrasi Gypsum Block

Uji kembang vertikal dan horisontal dilakukan berdasarkan perubahan kadar air. Pengukuran perubahan kadar air dilakukan dengan *gypsum block*. *Gypsum block* yang telah dijual di pasaran dan telah terkalibrasi serta telah banyak digunakan untuk pengukuran kadar air di bidang pertanian dan geoteknik, salah satunya adalah buatan Delmorst (Campbell Scientific Canada Corp) (Dela, 2001).

Dimensi terkecil *gypsum block* buatan Delmorst berdiameter 2,25 cm dan tinggi 2,86 cm, sehingga tidak dapat dimasukkan dalam sampel uji kembang yang berukuran diameter 6,35 cm dan tinggi 1,70 cm. Untuk menyesuaikan dengan dimensi sampel uji kembang maka dibuat *gypsum block* modifikasi dengan diameter 1,50 cm dan tinggi 1,00 cm.

Hasil kalibrasi kedua gipsium blok seperti pada Gambar 8. Hubungan antara hambatan dengan kadar air pada *gypsum block* Delmorst dan kalibrasi *gypsum block* modifikasi mempunyai perilaku yang sama yaitu semakin besar kadar air tanah maka semakin kecil hambatan yang dihasilkan. Dengan masing – masing nilai kalibrasi untuk *gypsum block* modifikasi menghasilkan kalibrasi dengan persamaan $w = -21,562 \ln(\text{Kohm}) + 174,66$ dengan $R^2 = 0,9922$, sedangkan untuk *gypsum block* buatan Delmorst dihasilkan kalibrasi dengan persamaan $w = -19,153 \ln(\text{Kohm}) + 154,54$ dengan $R^2 = 0,996$.

Dengan diketahuinya hubungan kadar air dan hambatan pada *gypsum block* modifikasi, maka uji *swelling* vertikal – horisontal dengan sampel tanah kering dengan kadar air awal (w_i) = 10 % dapat di ukur kadar air yang terjadi pada saat pembasahan (*wetting*) benda uji *swelling* vertikal - horisontal.



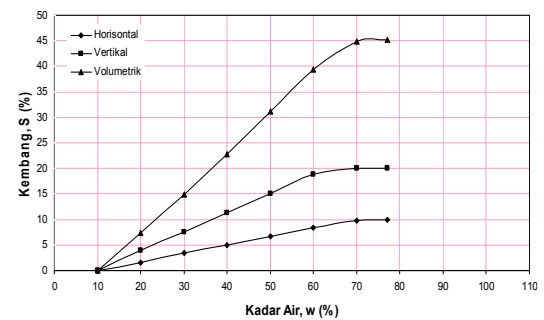
Gambar 8. Kalibrasi *gypsum block* Delmorst dan modifikasi

Hasil Uji Kembang Volumetrik dengan Perubahan Kadar Air

Hasil uji kembang vertikal, horisontal dan volumetrik tanah Soko (Ngawi) pada perubahan kadar air seperti pada Tabel 4. Hasil tersebut dibuat grafik hubungan antara kadar air dengan kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik seperti pada Gambar 9. Untuk hubungan derajat kejenuhan dengan kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik seperti pada Gambar 10.

Tabel 4. Hasil uji kembang tanah Soko (Ngawi) pada perubahan kadar air

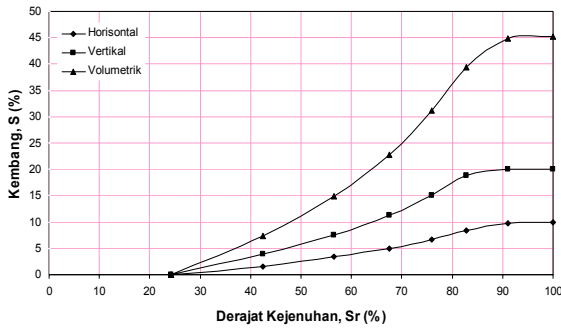
Kadar air W (%)	Derajat kejenuhan Sr (%)	Kembang vertikal S_z (%)	Kembang horisontal S_x (%)	Kembang volumetrik S_v (%)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	24,27	0,00	0,00	0,00
20,00	42,49	3,99	1,62	7,38
30,00	56,61	7,54	3,34	14,85
40,00	67,54	11,31	4,99	22,7
50,00	75,88	15,09	6,73	31,10
60,00	82,81	18,86	8,44	39,37
70,00	91,10	20,10	9,83	44,89
77,10	100,00	20,12	9,95	45,22



Gambar 9. Hubungan kadar air dengan kembang vertikal, horisontal dan volumetrik tanah Soko (Ngawi)

Hasil uji kembang vertikal – horisontal memperlihatkan bahwa semakin besar kadar air tanah lempung maka semakin besar kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 9. Gambar tersebut memperlihatkan hubungan antara kadar air (w) dengan kembang vertikal (S_z), kembang horisontal (S_x) dan kembang volumetrik (S_v) tanah Soko (Ngawi). Pada uji kembang vertikal – horisontal tersebut. kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik semakin besar dengan naik-

nya kadar air dan berhenti mengembang pada kadar air 77,10 %.



Gambar 10. Hubungan derajat kejenuhan dengan kembang vertikal, horisontal dan volumetrik tanah Soko (Ngawi).

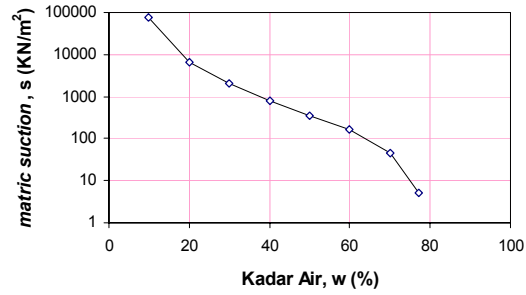
Hubungan kembang vertikal – horisontal dan volumetrik dengan deajat kejenuhan (Sr) memperlihatkan bahwa semakin besar derajat kejenuhan (Sr) tanah lempung ekspansif maka semakin besar kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 10. Hasil uji kembang vertikal – horisontal dan volumetrik tersebut memperlihatkan bahwa semakin besar derajat kejenuhan (Sr) tanah lempung ekspansif maka semakin besar kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik yang terjadi dan tanah lempung ekspansif tersebut akan berhenti mengembang pada derajat kejenuhan (Sr) 100 % atau $S_r = 1$

Hasil Uji Kembang Volumetrik dengan Variasi Suction

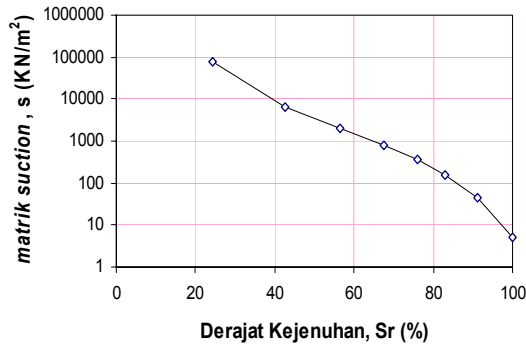
Pada uji kembang vertikal – horisontal benda uji mengalami kondisi tidak jenuh (*unsaturated*) menuju jenuh (*saturated*). Sehingga pada uji kembang tersebut terjadi fenomena *suction*. Untuk mengukur nilai *suction* dilakukan uji *matric suction*. Proscdur uji *matric suction* tanah mengacu pada standar ASTM D 5298-2003. Hasil uji *matric suction* tanah Soko (Ngawi) seperti pada Tabel 5 dan hubungan antara kadar air (w) dengan *matric suction* (s) seperti pada Gambar 11 serta hubungan antara derajat kejenuhan (Sr) dengan *matric suction* (s) seperti pada Gambar 12.

Tabel 5. Perbandingan kadar air tanah dengan kadar air *filter paper* tanah Soko (Ngawi)

$W_{\text{tanah awal}}$ (W), %	S_r tanah awal (Sr), %	$W_{\text{Filter Paper}}$ (Wf), %	<i>matric suction</i> (s) (kN/ m ²)
10,00	24,27	5,8234	74802,0572
20,00	42,49	11,8533	6349,2700
30,00	56,61	25,9143	2051,1014
40,00	67,54	31,0950	803,0000
50,00	75,88	35,6400	355,7589
60,00	82,81	40,0432	161,3104
70,00	91,10	55,5912	45,8793
77,10	100,00	126,0221	5,1420



Gambar 11. Kurva kadar air tanah dengan *matric suction* tanah Soko (Ngawi)



Gambar 12. Kurva derajat kejenuhan tanah dengan *matric suction* tanah Soko (Ngawi)

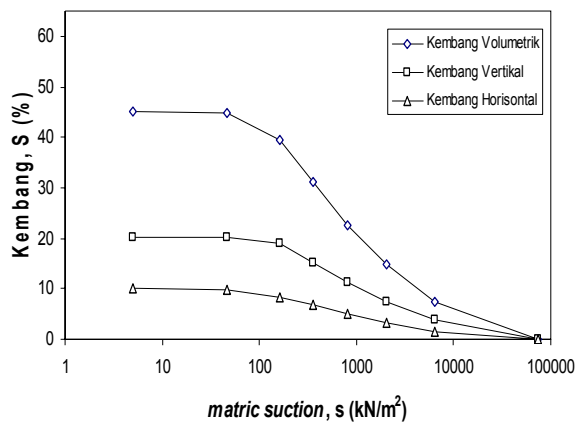
Pada penelitian ini kalibrasi *matric suction* terbatas pada kebutuhan analisis untuk kadar air yang dihasilkan pada uji kembang vertikal dan kembang horisontal dengan alat Oedometer modifikasi. Kadar air hasil uji kembang vertikal horisontal berkisar antara 10% sampai dengan 77,10%, sehingga untuk kadar air tanah (w_i) < 10,00 % dan $w > 80,00$ % belum dapat digunakan.

Hasil hubungan *matric suction* (s) dengan kembang vertikal (S_z), kembang horisontal (S_x) dan kembang volumetrik (S_v) seperti pada Tabel 6 dan Gambar 13.

Tabel 6. Hasil uji kembang tanah Soko (Ngawi) pada perubahan *matric suction*

Kadar air W (%)	<i>Matric suction</i> (%)	Kembang vertikal S_z (%)	Kembang horisontal S_x (%)	Kembang volumetrik S_v (%)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	74802,0572	0,00	0,00	0,00
20,00	6349,2700	3,99	1,62	7,38
30,00	2051,1014	7,54	3,34	14,85
40,00	803,0000	11,31	4,99	22,7
50,00	355,7589	15,09	6,73	31,10
60,00	161,3104	18,86	8,44	39,37
70,00	45,8793	20,10	9,83	44,89
77,10	5,1420	20,12	9,95	45,22

Gambar 13 memperlihatkan hubungan antara variasi *matric suction* (s) dengan kembang vertikal (S_z), kembang horisontal (S_x) dan kembang volumetrik (S_v) tanah lempung ekspansif dari Soko (Ngawi). Nilai kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik yang dihasilkan semakin kecil dengan bertambahnya *matric suction*. Hal ini memperlihatkan bahwa pengaruh *suction* (s) terhadap perilaku kembang tanah ekspansif merupakan kebalikan dari pengaruh perubahan kadar air (w) dan derajat kejenuhan (Sr).



Gambar 13. Hubungan *matric suction* dengan kembang tanah Soko (Ngawi)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil uji *properties* tanah, komposisi kimia dan kandungan mineral tanah pada tanah lempung Soko (Ngawi) menghasilkan klasifikasi potensi kembang (*swelling potential*) tanah dengan potensi kembang yang sangat tinggi,
2. perilaku kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik dengan kadar air awal dan kepadatan yang sama pada tanah Soko (Ngawi) sangat dipengaruhi oleh perubahan kadar air tanah, semakin besar kadar air dalam tanah lempung ekspansif semakin besar kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik yang terjadi, dan tanah tersebut berhenti mengembang pada kadar air (w) 77,10 %,
3. derajat kejenuhan (S_r) mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik, semakin besar derajat kejenuhan (S_r) dalam tanah lempung ekspansif semakin besar kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik yang terjadi, dan tanah lempung ekspansif berhenti mengembang pada $S_r = 1$,
4. nilai *suction* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perilaku kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik, semakin besar nilai *suction* tanah lempung ekspansif maka semakin kecil kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik tanah lempung ekspansif, dan perilaku mengembang akan berhenti pada *matric suction* 5,1420 kN/m²,
5. pengaruh *suction* (s) terhadap perilaku kembang vertikal, kembang horisontal dan kembang volumetrik tanah lempung ekspansif mempunyai perilaku berbanding terbalik dengan pengaruh perubahan kadar air (w) dan derajat kejenuhan (S_r).

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (2003). *Annual Books of ASTM Standards Section 4 Volume 04.08 Soil and Rock (I): D420-D4914*.
- Chen, F.H. (1988). *Foundation on Expansive Soils*, 2nd ed Amsterdam, pp 463, Elseveier Scientific Publication Company, New York, USA,
- Coduto, D.P. (1994). *Foundation Design Principles and Practices*, Prentice Hall International, Inc.
- Dakhshanamurthy, V. and Raman, V. (1975). "Review of Expansive Soils, Discussion." *Journal of geotechnical Engineering Division*, ASCE, Volume 101, , No. GT 6.

- Dela. (2001). *Measurement of Soil Moisture using Gypsum Block*, Measurtemen Engineering Australia (MEA), Adelaide, Australia.
- Gourly, C.S., Newill, D., and Schreiner, H.D. (1993). "Expansive Soil, TRL's Research Strategy." *Proc. Ist Inc. Symp. Engineering Characteristics of Arid Soils*, London.
- Hardiyatmo, H.C. (2006). *Mekanika Tanah I, edisi 4*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Holtz, R.D., and Gibbs, H.J. (1956). "Prediction on Swelling Potential for Compacted Clay." *Journal of the Soil mechanics and Foundation devision* , ASCE, Discussion, Vol 88, No.SM4.
- Mochtar, I. B. (1994). *Rekayasa Penanggulangan Masalah Pembangunan pada Tanah-tanah Sulit*, Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya.
- Mochtar, I. B. (2000). *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah bermasalah*. Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya.
- Myers, D. (2005). *Expansive Clays and Road Subgrade an Analysis*, www.godismyjudgeok, 31 Agustus 2007.
- Nelson, J.D., and Miller, D.J. (1992). *Expansive Soils; Problem and practice in Foundation and Pavement Engineering*, John Wiley and Sons, New York.
- Rifa'i A. (2002). "Mechanical testing and Modelling of an Unsaturated Silt ith engineering Application." Ph.D Deserstation , EPFL, Switzerland.
- Sapaz, B. (2004). "Lateral Versus Vertical Swell Pressure in Expansive Soils." etd.lib.metu.edu/upload/1053040/indexSeed, H.B., Woodward R.J., Lundgren R., 1962, Prediction of Swelling Potential for Cmpacted Clays, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.88. No. SM3. Proc. Paper 3169*.
- Sudjianto, A.T., Suryolelono, K.B., Rifa'i, A. and Mochtar, I.B. (2008). "Behaviour of Vertical and Lateral Swelling Pressure on Disturbed Highly Expansive Clay Under Water Content Variation Condition, International Conference on Geotechnical and Highway Engineering." *Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008, Paper no G 21*.
- Van Der Merwe, D.H. (1964). "The Prediction of heave from the Plasticity Index and percentage Clay Fraction of Soils." *Civil engineers in south Africa*, 6(6):103-107
- Yong, R, N., and Warketin, B, P. (1975). *Introduction to Soil Behavior*, The Mac Milan Co, New York.