

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil pengujian *swelling* yang dilakukan di laboratorium. Dengan menggunakan tanah lempung ekspansif yang diambil dari daerah Paron, Kabupaten Ngawi Jawa Timur, dan diperoleh hasil dari percobaan *swelling* pada alat oedometer.

Pengujian *swelling* dengan menggunakan variasi penambahan kadar air. Meliputi uji pemadatan dan *swelling* dengan menggunakan alat oedometer. Hasil dari pengujian akan dipaparkan dalam bentuk tabel dan grafik, meliputi tekanan pengembangan, pengembangan dan angka pori.

#### 4.1 Hasil Pemeriksaan Jenis Tanah dan Pemadatan Standar

Hasil pengujian pada pemeriksaan sifat-sifat tanah baik sifat fisik/ *physical properties* yang digunakan sebagai sampel pada penelitian ini diambil dari data sekunder yakni pada penelitian terdahulu. Adapun sifat-sifat tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

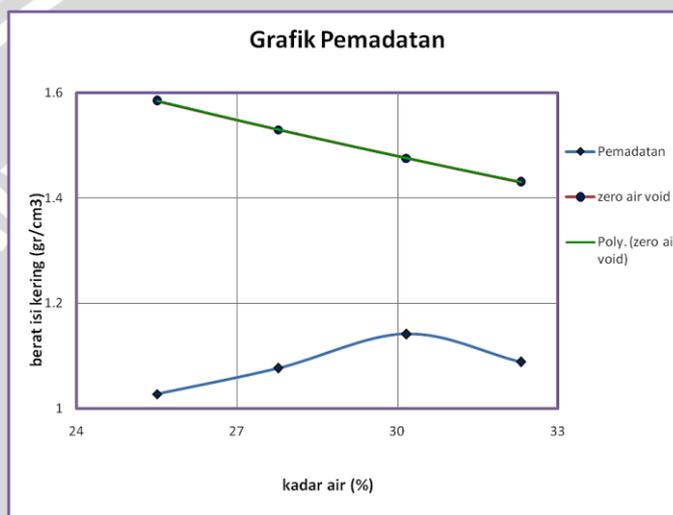
**Tabel 4.1** Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah (Ratna, dkk 2012)

Jenis Pengujian	Parameter	Satuan	
<b>Minerologi Tanah</b>	Difraksi Sinar X		Montmorillonite-15A; Cristobalite, syn; Albite, disordered.
<b>Kandungan Air Alami</b>		%	40.55
<b>Specific Gravity</b>		-	2.66
<b>Berat Isi Tanah</b>		gr/cm <sup>3</sup>	1.11
<b>Distribusi Butiran</b>	Pasir Kasar	% Wtot	0
	Pasir Sedang	% Wtot	0
	Pasir Halus	% Wtot	2.25
	Lanau (Silt)	% Wtot	31.5
	Lempung (Clay)	% Wtot	66.051
<b>Batas Atterberg</b>	Batas Cair	wc %	103.887
	Batas Plastis	wc %	47.527
	Indeks plastisitas	wc %	56.3605
<b>Sifat Pemadatan</b>	Berat isi kering	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.142
	Kadar Air Optimum (OMC)	(w) %	30.169
<b>Free Swelling</b>		%	185

Dari penelitian terdahulu, pada percobaan pemadatan standar, didapatkan besaran kadar air optimum (OMC) yang dibutuhkan untuk penelitian *swelling* sekarang seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1 dibawah ini :

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Proktor Standar (Ratna, dkk 2012)

Percobaan	Satuan	1	2	3	4
Kadar Air Optimum / OMC (w)	%	25,507	27,768	30,169	32,309
Berat Isi Kering ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,027	1,077	1,142	1,088
Berat Isi Kering Zero air Void ( $\gamma_{zav}$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,585	1,530	1,476	1,431



**Gambar 4.1** Grafik Hubungan antara Kadar Air dengan Berat Volume Tanah Kering (Ratna, dkk 2012)

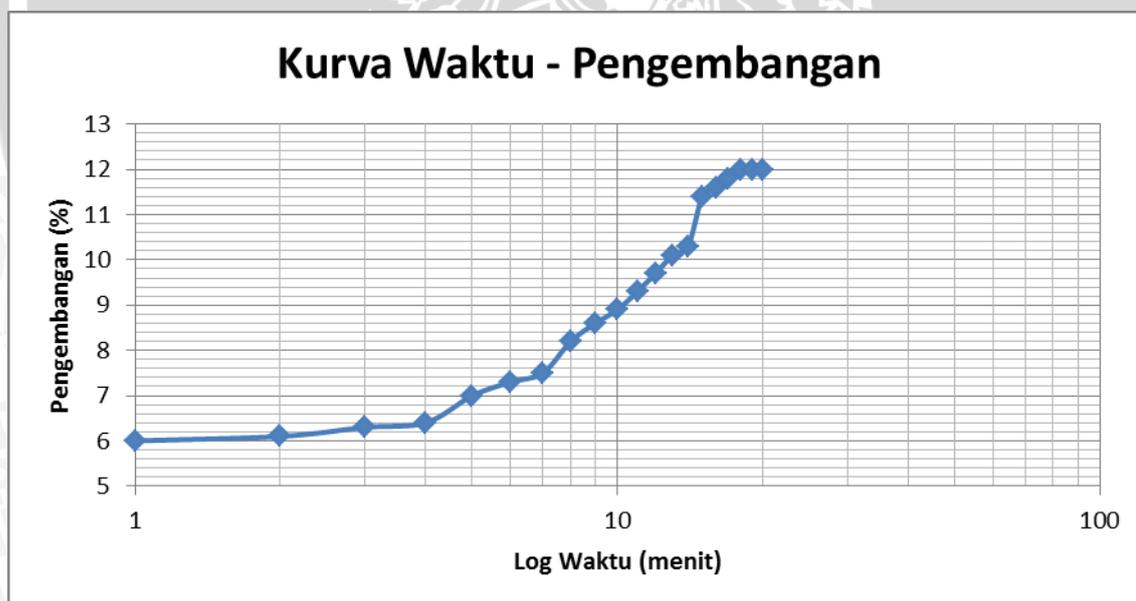
Dari kurva yang didapatkan di atas, dapat diketahui bahwa tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini memiliki nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 30,169% dengan berat volume kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) sebesar 1,142 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.2 Hasil Pengujian Pengembangan

Setelah dilakukan pengujian di laboratorium sesuai dengan rancangan penelitian yang telah direncanakan Dari percobaan di laboratorium sampel tanah sebelum mengalami penurunan (konsolidasi), sampel tanah tersebut mengalami pengembangan (*swelling*) terlebih dahulu. Hasil pengembangannya tersebut seperti pada Gambar 4.2.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Pengembangan

Waktu (Menit)	Tekanan (kPa)												
	1,5	5	10	20	40	80	150	200	300	400	500	600	700
0	6	12	11.8	11.6	11.4	11.2	10.7	9.5	9	8.2	7.3	6.7	5.8
0.1	6.1												
0.25	6.3												
0.5	6.4												
1	7												
2	7.3												
4	7.5												
8	8.2												
15	8.6												
30	8.9												
60	9.3												
120	9.7												
240	10.1												
480	10.3												
1440	11.4	11.8	11.6	11.4	11.2	10.7	9.5	9	8.2	7.3	6.7	5.8	4.1
2880	11.6												
4320	11.8												
5760	12												
7200	12												
8640	12												
10080													

**Gambar 4.2** Hasil Pengujian Pengembangan Untuk Tekanan 1,5 kPa.

Melihat hasil gambar grafik di atas didapatkan hasil pengembangan rata-rata terjadi peningkatan dari jam awal sampai jam terakhir. Pembacaan pertama dimulai pada jam ke 0, kemudian 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30; 60; 120; 240; 480; 1440; 2880; 4320; hingga 8640 menit (hingga pengembangan primer selesai). Pengujian ini sesuai dengan SNI 6424:2008 tentang cara uji pengembangan atau penurunan satu

dimensi tanah kohesif dan ASTM D 4546-90 tentang *One dimensions swell or settlement potensial of cohesive soil*.

Setelah pembacaan pengembangan primer terjadi, dilakukan penambahan beban hingga sampel tanah kembali ke kondisi semula (kembali ke angka pori/tinggi awal atau pembacaan awal). Untuk mencari nilai angka pori awal, dilakukan perhitungan seperti pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Perhitungan Angka Pori Awal (e)

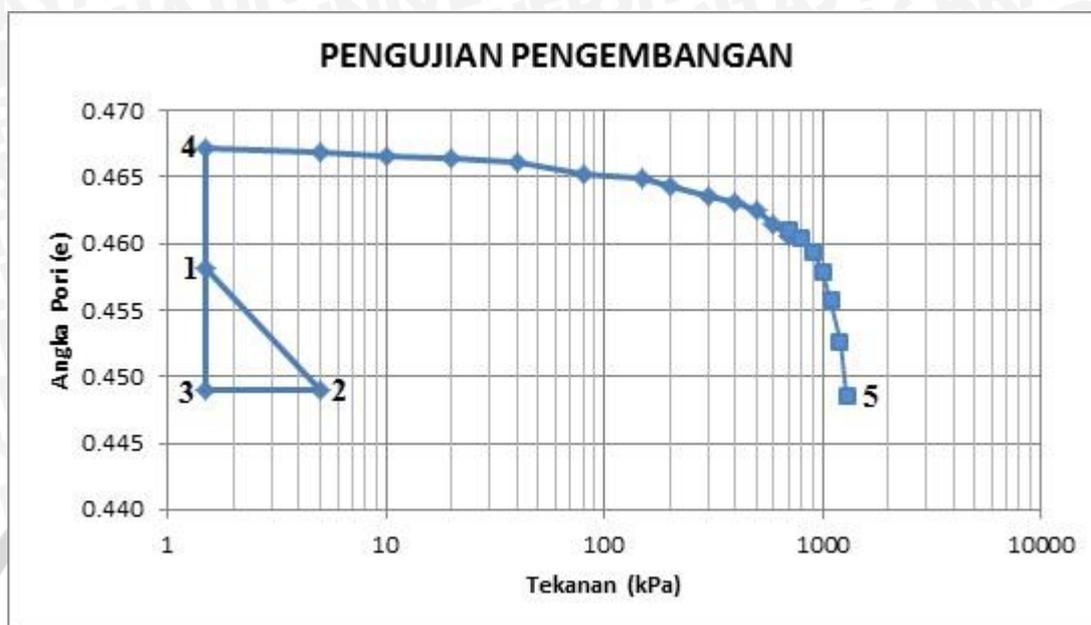
Kadar Air dan Berat Isi	Satuan	Sebelum	Sesudah	Angka Pori	Satuan	Sebelum	Sesudah
Berat Tanah Basah + Cincin	gr	182.300	179.000	Tinggi Sample	cm	1.93000	1.91800
Berat Cincin	gr	64.200	64.200	Luas	cm <sup>2</sup>	31.18500	
Berat Contoh Basah	gr	118.100	114.800	Volume	cm <sup>3</sup>	60.1871	59.8128
Berat Contoh Kering (Ws)	gr	109.800	109.800	Ht = (Ws/(A.Gs))	cm	1.3237	1.3237
Berat Air (Ww)	gr	8.300	5.000	Angka Pori $e=(H-Ht)/Ht$		0.4581	0.4490
Kadar Air (Ww/Ws)x100%	%	7.559	4.554	Berat Jenis		2.6600	
Berat Isi Basah	gr/cm <sup>3</sup>	1.870	1.818				
Berat Isi Kering	gr/cm <sup>3</sup>	1.739	1.739				

Dari Tabel 4.4 tentang perhitungan angka pori awal (e), didapatkan nilai angka pori awal sebesar 0,4581, angka pori awal digunakan untuk membuat kurva tekanan angka pori-log vertikal seperti pada Gambar 4.3 yang sesuai dengan SNI 6424:2008 tentang cara uji pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif cara A dan ASTM D 4546-90 tentang *One dimensions swell or settlement potensial of cohesive soil*.

**Tabel 4.5** Perhitungan Angka Pori (e) Saat Perendaman Berlangsung

Tekanan (P) (kPa)	Tinggi Contoh Tanah Pada Akhir Konsolidasi H (cm)	Hv = H-Ht (cm)	e = Hv/Ht
1.5	1.942	0.618	0.467
5	1.942	0.618	0.467
10	1.942	0.618	0.467
20	1.941	0.618	0.467
40	1.941	0.618	0.467
80	1.941	0.617	0.466
150	1.940	0.616	0.465
200	1.939	0.615	0.465
300	1.938	0.615	0.464
400	1.937	0.614	0.464
500	1.937	0.613	0.463
600	1.936	0.612	0.462
700	1.934	0.610	0.461

Perhitungan untuk mencari nilai angka pori pada saat perendaman pada Tabel 4.5 mengacu Braja M.Das, 1995 Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis).



**Gambar 4.3** Kurva Hubungan Angka Pori-Log Tekanan Hasil Pengujian

Pembuatan kurva hubungan angka pori-log tekanan hasil pengujian yaitu sebagai berikut: setelah 5 menit pemberian tekanan penyeimbang  $\sigma_{se}$  (nomor 1), kemudian diberi tekanan vertikal awal  $\sigma_1$  (nomor 2), sama dengan estimasi tekanan lapangan, kemudian catat deformasi dalam waktu 5 menit setelah pemberian tekanan  $\sigma_1$ , kemudian lepas tekanan  $\sigma_1$  (nomor 3) dan genangi benda uji dengan air hingga pengembangan primer selesai (nomor 4), kemudian teruskan penambahan beban sesuai dengan SNI 6424:2008, yaitu 5; 10; 20; 40; 80 kPa dan seterusnya hingga pembacaan kembali pada kondisi ke angka pori semula atau tinggi awal (nomor 5).

Pada Gambar 4.3 didapatkan nilai tekanannya sekitar 1300 kPa, kurva hubungan angka pori-log tekanan hasil pengujian ini diambil dari SNI 6424:2008 tentang cara uji pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif cara A dan ASTM D 4546-90 tentang *One dimensions swell or settlement potensial of cohesive soil*.

Pada Gambar 4.3, tekanan yang diberikan sebesar 700 kPa, pada saat perhitungannya tekanan sebesar 700 kPa angka porinya belum mencapai angka pori awal sebesar 0,449. Sehingga untuk mencapai angka pori awal sebesar 0,449 maka digunakan metode *extrapolasi*, dengan metode *extrapolasi* tersebut didapatkan nilai tekanannya sebesar 1300 kPa.

Perhitungan Persentase pengangkatan (*heave*) secara detail dapat dilihat pada Tabel 4.6. Contoh perhitungan persentase pengangkatan pada tekanan vertikal  $\sigma$  sampai dengan tekanan pengembangan  $\sigma_{sp}$ , terhadap  $e_0$  atau tekanan awal  $\sigma_{v_0}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \% \text{ pengembangan (heave)} &= \frac{e - e_0}{1 + e_0} \times 100 = \frac{0,467 - 0,449}{1 + 0,449} \times 100 \\ &= 1,251 \% \end{aligned}$$

Dimana :

$e$  : Angka pori pada tekanan vertikal.

$e_0$  : Angka pori awal.

**Tabel 4.6** Perhitungan Untuk Mencari Tekanan Pengembangan dan Persentase Pengangkatan

Tekanan (kPa)	Pembacaan Akhir (cm)	Perubahan (cm)	H (cm)	e	Heave (%)	Tekanan Pengembangan (kPa)
1.5	1.2		1.93	0.458		
		0.04				
5	1.16		1.89	0.449		
		0.02				
1.5	1.14		1.87	0.449	1.2513	1295
		-0.06				
1.5	1.2		1.93	0.467		
		0.02				
5	1.18		1.91	0.467		
		0.05				
10	1.13		1.86	0.467		
		0.03				
20	1.1		1.83	0.466		
		0.03				
40	1.07		1.8	0.466		
		0.12				
80	0.95		1.68	0.465		
		0.05				
150	0.9		1.63	0.465		
		0.08				
200	0.82		1.55	0.464		
		0.09				
300	0.73		1.46	0.464		
		0.06				
400	0.67		1.4	0.463		
		0.09				
500	0.58		1.31	0.462		
		0.13				
600	0.45		1.18	0.461		
		0.13				
700	0.32		1.05	0.461		

Dari Tabel 4.6 dilakukan perhitungan untuk mencari nilai tekanan pengembangan yang terjadi pada sampel tanah tersebut, dapat dicari menggunakan Kurva Hubungan Angka Pori – Log Tekanan Vertikal pada Hasil Pengujian (Gambar 4.3) dengan cara melihat tekanan pengembangan terakhir berada di titik berapa pada saat sampel memiliki nilai angka pori yang sama dengan sampel awal ketika direndam kemudian dikurangi dengan tekanan lapangan sebesar 5 kPa.

Sebagai contoh perhitungannya dengan menggunakan Gambar 4.3, dimana titik tekanan akhirnya berada di kisaran angka 1300, kemudian dikurangi dengan tekanan lapangan sebesar 5 kPa, hasilnya 1295 kPa.

Diasumsikan tekanan lapangan di laboratorium sebesar 5 kPa untuk kedalaman 0,437 mm, sedangkan untuk 1295 kPa untuk kedalaman 113,398 mm. Untuk perhitungannya dapat dilihat dibawah ini :

Beban *surchage* tanah akibat beban di atasnya :

$$\begin{aligned} q &= \gamma d \cdot H \\ 0,5 &= 1,142 \times H \\ H &= \frac{0,5}{1,142} \\ &= 0,437 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} q &= \text{Beban merata diatas tanah (gr/mm}^2\text{)} \\ \gamma d &= \text{Berat volume tanah kering (gr/mm}^3\text{)} \\ H &= \text{Kedalaman (mm)} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk beberapa sampel dengan kadar air yang berbeda sesuai dengan rancangan penelitian, yaitu sampel dengan kadar air OMC, OMC-5% dan OMC+5%, maka hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 tentang hasil pengujian pengembangan.

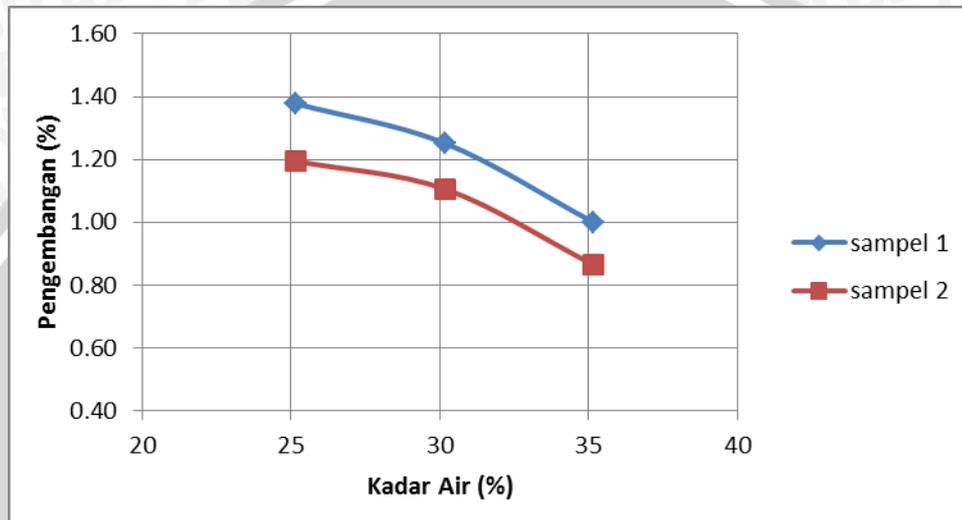
**Tabel 4.7** Hasil Pengujian Pengembangan dan Tekanan Pengembangan.

Parameter	Pengembangan (%)			Tekanan Pengembangan (kPa)		
	OMC -5%	OMC	OMC+5%	OMC -5%	OMC	OMC+5%
Persentase Kadar Air	25,169 %	30,169 %	35,169 %	25,169 %	30,169 %	35,169 %
Kadar Air (WC)	25,169 %	30,169 %	35,169 %	25,169 %	30,169 %	35,169 %
Sampel 1	1,377	1,251	0,999	1495	1295	1195
Sampel 2	1,194	1,106	0,864	1295	1195	1095

Dari Tabel 4.7 diketahui bahwa, jika kadar air dikurangi maka pengembangan dan tekanan pengembangannya akan besar, tetapi apabila kadar air ditambahkan, maka pengembangan dan tekanan pengembangannya akan berkurang.

### 4.3 Hubungan Kadar Air dengan Pengembangan

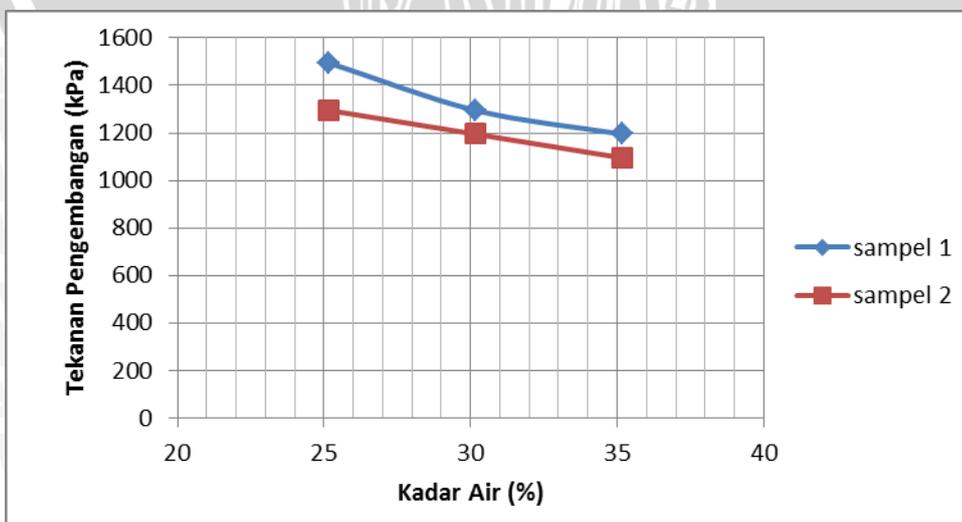
Sesuai dengan Tabel 4.7 dapat dibuat grafik untuk menarik sebuah kesimpulan yaitu hubungan antara pengaruh variasi kadar air terhadap pengembangan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Air dengan Pengembangan

### 4.4 Hubungan Kadar Air dengan Tekanan Pengembangan

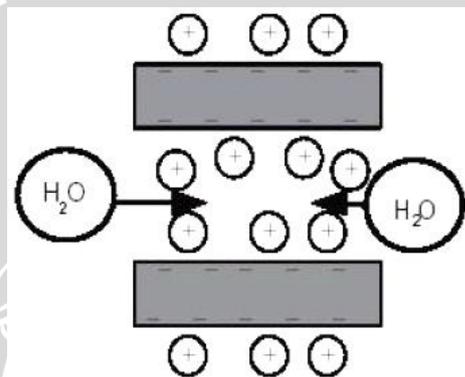
Berdasarkan pada Tabel 4.7 dapat pula dibuat grafik yang menyatakan hubungan kadar air dengan tekanan pengembangan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Kadar Air dengan Tekanan Pengembangan

Dari grafik hubungan antara kadar air dengan pengembangan dan grafik hubungan antara kadar air dengan tekanan pengembangan, maka pada saat penambahan OMC +5% terhadap sampel uji, mengakibatkan terjadinya penurunan pengembangan, sedangkan pada penambahan OMC -5% terhadap sampel uji, mengakibatkan terjadinya kenaikan pengembangan, hal tersebut dikarenakan adanya pergerakan air ke daerah *interlayer*. Partikel-partikel lempung memiliki permukaan yang bermuatan negatif. Kation menyerap ke dalam permukaan ini.

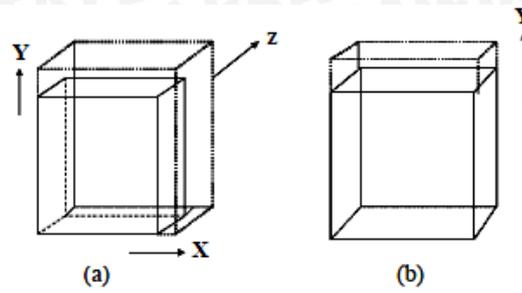
Kation adalah *interlayer*, yang merupakan lapisan ganda pada permukaan lempung. Lapisan ganda ini dapat menarik air secara elektrik kemudian berada di sekitar partikel lempung yang dikenal sebagai lapisan air ganda seperti pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Osmosis pada lapisan ganda tanah lempung ekspansif  
(Mitchell, 1992)

Pengaruh dari lapisan air ganda ini adalah ketika partikel berdekatan, maka lapisan air ganda setiap partikel mulai saling tumpang tindih, menyebabkan dua partikel lempung saling tolak menolak. Pengaruh tolak menolak yang lain adalah menyebabkan kembang pada tanah lempung.

Mekanisme kembang pada tanah ekspansif di lapangan terjadi pada tiga dimensi atau yang dikenal dengan kembang volumetrik. Ketika tanah dalam keadaan kering menjadi basah, tanah akan mengalami kembang volumetrik (lihat Gambar 4.7 (a)). Pada tahap selanjutnya, akibat pembasahan atau meningkatnya kadar air dalam tanah lempung, maka kembang volumetrik tanah lempung hanya satu dimensi, menyebabkan naiknya permukaan tanah lempung (lihat Gambar 4.7 (b)).



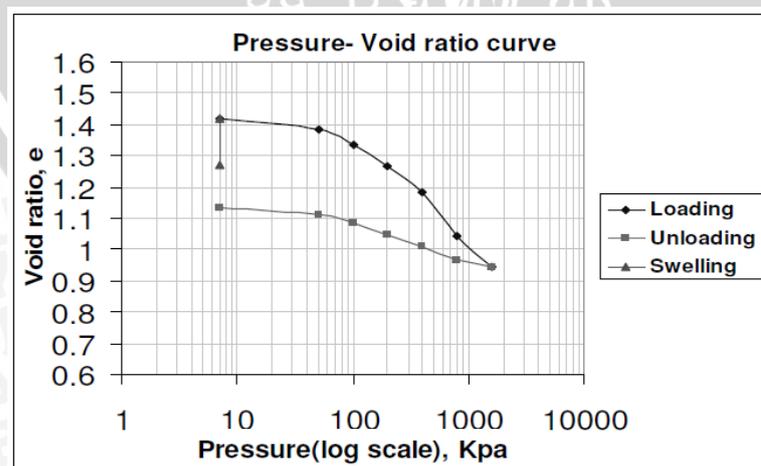
**Gambar 4.7** Skema pengembangan tanah ekspansif, (a) 3-D; (b) 1-D  
(Taboada, 2003)

Berdasarkan Gambar 4.4 dan 4.5 terjadi perbedaan hasil pengujian antar sampel tanah yang diuji, hal tersebut bisa terjadi karena faktor pengambilan sampel tanah untuk *swelling* kemungkinan memiliki kepadatan yang berbeda, energi yang diberikan pada tanah yang berada didalam mold pemadatan berbeda antara bagian bawah dengan bagian atas. Sampel untuk percobaan *swelling* diambil dari tanah bagian atas dan bagian bawah dalam satu mold, sehingga kemungkinan faktor pengembangannya yang terjadi bisa berbeda.

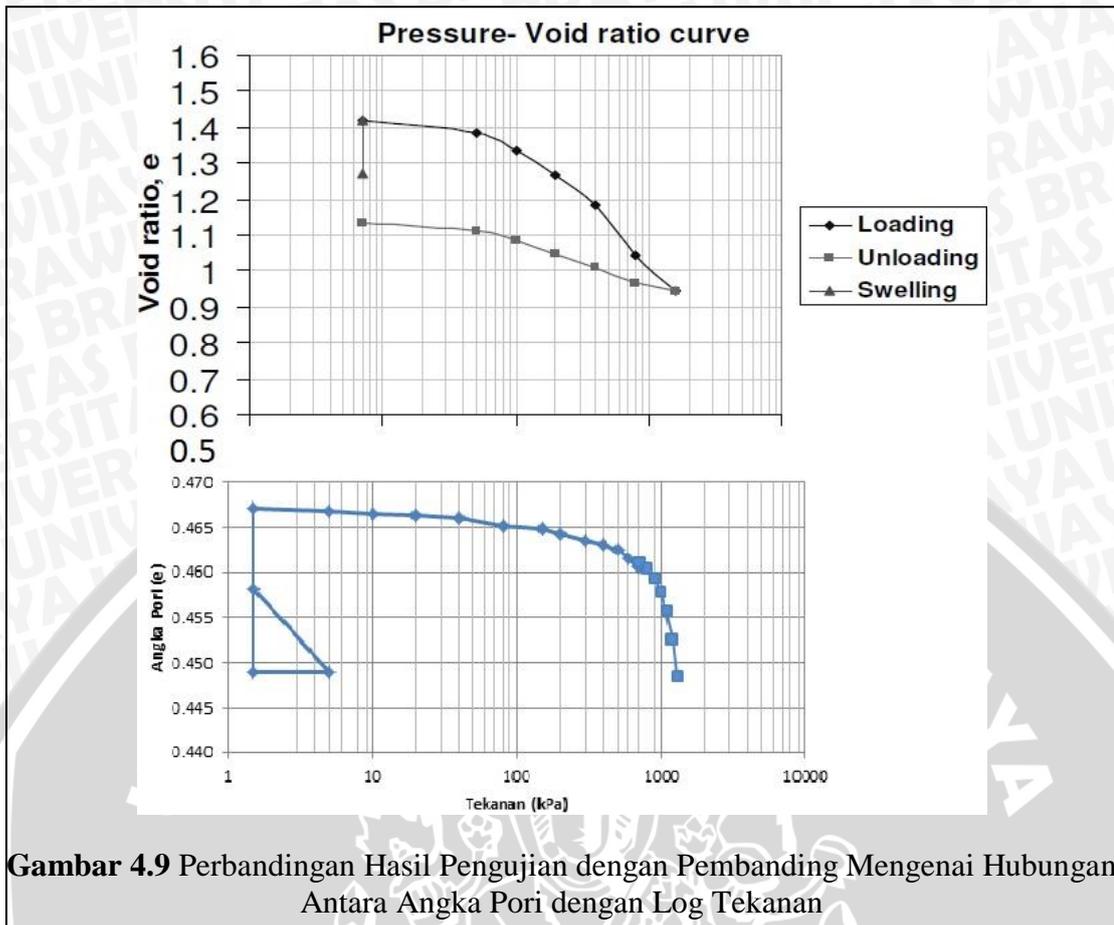
Lapisan bawah memiliki kepadatan yang lebih besar dari bagian atas, sehingga pengembangan yang terjadi pada sampel tanah dari lapisan bawah lebih besar daripada sampel tanah yang diambil pada lapisan atas pada mold.

#### 4.5 Penelitian Pemanding

Untuk penelitian pembanding angka pori-log tekanan ini diambil dari penelitiannya Mesfin Kassa, *Relationship between Consolidation and Swelling Characteristics of Expansive Soils of Addis Ababa* (2005).



**Gambar 4.8** Hubungan Antara Angka Pori dengan Log Tekanan

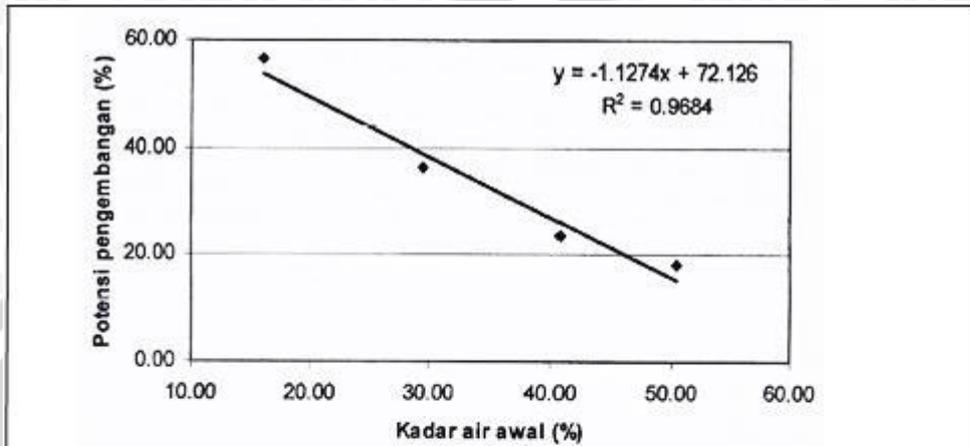


**Gambar 4.9** Perbandingan Hasil Pengujian dengan Pembanding Mengenai Hubungan Antara Angka Pori dengan Log Tekanan

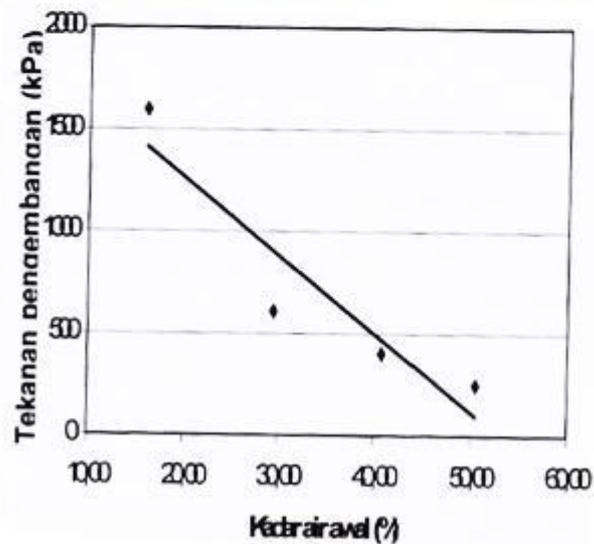
Dari Gambar 4.9 tentang perbandingan hasil pengujian dengan pembanding, dapat dilihat perbedaan pada tekanannya, dimana pada penelitian pembanding tekanan awal yang diberikan sebesar 7 kPa, sedangkan pada pengujian di laboratorium diberi tekanan awal sebesar 1,5 kPa, ini karena pada penelitian pembanding tidak memakai tekanan penyeimbang, langsung menggunakan beban yang di pakai pada saat pengambilan tanah di lapangan.

Jenis tanah yang digunakan pada penelitian pembanding dengan penelitian di laboratorium sama-sama menggunakan jenis tanah ekspansif akan tetapi pada percobaannya berbeda, dimana pada penelitian pembanding, tanah setelah mengalami pengembangan dan penurunan akibat tekanan yang diberikan, kemudian tekanan dilepas / diambil sesuai urutan dari tekanan terakhir ke tekanan awal. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan di laboratorium hanya melakukan percobaan pengembangan dan penurunan akibat tekanan yang diberikan, karena penelitian dibatasi hanya mencari pengembangan dan tekanan pengembangannya saja.

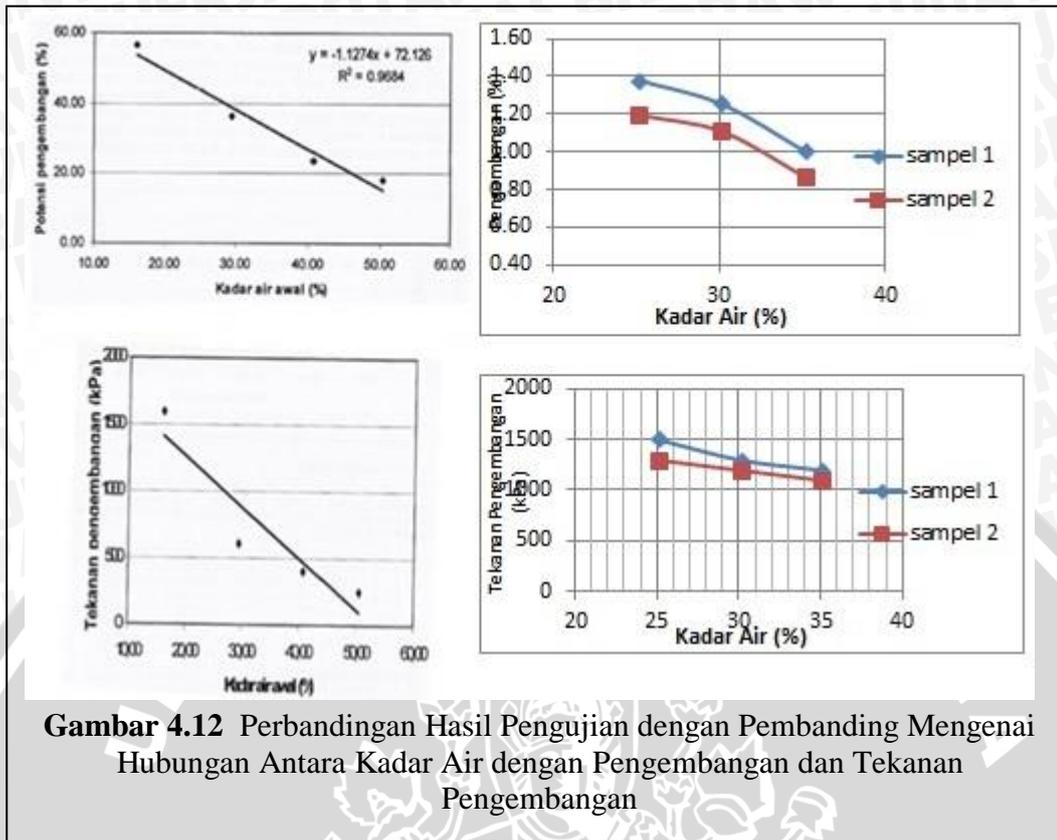
Untuk penelitian perbandingan untuk mencari pengembangan dan tekanan pengembangan diambil dari penelitiannya Ismail Hoesain M tentang Pengaruh Derajat Kejenuhan Terhadap Tingkat Ekspansifitas Tanah Lempung Penujak (*Saturation versus Expansivity Clay Soil from Penujak*).



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Antara Kadar Air dengan Pengembangan



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Kadar Air dengan Tekanan Pengembangan



Dari Gambar 4.12 tentang perbandingan hasil pengujian dengan pembanding diketahui bahwa grafik hasil pengujian dengan penelitian pembanding tidak berbeda jauh, dikarenakan pemberian kadar airnya hampir sama, pada grafik tekanan pengembangan ada perbedaan hasil pengujian dengan penelitian pembanding, akan tetapi hasilnya hampir sama yakni jika kadar air dikurangi maka tekanan pengembangannya besar, dan sebaliknya jika kadar air ditambahkan maka tekanan pengembangannya kecil.