

UJI PERILAKU MENGEMBANG PADA TANAH LEMPUNG AIE PACAH DENGAN METODA *FREE SWELL TEST*

Rina Yuliet¹, Andriani¹ dan Hendra Utama²

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas

2) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas

ABSTRAK

Metoda uji pengembangan bebas (free swell test) adalah salah satu metoda dalam ASTM D4546-90 yang menyajikan suatu cara untuk mengukur pengembangan bebas (free swell), persentase mengembang (percent swell) dan tekanan mengembang (swelling pressure) dengan menggunakan alat uji konsolidometer (oedometer). Metoda ini disebut juga metoda A dalam ASTM D4546-90. Metoda ini biasanya digunakan untuk mengetahui apakah suatu tanah yang akan diuji memiliki potensi mengembang atau tidak. Bahan stabilisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah semen PCC (Portland Composite Cement) merek Tiga Roda dengan variasi kadar semen 0%, 5%, 10% dan 15% dan masa pemeraman sampel adalah 0 hari, 3 hari dan 7 hari pada kondisi kadar air optimum. Hasil pengujian potensi mengembang dengan metoda A ASTM D4546-90 terhadap tanah yang telah distabilisasi dengan semen didapat nilai mengembang bebas (free swell) optimum sebesar 0,344% (turun 92,335% dari tanah asli) dengan kadar semen 10% dan lama pemeraman 7 hari. Nilai persentase mengembang (percent swell) optimum dan tekanan mengembang (swelling pressure) optimum terjadi pada penambahan semen 10% dan lama pemeraman 3 hari.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebanyakan problema tanah dalam keteknikan adalah tanah lempung yang merupakan tanah kohesif. Tanah lempung dapat mengalami penyusutan (*shrinkage*) dan pengembangan (*swelling*). Penyusutan dan pengembangan tanah ini akan mengakibatkan pengaruh yang besar terhadap bangunan atau struktur sipil lainnya seperti:

- a) Kenaikan (*heave*) dan retak-retak (*cracking*) pada perkerasan jalan
- b) Kenaikan (*heave*) dan pecah/jebol (*buckling*) pada lantai dasar (*slab*)
- c) Kenaikan (*heave*) dan pecah/jebol (*buckling*) pada bendungan.

Salah satu alternatif yang baik untuk stabilisasi tanah adalah dengan menggunakan bahan kimia. Penelitian ini terus berkembang karena hasil penelitian yang telah dilakukan disuatu daerah hasilnya tidak dapat disimpulkan berlaku umum pada daerah lainnya.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku mengembang tanah lempung dengan menggunakan metoda uji pengembangan bebas (*free swell test*) dan perilaku tanah tersebut setelah distabilisasi dengan semen.

1.3. Manfaat

Manfaatnya dalam kegiatan geoteknik di lapangan, hasil studi ini diharapkan bisa membantu untuk lebih mengerti perilaku pengembangan tanah lempung di kota Padang (khususnya Aie Pacah), sehingga masalah yang diakibatkan pengembangan tanah pada konstruksi sipil bisa diatasi.

1.4. Batasan Masalah

Pengamatan contoh uji merupakan tanah yang dipadatkan yang diambil dari contoh tanah terganggu (*disturb*) dan tanah dipadatkan dengan 25 kali pukulan pada kadar air optimum. Pengamatan perilaku mengembang mengacu kepada metoda *free swell test* (ASTM D4546-90).

Pengukuran yang dilakukan pada metoda ini adalah :

- 1). Pengukuran mengembang bebas (*free swell*)
- 2). Persentase mengembang (*percent swell*)
- 3). Tekanan mengembang (*swelling pressure*)

Semen yang digunakan sebagai bahan stabilisasi adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*) yang diproduksi oleh PT. Indocement Tungal Prakarsa Tbk. dengan merek Tiga Roda.

2. EKSPERIMEN

2.1. Pengambilan Sampel di Lapangan

Pengambilan contoh tanah yang dilakukan langsung dilapangan merupakan contoh tanah yang terganggu (*disturb sample*). Pengambilan contoh tanah di daerah Aie Pacah ini dilakukan dengan

menggunakan cangkul dan dimasukkan ke dalam karung untuk dibawa ke laboratorium. Tanah dikeringkan dengan suhu udara dan maksimum dengan suhu matahari. Tanah kemudian diremah dengan palu karet sampai kira-kira butiran tanah tersebut lolos saringan no. 4 (4,75 mm).

2.2. Bahan Stabilisasi

Semen PCC (*Portland Composite Cement*) ini memiliki mutu sesuai standar SNI 15-7064-2004. Hasil pengujian yang dilakukan oleh PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1. Hasil Uji Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Uraian	Satuan	SNI 15-7064-2004	Hasil Uji
Syarat Fisika			
1. Kandungan udara dalam mortar	%	12 (maks)	4,60
2. Kehalusan , uji permeabilitas udara, dengan alat blaine	m ² /kg	280 (min)	418
3. Kekekalan, pemuaien dalam autoclave	%	0.80 (maks)	0.05
4. Kuat tekan			
- 3 hari	kg/cm ²	125 (min)	236
- 7 hari	kg/cm ²	200 (min)	303
- 28 hari	kg/cm ²	250 (min)	402
5. Waktu pengikatan dengan alat vicat			
- awal	menit	45 (min)	128
- akhir	menit	375(maks)	339
6. Pengikatan semu, penetrasi akhir	%	50 (min)	73,4
7. Panas hidrasi (7 hari)	kal/gr	-	66.4
8. Konsistensi normal	%	-	25,4
9. Berat Jenis	-	-	3,05
Syarat Kimia			
1. Silikon dioksida (SiO ₂)	%	-	23,04
2. Alumunium oksida (Al ₂ O ₃)	%	-	7,40
3. Ferri oksida (Fe ₂ O ₃)	%	-	3,36
4. Kalsium oksida (CaO)	%	-	57,38
5. Magnesium oksida (MgO)	%	-	1,91
6. Sulfur trioksida (SO ₃)	%	4,0 (maks)	2,00
7. Hilang pijar (LOI)	%	-	3,94
8. Bagian tak larut (IR)	%	-	10,96
9. Kapur bebas (F-CaO)	%	-	0,56

2.3. Percobaan Laboratorium

Pengujian-pengujian yang dilakukan adalah :

- 1). Pemeriksaan Kadar Air (*Water Content*)
Percobaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air tanah.
- 2). Pemeriksaan Berat Jenis (*Specific Gravity*)
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis butiran tanah (Gs).
- 3). Pemeriksaan Analisa Saringan (*Sieve Analysis*)
Pemeriksaan ini bertujuan :
 - a. Untuk mengetahui gradasi pembagian butiran dari suatu contoh tanah berbutiran kasar.
 - b. Untuk mengklasifikasikan tanah
 - c. Untuk mengetahui koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc)
- 4). Pemeriksaan Analisa Hidrometer (*Hydrometer Analysis*)
Bertujuan untuk menentukan macam butiran tanah yang lolos saringan nomor 200 dan lengkung gradasinya.
- 5). Pemeriksaan Batas Cair (*Liquid Limit*)
Pemeriksaan batas cair ini bertujuan untuk menentukan kadar air suatu sampel tanah pada batas cair.
- 6). Pemeriksaan Batas Plastis (*Plastic Limit*)
Percobaan ini bertujuan untuk menentukan kadar air suatu tanah dalam keadaan batas plastis.
- 7). Pemeriksaan Pemadatan Standar (*Standard Proctor*)
Bertujuan untuk menentukan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dry}) dan nilai kadar air optimum (w_{opt}) dari contoh tanah dengan energi tertentu.
- 8). Pemeriksaan Potensial Mengembang
ASTM D4546-90 menyajikan tiga cara pengukuran tekanan mengembang. Dalam penelitian ini yang digunakan hanya metoda A (*free Swell Pressure Test*). Dari metoda A ini bisa diperoleh :
 - a). Nilai mengembang bebas (*free swell*)
 - b). Nilai Persentase mengembang (*percent swell*)
 - c). Nilai Tekanan mengembang (*swelling pressure*)
 Ringkasan pengujiannya adalah sebagai berikut:
Contoh tanah yang sudah disiapkan dalam ring konsolidometer diameter 6,50 cm dan tinggi 2,00 cm, sebelum dibasahi diberi *seating pressure* (σ_{se}) minimal sebesar 1 kPa. Karena beban paling kecil yang tersedia di laboratorium adalah 830 gram, maka dalam penelitian ini digunakan *seating pressure* sebesar 2,5 kPa. Lakukan pembacaan dalam waktu 5 menit dan aturlah alat deformasi *extensometer* untuk pembacaan awal nol. Tambahkan tekanan vertikal awal (σ_1) yang besarnya sama dengan perkiraan tekanan vertikal tanah di lapangan (antara 25 kPa s/d 100 kPa) tergantung pada

kondisi tanah yang diharapkan di lapangan. Dalam pengujian ini tekanan vertikal awal (σ_1) yang diberikan adalah 25 kPa. Lakukan pembacaan dial dalam waktu 5 menit dan lepaskanlah tekanan vertikal awal (σ_1) tersebut kecuali untuk seating pressure. Lakukan pembacaan dial dalam waktu 5 menit setelah dilakukan pelepasan tekanan vertikal awal (σ_1). Segera genangi contoh tanah dengan air dan lakukan pencatatan dalam waktu 48 jam. Langkah selanjutnya adalah contoh tanah diberi beban tambahan berturut-turut 5 kPa, 10 kPa, 20 kPa, 40 kPa dan 80 kPa. Untuk masing-masing kondisi dipakai masa pembebanan 24 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Percobaan

Tabel 3.1. Resume Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

No	Jenis Pengujian	Parameter	Nilai	Satuan
1	Kadar air asli	w	50,886	%
2	Spesific gravity			
	1. Tanah asli	Gs	2,750	-
	2. Tanah + Semen 5 %	Gs	2,752	-
	3. Tanah + Semen 10%	Gs	2,754	-
	4. Tanah + Semen 15 %	Gs	2,758	-
3	Atterberg Limits	LL	72,32	%
		PL	46,35	%
		PI	25,96	%
4	Analisa Butiran	% \leq silt	97,42	%
		Lempung (C)	26,73	%

Tabel 3.2. Resume Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah (Pemadatan)

No	Jenis Pengujian	Parameter	Nilai	Satuan
1	Pemadatan			
	1. Tanah Asli	γ_{dry}	2,285	gram/cm ³
		w_{opt}	32,5	%
	2. Tanah + Semen 5 %	γ_{dry}	1,317	gram/cm ³
		w_{opt}	31	%
	3. Tanah + Semen 10 %	γ_{dry}	1,328	gram/cm ³
		w_{opt}	29,5	%
	4. Tanah + Semen 15 %	γ_{dry}	1,33	gram/cm ³
		w_{opt}	29,25	%

Tabel 3.3. Hasil Pengujian dengan Metoda *Free Swell Test*

Persen Semen	Lama Perawatan	Free Swell	Percent Swell	Swelling Pressure
0 %	0 hari	4,488	1,786	47
5 %	0 hari	3,550	1,899	54
	3 hari	2,071	0,277	30
	7 hari	0,858	0,050	28
10 %	0 hari	1,921	1,116	>80
	3 hari	0,469	*	21
	7 hari	0,344	*	20
15 %	0 hari	2,703	1,424	>80
	3 hari	1,282	*	21
	7 hari	0,652	*	14

3.2. Pembahasan

3.2.1. Uji Klasifikasi Teknik

a. Sistem Klasifikasi AASHTO dan Unified

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO tanah Aie Pacah termasuk ke dalam kelompok A-7-5 dengan nilai LL = 72,32%, nilai PL = 46,35% dan lolos saringan no.200 = 97,42%, sedangkan berdasarkan sistem klasifikasi Unified tanah Aie pacah merupakan tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi (LL > 50%) dengan simbol kelompok MH dan OH.

b. Kriteria Skempton (1953)

Menurut kriteria Skempton nilai aktivitas tanah lempung Aie Pacah adalah :

$$\begin{aligned} A_c &= \text{Indeks Plastisitas}/(C-10) \\ &= 25,96/(26,73-10) \\ &= 1,55 \end{aligned}$$

Dari nilai aktivitas tersebut, tanah lempung Aie Pacah dikategorikan sebagai lempung yang aktif dan ekspansif dimana nilai $A_c > 1,25$. Lempung yang aktif menunjukkan potensi yang tinggi untuk mengembang.

c. Klasifikasi Tanah Ekspansif Menurut Holtz & Gibbs (1956)

Menurut Holtz & Gibbs yang mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasarkan kadar colloid menurut USBR, dengan *Plasticity Index* sebesar 25,96% tanah lempung Aie Pacah termasuk tanah yang memiliki derajat pengembangan yang tinggi (*High*).

d. Kriteria Chen (1965)

Chen mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasarkan persen lolos saringan nomor 200 dan batas cair. Menurut klasifikasi tersebut, tanah lempung Aie pacah yang mempunyai persen lolos saringan nomor 200 sebesar

97,42% dan batas cair sebesar 72,32% memiliki derajat pengembangan sangat tinggi (*Very High*).

e. Kriteria Altmeyer (1955)

Altmeyer mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasarkan batas susut. Karena dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian batas susut, maka derajat pengembangan tanah lempung Aie Pacah berdasarkan kriteria ini tidak dapat ditentukan.

3.2.2. Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Batas-batas Konsistensi Tanah

a. Kriteria Raman (1967)

Raman mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasarkan nilai Indeks Plastis (*Plasticity Indeks*) dan Indeks Susut tanah (*shrinkage Indeks*). Berdasarkan klasifikasi tersebut, tanah lempung Aie Pacah yang mempunyai Indeks Plastis (*Plasticity Indeks*) sebesar 25,96 % dikategorikan sebagai tanah yang mempunyai derajat pengembangan yang tinggi (*High*).

b. Kriteria Seed (1962)

Seed mengklasifikasikan potensial pengembangan tanah berdasarkan persentase lolos saringan 0,002 mm, nilai aktifitas dan persentase pengembangan. Data yang didapat dari tanah lempung Aie Pacah adalah :

- Persentase lolos saringan 0,002 mm = 26,73 %
- Aktifitas = 1,55

Berdasarkan klasifikasi tersebut tanah lempung Aie Pacah mempunyai potensial pengembangan yang tinggi (*High*).

c. Kriteria Chen (1988)

Nilai Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks*) tanah lempung Aie Pacah yang diperoleh dari pengujian batas konsistensi tanah (*Atterberg Limit*) adalah sebesar 25,96%. Menurut kriteria Chen, tanah lempung Aie Pacah ini digolongkan sebagai tanah yang mempunyai potensi pengembangan tinggi (*High*).

d. Kriteria William (1958)

William mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasarkan fraksi lempung dan Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks*). Menurut kriteria William, tanah lempung Aie Pacah yang mempunyai fraksi lempung sebesar 26,73% dan Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks*) sebesar 25,96% digolongkan sebagai tanah yang mempunyai potensi pengembangan tinggi (*high*).

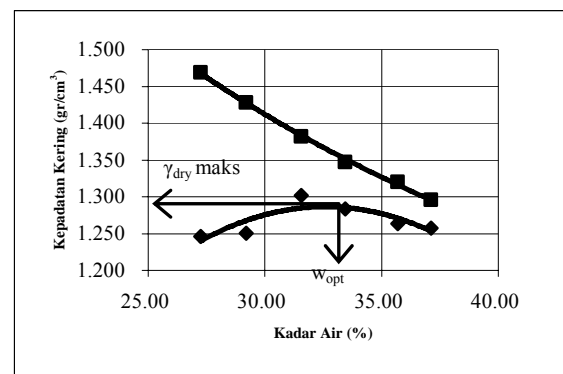
e. Kriteria Snethen (1977)

Snethen mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasarkan Batas Cair (*Liquid Limit*) dan Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks*). Menurut kriteria Snethen, tanah lempung Aie Pacah yang mempunyai Batas Cair (*Liquid Limit*) sebesar 72,32% mempunyai potensi pengembangan yang tinggi (*High*). Sedangkan dari nilai Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks*) yang bernilai sebesar 25,96%, tanah lempung Aie Pacah mempunyai potensi pengembangan yang sedang (*Marginal*).

3.2.3. Analisa Sifat Mekanis Tanah

3.2.3.1. Hasil Uji Pemadatan

Dalam pengujian pemadatan diperoleh nilai kadar air optimum (w_{opt}) dan kepadatan kering maksimum (γ_{dry} maksimum). Pada penelitian ini pengujian pemadatan tanah merupakan pengujian pendahuluan dan menjadi patokan dalam pengujian pengembangan tanah dengan metoda *free swell test*, dimana dalam membuat sampel untuk uji pengembangan selalu mengkondisikan benda uji pada kondisi kadar air optimum. Resume hasil pengujian pemadatan dapat dilihat pada **Tabel 3.2**. Grafik hasil pengujian pemadatan tanah asli dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut :



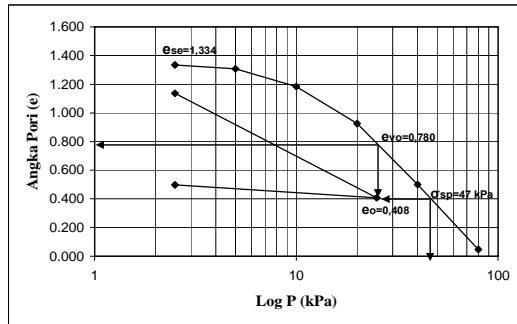
Gambar 3.1. Grafik Pemadatan Tanah Asli

Dari grafik di atas diperoleh nilai kadar air optimum (w_{opt}) sebesar 32,5% dan nilai kepadatan kering maksimum (γ_{dry} maksimum) sebesar 1,285 gram/cm³.

3.2.3.2. Hasil Uji Pengembangan dengan Metode Free Swell Test

Hasil pengujian pengembangan dengan metode A (ASTM D4546-90) untuk tanah asli dapat dilihat pada **Gambar 3.2**. Dari gambar tersebut dapat ditentukan besarnya potensial mengembang (*Potencial swelling*) yang meliputi penentuan mengembang bebas (*Free Swell*), penentuan persentase mengembang (*Percent Swell*) dan tekanan mengembang (*Swelling Pressure*). Masing-masing benda uji dipadatkan dengan energi

pemadatan yang sama yaitu 25x pukulan dan selalu mengkondisikan pada kadar air optimum.



Gambar 3.2. Potensial Mengembang Metode A (ASTM D4546-90) Untuk Tanah Asli

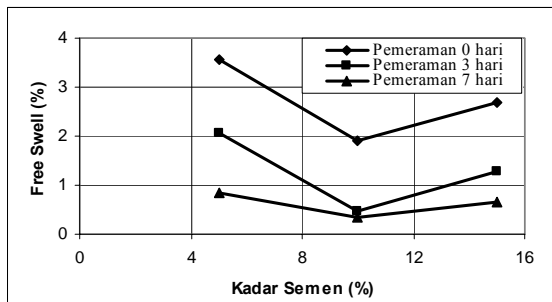
1. Pengukuran Mengembang Bebas (*Free Swell*)

Dari Gambar 3.2 dapat dihitung besarnya mengembang bebas (*Free Swell*) untuk metode A. Contoh perhitungannya diberikan dalam persamaan berikut :

$$\frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{e_{se} - e_o}{1 + e_o} \times 100 = \frac{1,156 - 1,063}{1 + 1,063} \times 100 = 4,488\%$$

Tabel 3.4. Nilai *free Swell* campuran tanah dan semen

Lama Pemeraman	Kadar Semen (%)		
	Mengembang Bebas (%)		
	5	10	15
0 hari	3,550	1,921	2,703
3 hari	2,071	0,469	1,282
7 hari	0,858	0,344	0,652



Gambar 3.3. Hubungan *Free Swell* dengan Kadar Semen

Dari Gambar 3.3 di atas dapat dilihat bahwa nilai mengembang bebas (*Free swell*) untuk setiap variasi pemeraman turun sampai kadar semen 10%, sedangkan untuk kadar semen 15% nilai pengembangan bebas (*Free Swell*) kembali naik.

Dari Tabel 3.4 di atas dapat dilihat bahwa hampir setiap penambahan kadar semen dan waktu pemeraman diikuti oleh penurunan nilai mengembang bebas. Oleh karena itu maka nilai mengembang bebas yang optimum bukanlah nilai yang terkecil pada setiap penambahan kadar semen, tetapi suatu nilai yang memberikan selisih penurunan terbesar dari nilai mengembang bebas

yang satu ke nilai mengembang bebas yang lainnya. Untuk lebih mengetahui seberapa besar pengaruh yang diberikan oleh semen terhadap nilai mengembang bebas, maka dihitung persentase penurunan nilai mengembang bebas untuk masing-masing kadar semen dan waktu pemeraman terhadap nilai mengembang bebas tanah asli. Persentase penurunan nilai mengembang bebas untuk penambahan kadar semen dan waktu pemeraman dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut :

Tabel 3.5. Persentase Penurunan Mengembang Bebas (*Free Swell*)

Lama Pemeraman	Kadar Semen (%)	Mengembang Bebas (%)			
		0	5	10	15
0 hari		4,488	3,550	1,921	2,703
	% turun		-20,90	-57,19	-39,77
3 hari			2,071	0,469	1,282
	% turun		-53,85	-89,55	-71,43
7 hari			0,858	0,344	0,652
	% turun		-80,88	-92,33	-85,47

Keterangan : tanda (-) menunjukkan pengurangan

Dari Tabel 5.2 di atas dapat dilihat bahwa pengurangan mengembang bebas yang terbesar terjadi pada penambahan semen 10% dan lama pemeraman 7 hari, jadi nilai mengembang bebas yang optimum terjadi pada penambahan kadar semen 10% dan lama pemeraman 7 hari.

2. Persentase mengembang (*Percent Swell*)

Berdasarkan Gambar 3.2 besarnya persentase mengembang (*Percent Swell*) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{e_{vo} - e_o}{1 + e_o} \times 100 = \frac{1,100 - 1,063}{1 + 1,063} \times 100 = 1,786\%$$

Tabel 3.6. Nilai *Percent Swell* campuran tanah dan semen

Lama Pemeraman	Kadar Semen (%)		
	Persen Mengembang (%)		
	5	10	15
0 hari	1,899	1,116	1,424
3 hari	0,277	*	*
7 hari	0,050	*	*

Keterangan : tanda (*) menunjukkan tidak terjadi pengembangan

Dari Tabel 3.6 di atas dapat dilihat bahwa untuk kadar semen 10% dan 15% dengan variasi pemeraman 3 hari dan 7 hari sudah tidak terjadi lagi pengembangan, dimana pada kondisi ini nilai e_{vo} lebih kecil dari nilai e_o pada tegangan yang sama. Hal ini disebabkan karena pengaruh penambahan

semen dan lamanya waktu pemeraman sampel tanah. Semakin banyak kadar semen akan semakin banyak pula ion Ca^{++} dari semen yang akan menggantikan (*Exchangable Cation*) ion H^+ dan Na^+ yang ada pada tanah asli, sehingga tanah lebih stabil. Selain itu pengurangan persentase mengembang juga dipengaruhi oleh proses hidrasi dimana Silikat dan Aluminat pada semen bereaksi dengan air menjadi media perekat lalu membentuk masa yang keras. Nilai persentase mengembang optimum diperoleh pada kadar semen 10% dan lama pemeraman 3 hari.

3. Tekanan Mengembang (Swelling Pressure)

Tabel 3.7 Nilai *Swelling Pressure* campuran tanah dan semen

Lama Pemeraman	Kadar Semen (%)		
	Tekanan Mengembang (%)		
	5	10	15
0 hari	54	>80	>80
3 hari	30	21	21
7 hari	28	20	14

Nilai tekanan mengembang (*Swelling Pressure*) tanah asli dapat ditentukan langsung dari **Gambar 3.2**, yaitu : $\sigma_{sp} = 47$ kPa. Dari **Tabel 3.7** di atas dapat dilihat bahwa pada pemeraman 0 hari (tanpa pemeraman) untuk kadar semen 5%, 10% dan 15% nilai tekanan mengembang semakin besar dengan bertambahnya kadar semen, sedangkan untuk pemeraman 3 hari dan 7 hari nilai tekanan mengembang semakin kecil dengan bertambahnya kadar semen. Dari **Tabel 3.7** juga terlihat bahwa semakin lama waktu pemeraman nilai tekanan mengembang semakin kecil. **Tabel 3.8** berikut menunjukkan persen penurunan tekanan mengembang untuk variasi kadar semen dan waktu pemeraman.

Tabel 3.8. Persentase Penurunan Tekanan Mengembang (*Swelling Pressure*)

Lama Pemeraman	Kadar Semen (%)	Tekanan Mengembang (kPa)			
		0	5	10	15
0 hari		47	54	>80	>80
	% turun		+14,89	> +70,21	> +70,21
3 hari			30	21	21
	% turun		-36,17	-55,31	-55,3
7 hari			28	20	14
	% turun		-40,42	-57,44	-70,21

Ket : tanda (-) menunjukkan pengurangan

Dari **Tabel 3.8** di atas terlihat bahwa kenaikan tekanan mengembang terbesar terjadi pada

waktu tanpa pemeraman dengan variasi kadar semen 10% dan 15%. Sedangkan penurunan tekanan mengembang yang terbesar terjadi pada waktu pemeraman 7 hari dengan kadar semen 15%. Nilai tekanan mengembang yang optimum bukanlah nilai tekanan mengembang yang terbesar atau yang terkecil, tetapi nilai tekanan mengembang pada saat persentase mengembang optimum yaitu pada kadar semen 10% dan lama pemeraman 3 hari.

4. KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

- Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO tanah lempung Aie Pacah Padang termasuk ke dalam kelompok A-7-5 dengan nilai $LL = 72,32\%$, nilai $PL = 46,35\%$ dan lolos saringan no.200 = $97,42\%$, sedangkan berdasarkan sistem klasifikasi Unifed tanah Aie pacah merupakan tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi ($LL > 50 \%$) dengan simbol kelompok MH dan OH.
- Kriteria tanah ekspansif berdasarkan uji klasifikasi teknik yang dikemukakan oleh beberapa ahli seperti Skempton (1953), Holtz & Gibbs (1956), dan Chen (1965), maka tanah lempung Aie Pacah Padang dikategorikan sebagai tanah lempung dengan derajat pengembangan tinggi ke sangat tinggi (*high to very high*).
- Kriteria tanah ekspansif berdasarkan batas-batas konsistensi tanah yang dikemukakan oleh beberapa ahli seperti Rahman (1967), Seed (1962), Chen (1988) dan Snethen (1977), maka tanah lempung Aie Pacah Padang dikategorikan sebagai tanah lempung yang mempunyai potensi pengembangan dari sedang ke tinggi (*marginal to high*).
- Kriteria tanah ekspansif berdasarkan uji minerologi tidak bisa ditentukan karena dalam penelitian ini tidak dilakukan uji minerologi.
- Dari uji pemadatan tanah asli diperoleh nilai kadar air optimum (w_{opt}) sebesar $32,5\%$ dan nilai kepadatan kering maksimum (γ_{dry} maksimum) sebesar $1,285$ gram/cm³.
- Nilai mengembang bebas (*free swell*) semakin kecil seiring dengan bertambahnya kadar campuran semen dan waktu pemeraman, kecuali pada kadar semen 15% terjadi penyimpangan sehingga nilai mengembang bebas kembali naik. Nilai mengembang bebas optimum diperoleh pada kadar semen 10% dan lama pemeraman 7 hari.
- Untuk kadar semen 5% nilai persentase mengembang (*percent swell*) semakin kecil seiring dengan bertambahnya waktu pemeraman. Untuk kadar semen 10% dan 15% dengan variasi pemeraman 3 hari dan 7 hari sudah tidak terjadi lagi pengembangan. Nilai persentase mengembang optimum diperoleh

pada kadar semen 10% dan lama pemeraman 3 hari.

8. Pada pemeraman 0 hari (tanpa pemeraman) nilai tekanan mengembang (*swelling pressure*) semakin besar dengan bertambahnya kadar semen, sedangkan untuk pemeraman 3 hari dan 7 hari nilai tekanan mengembang semakin kecil dengan bertambahnya kadar semen. Nilai tekanan mengembang optimum diperoleh pada saat persentase mengembang optimum yaitu pada kadar semen 10% dan lama pemeraman 3 hari.

4.2 Saran

1. Penelitian dengan variasi kadar semen yang lebih besar dari 15% dan variasi pemeraman yang berbeda dengan penelitian ini perlu juga dilakukan untuk melihat potensi pengembangan yang terjadi apakah meningkat atau menurun.
2. Pengamatan mengenai perilaku mengembang perlu benda uji yang lebih banyak agar dapat diperoleh kesimpulan yang lebih akurat.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan metoda B (*Loaded Swell Test*) dan metoda C (*Constant Volume Test*) sehingga didapatkan perbandingan nilai pengembangan diantara ketiga metoda tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bowles, J.E, "Foundation Analysis and Design", McGraw – Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, Japan, 1977.
2. Holtz & Kovacs, "An Introduction to Geotechnical Engineering", Prentice – Hill, Inc., Englewood Cliffs, 1981.
3. Das, Braja M, "Advanced Soil Mechanics", McGraw – Hill, Singapore, 1983.
4. Annual Books of ASTM Standards, American Society for Testing Material, Philadelphia, 1989.
5. Das, Braja M, "Principles of foundation Engineering", Second Edition, PWS – KENT Publishing Company, 1990.
6. Cristady, Hardiyanto hary, "Mekanika Tanah", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1992.
7. Das, Braja M, (translated by Mochtar.N.E and Mochtar I.B.), "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I", Erlangga, Jakarta, 1995.
8. Yuliet, Rina, "Studi Perilaku Mengembang Dengan Metoda ASTM D4546-90 (A,B,C) dan Kekuatan Geser Pada Tanah Lempung Montmorillonite Karangnunggal", Tesis Magister, Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung, 2001.

BIO DATA

Rina Yuliet, dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas. Menyelesaikan S1 tahun 1996, menyelesaikan program Magister Teknik Sipil Bidang Keahlian Geoteknik pada tahun 2001