

624.15136
HAIR
S C.1



**Studi Potensi Mengembang dan Kekuatan Tanah Lempung Ekspansif
Dengan dan Tanpa Kapur
Akibat Siklus Berulang Basah- Kering**

TESIS

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh:

SITI HARDIYATI

NIM. L4A.000033

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMERANG**

2003



HALAMAN PENGESAHAN

Studi Potensi Mengembang dan Kekuatan Tanah Lempung Ekspansif Dengan dan Tanpa Kapur Akibat Siklus Berulang Basah- Kering

Disusun oleh:

SITI HARDIYATI

NIM. L4A.000033

Dipertahankan Didepan Tim Penguji pada tanggal :

21 November 2003

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

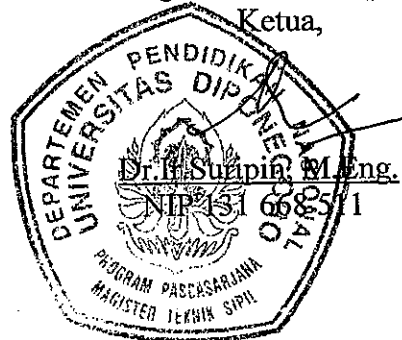
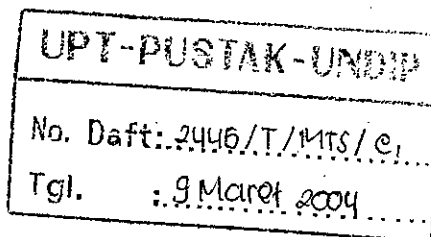
TIM PENGUJI :

- | | |
|-------------------------------------|---------------|
| 1. Dr.Ir.Sri Prabandiyani. R.W, MSc | (Ketua) |
| 2. Ir.Djoko Purwanto, MS | (Sekretaris) |
| 3. Ir.Roeswan Soediro, MS | (Anggota I) |
| 4. Bagus Hario Setiadji, ST,MT | (Anggota II) |
| 5. Ir.Muhrozi, MS | (Anggota III) |

Semarang, Desember 2003

Universitas Diponegoro Program Pasca Sarjana
Magister Teknik Sipil

Ketua,



ABSTRACT

The main problem of expansive clay soil is a swelling- shrinkage behavior as a consequence of the water percentage in the soil. The reality faced in the field is that, the soil often has different water percentage in time. The water degree changed which happened mostly make value important parameters on soil will change too. Lime as stabilization matter has been proven has more advantage.

This study investigates the effects of cycling wetting and drying on both the potential swelling and shear strength of the expansive clay with or without lime added. The potential swelling behavior was investigated in two categories ; swelling percentage and swelling pressure, and then shear strength examination were used Unconfined Compressive Strength and Direct Shear Test method. The clays samples were disturbed compacted clay in the optimum moisture content Proctor Standard, which had mixed with hydrated lime 0%, 5% and 8% dry weight samples. The procedure drying-wetting cycle experiment was begun from initial OMC – wetting for three days–until the drying was returning to initial OMC. Nominal experiment of shear strength were eight cycle and the four until seven cycle for swell potential.

This study results show that both percentage of swell potential and swell pressure reduce drastically after many cycles occurred. On higher the constant load works in that sample tends to decrease the expansion percentage. In a sample without lime mixture , level of expansion potential decrease every repeating cycle in average happen more drastically than a sample with lime mixture. The stabil condition can be reached quickly if the lime content is increased. Wetting and drying cycle repetition give small effect on decreasing expansion potential. But the shear strength of expansive clay increases after pass significant number cycling wetting and drying process. In the first cycling , the addition of five until eight percent lime, the shear strength of expansive clay increases. From the comparison of Atterberg test results before and after wetting and drying process indicates that the plasticity index decreases, except by the addition of 5% lime.

In this case the decreasing of swelling potential probably due to : First, decreasing clay density at first cycle and gradually for the next cycles. Second, aggregation of clay particle during wetting and drying process aggregation clay particles probably were main factor gives contribution for increasing the Shear Strength during cycling. Appropriate addition lime into the soil reduces the soil density at the first wetting process.

ABSTRAK

Perilaku yang menjadi perhatian utama terhadap tanah lempung ekspansif adalah perilaku kembang susut akibat adanya perubahan kadar air yang dikandung tanah tersebut. Kenyataan di lapangan menunjukkan tanah sering mempunyai kadar air yang berbeda-beda dari waktu ke waktu. Perubahan kadar air yang sering ini akan merubah nilai sejumlah parameter penting pada tanah. Kapur sebagai bahan stabilisasi telah diakui banyak manfaatnya.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengamati pengaruh siklus berulang basah-kering terhadap potensi mengembang dan kuat geser tanah lempung ekspansif dengan dan tanpa campuran kapur. Perilaku potensi mengembang yang diamati meliputi persentase mengembang dan tekanan mengembang, pengujian kuat geser menggunakan metode kuat tekan bebas dan geser langsung. Benda uji merupakan tanah campuran lempung dan kapur mati yang telah dipadatkan pada kadar air Optimum Standard Proctor, dengan campuran kapur sebanyak 0%, 5 % dan 8 % berat kering tanah. Satu siklus adalah tahapan proses pembasahan dan pengeringan sampel yang diawali dari kondisi OMC - perendaman 3 hari - pengeringan sampai kembali ke kondisi OMC. Jumlah siklus untuk uji geser sebanyak 8 siklus sedang pada uji potensi mengembang bervariasi dari 4 sampai 7 siklus.

Hasil studi menunjukkan, terjadi penurunan potensi mengembang pada semua contoh uji, seiring dengan meningkatnya jumlah siklus berulang basah-kering. Penurunan potensi mengembang maksimum terjadi pada awal-awal siklus, berangsur berkurang dengan semakin banyak jumlah perulangan siklus. Semakin besar beban konstan yang bekerja pada contoh uji, semakin kecil persentase mengembangnya. Pada benda uji tanpa campuran kapur, tingkat penurunan potensi mengembang pada setiap perulangan siklus rata-rata lebih tajam dibanding dengan contoh uji dengan campuran kapur. Penambahan kapur pada benda uji mempercepat pencapaian kondisi stabil, perulangan siklus basah kering memberikan pengaruh kecil pada penurunan potensi mengembangnya. Sebaliknya kuat geser akan meningkat setelah melewati sejumlah perulangan siklus basah-kering yang cukup. Penambahan kapur 5% dan 8% memberikan peningkatan yang nyata pada kuat geser di awal-awal siklus. Terjadi penurunan nilai plastisitas indeks pada semua benda uji selama proses siklus berulang basah-kering. Kecuali pada penambahan 5% kapur.

Pada studi ini penurunan potensi mengembang disebabkan dua hal, pertama adanya penurunan kepadatan contoh uji di awal siklus dan terjadi secara gradual pada siklus berikutnya. Kedua adanya agregasi partikel lempung selama proses berulang basah-kering. Agregasi merupakan faktor utama penyebab meningkatnya kuat geser tanah selama proses siklus berulang basah-kering. Pemberian kapur dalam jumlah yang tepat memperkecil adanya penurunan kepadatan tanah pada saat awal proses pembasahan.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kehadirat ALLAH SWT, berkat karunia dan rahmat-Nya penulisan tesis telah dapat diselesaikan. Melalui orang-orang terkasih saya Soeripno, Dyah, Desty dan Mundi yang dengan sabar dan tulus memberi semangat dan dorongan, Alhamdulillah sejumlah rintangan dan tantangan dapat dilalui selama menjalani studi ini.

Penulis menyadari bahwa terlaksananya tesis ini berkat bantuan, dorongan dan dukungan dari berbagai pihak. Melalui lembar ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Sri Prabandiyani RW, MSc dan Ir. Djoko Purwanto, MS. Selaku dosen pembimbing I dan II, yang selalu memberikan arahan dan meluangkan waktu untuk diskusi.
2. Ir. Roeswan Soediro, MS dan Bagus Hario Setiadji, ST.MT selaku dosen penguji selama penyelesaian studi ini.
3. Dr. Ir. Suripin, MEng. dan Dr. Ir. Bambang Ryanto, DEA. Masing-masing selaku Ketua dan Wakil Ketua Program Magister Teknik Sipil UNDIP.
4. Ir. Muhrozi, MS serta rekan-rekan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil UNDIP yang memberikan semangat dan membantu selama ini.
5. Seluruh karyawan Administrasi MTS dan rekan-rekan teknisi Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil UNDIP.

Penulis menyadari bahwa hasil studi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak kami harapkan untuk penyempurnaan penulisan ini. Semoga tesis ini bermanfaat untuk kita semua dan menjadi pelengkap dalam penelitian khususnya pengembangan pengetahuan mengenai tanah ekspansif.

Semarang , Oktober 2003

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRACT	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud, Tujuan Dan Manfaat Penelitian.....	2
1.2.1 Maksud Studi.....	2
1.2.2 Tujuan Studi.....	2
1.2.3 Manfaat Studi.....	3
1.3 Hipotesis.....	3
1.4 Ruang Lingkup dan Pembatasan Studi.....	4
1.4.1 Ruang Lingkup Studi.....	4
1.4.2 Pembatasan Studi.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tanah Lempung Berpotensi Ekspansif.....	7
2.2 Struktur Komposisi Mineral Lempung.....	8
2.3 Interaksi Air dan Mineral Dalam Fenomena Tanah Lempung Ekspansif..	13
2.4 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif.....	19

2.4.1 Identifikasi Mineralogi.....	19
2.4.2 Cara Tidak Langsung (<i>Single Index Method</i>).....	20
2.4.3 Metode Pengukuran Langsung.....	26
2.5 Faktor Berpengaruh Dalam Proses Mengembang.....	27
2.6 Kuat Geser Tanah.....	29
2.6.1 Pengertian Dasar Kuat Geser dan Keruntuhan Massa Tanah.....	29
2.6.2 Tekanan Kapiler Pada Tanah Lempung Ekspansif.....	30
2.6.3 Pengukuran Kuat Geser Tanah.....	31
2.7 Stabilisasi Kapur.....	32
2.8 Proses Reaksi Tanah dan Kapur.....	34
2.9 Efek Penambahan Kapur Pada Lempung.....	36
2.10 Metode Pengukuran Tekanan Mengembang.....	37
2.11 Kajian Sejumlah Hasil Penelitian Sebelumnya.....	39
2.11.1 Perilaku Potensi Mengembang Akibat Siklus Berulang.....	39
2.11.2 Perilaku Geser Akibat Siklus Berulang.....	45
2.11.3 Pengaruh Penambahan Bahan <i>Additive</i> Kapur.....	45
 III.METODOLOGI PENELITIAN.....	 47
3.1 Langkah Umum Penelitian.....	47
3.1.1 Diagram Alir Metode Penelitian.....	48
3.2 Pengambilan Contoh Tanah Uji dan Bahan Campuran.....	49
3.3 Prosedur Test dan Kombinasi Campuran.....	49
3.3.1 Prosedur Test.....	49
3.3.2 Kombinasi Campuran dan Pembuatan benda uji	49
3.4 Pengujian Indeks dan Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif.....	50
3.5 Pengujian Pendahuluan Persiapan Siklus Basah Kering.....	51
3.5.1 Penentuan Kadar Air Optimum.....	51
3.5.2 Pengujian Hubungan <i>Index Plastisitas</i> Dengan Temperatur.....	51
3.5.3 Metode Pembasahan dan Pengeringan.....	52

3.6 Pengujian Potensi Mengembang <i>Versus</i> Siklus Basah Kering.....	52
3.6.1 Penyiapan Benda Uji.....	52
3.6.2 Pengujian Persentase Mengembang.....	53
3.6.3 Pengujian Tekanan Mengembang.....	53
3.6.4 Pengeringan dan Kontrol Kadar Air.....	54
3.7 Pengujian Kuat Geser <i>Versus</i> Siklus Basah Kering.....	54
3.7.1 Penyiapan Benda Uji.....	55
3.7.2 Perendaman, Pengeringan dan Kontrol Kadar Air.....	55
3.7.3 Pengujian Geser <i>Unconfined Compressive Strength</i>	56
3.7.4 Pengujian Geser Langsung (<i>Direct Shear Test</i>).....	56
IV.HASIL DAN ANALISIS.....	57
4.1 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif dan Uji Indeks Tanah.....	57
4.1.1 Uji Mineral Lempung.....	57
4.1.2 Uji Indeks Tanah.....	57
4.2 Uji Pendahuluan Persiapan Siklus Basah Kering.....	60
4.2.1 Penentuan Kadar Air Optimum.....	60
4.2.2 Hubungan Temperatur dan Indeks Properties.....	61
4.2.3 Uji Properties Material Uji.....	63
4.3 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Siklus Berulang Basah Kering	65
4.4 Hubungan Tekanan Mengembang Dengan Siklus Berulang Basah Kering	76
4.5 Hubungan Kuat Geser Dengan Siklus Berulang Basah Kering.....	78
4.5.1 UCS (<i>Unconfined Compressions Stress</i>).....	78
4.5.2 <i>Direct Shear Test</i>	82
4.6 Perbandingan Nilai Indeks Plastisitas (PI) dan Batas Susut (SL) Sebelum dan Sesudah Siklus Berulang Basah Kering.....	86
4.7 Pembahasan.....	88
4.7.1 Hubungan <i>Plasticity Indeks</i> (PI) dengan Temperatur.....	88
4.7.2 Pengaruh Siklus Berulang Basah-Kering terhadap Potensi	

Mengembang.....	88
4.7.3 Pengaruh Siklus Berulang Basah-Kering terhadap Kuat Geser.....	91
4.7.4 Efek Agregasi (Sementasi) Pada Butiran Mineral Lempung.....	92
V.KESIMPULAN DAN SARAN.....	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran.....	96

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

LAMPIRAN A : Diagram Alir Kegiatan Penelitian, Lokasi Pengambilan Sample, Hasil Analisa Mineral dan Kimia Tanah, Uji *X-Ray Diffraction* Tanah serta Analisa Kimia Kapur.

LAMPIRAN B : Hasil Uji Properties Tanah, Gradasi dan OMC Standar-Proctor, Konsistensi *Atterberg*.

LAMPIRAN C : Hasil Uji Potensi Mengembang, Persentase Mengembang dan Tekanan Mengembang.

LAMPIRAN D : Hasil Uji Kuat Geser UCS (*Unconfined Compressive Strength*) dan *Direct Shear Test* .

LAMPIRAN E : Uji Plastisitas Indeks (PI) dan Uji Shrinkage.

LAMPIRAN F : Dokumentasi.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kisaran Kapasitas Tukar Kation (Chen, 1975).....	13
Tabel 2.2	Rata-Rata Kerapatan Dikedua Sisi Permukaan Partikel (Yong dan Warkentin, 1966).....	15
Tabel 2.3	Pengaruh Konsentrasi dan Valensi Ion Terhadap Ketebalan Lapisan Rangkap Baur (Kim.H.Tan, 1991).....	19
Tabel 2.4	Hubungan Potensi Mengembang dengan Indeks Plastisitas (Chen, 1975).....	20
Tabel 2.5	Klasifikasi Potensial <i>Swelling</i> Didasarkan Pada Batas <i>Atterberg Limits</i>	21
Tabel 2.6	Kriteria Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif USBR (Holtz dan Gibbs, 1959)	24
Tabel 2.7	Hubungan Aktivitas Dengan Mineral (Seed et.al, 1962)	25
Tabel 2.8	Persyaratan Spesifikasi Kapur (Ingles and Metcalf, 1972)	33
Tabel 3.1	Pengkodean Benda Uji.....	50
Tabel 3.2	Hubungan Antar Jenis Pengujian, Parameter, dan Metode Klasifikasi.....	51
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Mineral dan Kimia tanah.....	57
Tabel 4.2	Hasil Uji Indeks Tanah.....	57
Tabel 4.3	Identifikasi Tanah Lempung Ekspansife dengan Metode Indeks Tunggal dan Metode Klasifikasi	59
Tabel 4.4	Jumlah dan Jenis Benda Uji Pada Masing-Masing Test	63
Tabel 4.5	Nilai Uji Properties Material Uji	64
Tabel 4.6	Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (0%-0H)Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa	66
Tabel 4.7	Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (5%-0H)Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa	69
Tabel 4.8	Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering	

	(5%-3H)Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.....	70
Tabel 4.9	Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (5%-7H)Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.	71
Tabel 4.10	Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (8%-0H) Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.....	72
Tabel 4.11	Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (8%-3H)Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.....	73
Tabel 4.12	Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (8%-7H)Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.....	74
Tabel 4.13	Nilai Tekanan Mengembang Setiap Siklus Metode B Pada Benda Uji 0%-0H; 5%-0H dan 8%-0H.....	76
Tabel 4.14	Nilai Su pada Setiap Benda Uji.....	81
Tabel 4.15	Nilai Kohesi (C) dan Sudut Geser Dalam (ϕ) Setiap Benda Uj....	85
Tabel 4.16	Rekap Nilai Batas <i>Atterberg</i> Limit Sebelum dan Sesudah Siklus Berulang Basah-Kering.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) <i>Single Silika Tetrahedra</i> (Grim, 1959).....	9
Gambar 2.1	(b) <i>Isometric Silika Sheet</i> (Grim, 1959)	9
Gambar 2.1	(c) <i>Single Alumunium Octahedron</i> (Grim, 1959)	9
Gambar 2.1	(d) <i>Isometric Octahedral Sheet</i> (Grim, 1959)	9
Gambar 2.2	(a) dan (b) Struktur <i>Kaolinite</i> (Grim, 1959)	10
Gambar 2.3	(a) dan (b) Struktur <i>Montmorillonite</i> (Grim, 1959)	11
Gambar 2.4	Struktur <i>Illite</i> (Grim, 1959)	12
Gambar 2.5	Dimensi Nisbi dari beberapa ion yang umum dijumpai dalam tanah (Kim.H.Tan, 1991, Dasar-Dasar Kimia Tanah).....	14
Gambar 2.6	Kation dan Ion Pada Lapisan Rangkap Listrik Dipermukaan Partikel Lempung (Yong dan Warkentin, 1966)	16
Gambar 2.7	Lapisan Rangkap Helm Holtz	17
Gambar 2.8	Sifat Dipolar Molekul Air (.DAS Braja. M, 1985)	18
Gambar 2.9	Interaksi Molekul Dipolar Air dengan Partikel Lempung (DAS Braja. M, 1985)	18
Gambar 2.10	Hubungan Potensi Mengembang Dengan Kadar Lempung (Seed, et al, 1962)	23
Gambar 2.11	Hubungan Persentase Mengembang Dengan Kandungan Koloid, PI dan Batas Susut (Holtz dan Gibbs, 1959)	24
Gambar 2.12	Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang (Seed et.al, 1962)	26
Gambar 2.13	Hubungan Potensi Mengembang Dengan Kadar Air dan Kepadatan(Holtz dan Gibbs, 1968)	29
Gambar 2.14	Penggunaan Stabilisasi Kapur Pada Berbagai Ukuran Butir (Kizdi, 1979)	33
Gambar 2.15	Mekanisme Stabilisasi Lempung dengan Kapur (Ingles, 1972)....	35
Gambar 2.16	Penentuan Tekanan Mengembang Metode A	

	(ASTM-D-2435-96)	37
Gambar 2.17	Penentuan Tekanan Mengembang Metode B (ASTM-D-2435-96).....	38
Gambar 2.18	Penentuan Tekanan Mengembang Metode C (ASTM-D2435-96)	39
Gambar 2.19	Pengaruh Kepadatan Kering Awal Pada Pengembangan dan Penyusutan Tanah (Chen, 1975)	40
Gambar 2.20	Perilaku Pengembangan dan Penyusutan Tanah Lempung Akibat Siklus Basah Kering (Chen, 1975)	41
Gambar 2.21	Hasil Pengujian Potensi Mengembang Terhadap Siklus Berulang Sejumlah Peneliti	42
Gambar 2.22	Hasil Foto <i>Micro</i> Dari SEM	43
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode Penelitian.....	48
Gambar 4.1	Distribusi Butiran Hasil Uji Hidrometer dan Analisa Saringan	58
Gambar 4.2	Penentuan Kadar Air Optimum	61
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Temperatur dengan PI	62
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maks. vs Siklus Basah kering (0%-0H) pada beban (9.14 – 40.59) KPa.....	66
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Setiap Siklus vs Waktu pembasahan Pada Beban Tetap 9,14 KPa	67
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Setiap Siklus vs Waktu pembasahan Pada Beban Tetap 17,01 KPa	67
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Setiap Siklus vs Waktu pembasahan Pada beban Tetap 32,74 KPa	68
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Setiap Siklus vs Waktu pembasahan Pada beban Tetap 40,59 KPa	68
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maks. vs Siklus Basah-Kering (5%-0H) pada beban (9.14 – 40.59) KPa	69
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maks. vs Siklus	

	Basah-Kering (5%-3H) pada beban (9.14 – 40.59) KPa	70
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maks vs Siklus Basah-Kering 5%-7H pada beban (9.14 – 40.59) KPa	71
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maks. vs Siklus Basah-Kering (8%-0H) pada beban (9.14 – 40.59) KPa	72
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maks. vs Siklus Basah-Kering (8%-3H) pada beban (9.14 – 40.59) KPa	73
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maks. vs Siklus Basah-Kering (8%-7H) pada beban (9.14 – 40.59) KPa	74
Gambar 4.15	Tekanan Mengembang Benda Uji Tiap Siklus	76
Gambar 4.16	Pengamatan Tekanan Mengembang Tiap Siklus dengan Metode B Pada Benda Uji 0%-0H	77
Gambar 4.17	Pengamatan Tekanan Mengembang Tiap Siklus dengan Metode B Pada Benda Uji 5%-0H	77
Gambar 4.18	Pengamatan Tekanan Mengembang Tiap Siklus dengan Metode B Pada Benda Uji 8%-0H	78
Gambar 4.19	Hubungan Tegangan Deviator vs Regangan Benda Uji 0%-0H	79
Gambar 4.20	Hubungan Tegangan Deviator vs Regangan Benda Uji 5%-0H	80
Gambar 4.21	Hubungan Tegangan Geser dan Regangan Benda Uji 0%-0H	83
Gambar 4.22	Hubungan Antara Tegangan Geser dan Tegangan Normal Pada Benda Uji 0%-0H	83
Gambar 4.23	Hubungan Tegangan Geser dan Regangan Benda Uji 5%-0H	84
Gambar 4.24	Hubungan Antara Tegangan Geser dan Tegangan Normal Pada Benda Uji 5%-0H	84

DAFTAR NOTASI

A	<i>activity</i>
A°	<i>angstrom</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AASHO	<i>American Association State of Highway Organization</i>
C	fraksi lempung
Cu	<i>consolidated undrained</i>
c	kohesi
D	tetapan dielektrik
ϵ	regangan aksial
e	angka pori
e_0	angka pori awal
Gs	berat jenis tanah (<i>specific gravity</i>)
γ	berat isi tanah
γ_d	berat isi kering tanah
H, h	tinggi contoh tanah
Hs	tinggi kering contoh tanah
$\Delta H, \Delta h$	perubahan tinggi contoh tanah
kPa	kilo Pascal
L L	batas cair (<i>Liquid Limit</i>)
Ls	<i>Linear Shrinkage</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
μ_m	mikron meter
μ	tekanan kapiler
OMC	<i>optimum moisture content</i>
PI	plastisitas indeks

PL	batas plastis
psi	<i>pound per square inch</i>
Ψ	potensial elektro magnetik
ϕ	sudut geser dalam
qu	tegangan deviator
SL	batas susut
S	persentase mengembang
Su	<i>undrained shear strength</i>
sq.m/gram	square meter per gram
σ	tegangan normal
τ_r	tegangan geser
USCS	<i>Unified Soil Classification System</i>
UCS	<i>Unconfined Compressive Strength</i>
USBR	<i>Unified System Bureau of Reclamation</i>
U	tegangan air pori
Ua	tekanan udara pori
Uw	tekanan air pori
Wopt	kadar air optimum
w	kadar air
x	jarak antar lapisan rangkap baur
ZAV Line	<i>garis zero air void</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena tanah ekspansif merupakan salah satu persoalan besar geoteknik yang harus segera ditangani. Sejumlah kerugian harus ditanggung masyarakat sejak disadari efek merusaknya pada sejumlah bangunan sipil yang terletak diatas tanah ekspansif. Kemampuan mengembang yang cukup besar mengakibatkan terjadinya deformasi yang sering kali tidak dapat dipikul oleh kekakuan struktur bangunan tersebut, serta sifat kejadiannya pada umumnya membutuhkan waktu yang relatif cukup lama, sehingga kerusakan yang ditimbulkan merupakan kejadian yang terus-menerus. Masalah tanah ekspansif timbul sebagai akibat adanya perubahan kadar air yang dikandung tanah tersebut dan jenis mineral yang ada pada tanah memberikan pengaruh terhadap kuananya menyerap air. Mengacu pada perilaku tanah dalam merespon air, berdasarkan nilai batas konsistensi *Atterberg Limit* tanah lempung ekspansif umumnya memiliki perbedaan nilai batas cair dengan batas plastis yang besar ($PI > 30\%$). Sebaliknya nilai batas susut cenderung rendah.

Di Indonesia cukup banyak daerah yang memiliki jenis tanah lempung ekspansif, diantaranya Nusa Tenggara Timur, pulau Batam dan di pulau Jawa saja ditemukan di beberapa lokasi antara lain: sekitar pantai utara (meliputi Semarang, Purwodadi, Kudus, Cepu, dan Gresik), daerah tengah selatan (meliputi Ngawi, Caruban, Solo, Sragen, Wates, dan Yogyakarta), daerah barat (meliputi Cikampek, Cikarang, Serang, dan Bandung). Di daerah *tropis*, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa kondisi tanahnya sering mempunyai kadar air yang berbeda-beda dari waktu ke waktu akibat adanya pergantian musim. Khususnya tanah yang berada pada posisi dimana terjadi fluktuasi muka air tanah yang cukup tinggi; dimungkinkan tanah dalam kondisi *unsaturated* yang kemungkinannya merupakan daerah *kapiler*, daerah resapan atau disebut zona aktif. Pada posisi ini efek dari

seringnya terjadi perubahan kadar air akan mengubah nilai sejumlah parameter-parameter penting pada tanah ini antara lain:

- perubahan volume (*void*) yang dinyatakan dalam persentase mengembang (*swelling percentage*).
- tekanan mengembang (*swelling pressure*) serta menurunnya kekuatan tanah.

Ada beberapa cara untuk mengurangi pengaruh kerusakan yang ditimbulkan oleh tanah ekspansif yaitu dengan cara pergantian sebagian tanah ekspansif dengan material yang lebih baik, pemberian *drainase* yang baik atau dengan stabilisasi. Perilaku parameter tanah lempung ekspansif ini merupakan sesuatu yang menarik untuk diamati. Sebagai usaha untuk mempelajari fenomena tersebut maka dilakukan studi perilaku mengembang dan kekuatan tanah lempung ekspansif secara murni maupun dengan menambahkan bahan kapur, pada kondisi mengalami siklus berulang basah kering.

1.2 Maksud, Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.2.1 Maksud Studi

1. Mengamati perilaku mengembang dan kuat tekan tanah lempung ekspansif akibat siklus berulang basah kering.
2. Mengamati seberapa jauh pengaruh penambahan kapur pada tanah ekspansif terhadap perubahan perilaku mengembang dan kuat geser tanah akibat siklus berulang basah kering.

1.2.2 Tujuan Studi

1. Mengetahui perilaku dan besar nilai terukur persentase mengembang dan tekanan mengembang tanah lempung ekspansif akibat siklus berulang basah kering.
2. Mengetahui perilaku dan besar nilai terukur kuat geser tanah lempung ekspansif akibat siklus berulang basah kering.
3. Dengan menggunakan kapur sebagai bahan *additive* dapat diketahui perilaku dan besar nilai terukur kuat geser dan potensi mengembang akibat siklus basah kering.

1.2.3 Manfaat Studi

Hasil penelitian dapat dipergunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan *design* perbaikan konstruksi pada tanah sejenis.

1.3 Hipotesis

1. Terdapat korelasi antara jumlah siklus basah kering tanah lempung ekspansif dengan perilaku mengembang.
2. Terdapat korelasi antara jumlah siklus basah kering pada tanah lempung ekspansif dengan perilaku tekanan mengembang.
3. Terdapat korelasi antara jumlah siklus basah kering tanah lempung ekspansif dengan perilaku kuat geser.
4. Penambahan kapur diharapkan dapat memperbaiki perilaku mengembang dan kuat geser tanah ekspansif akibat siklus basah kering.

Hipotesis (1) dan (2) muncul setelah mempelajari beberapa hasil penelitian sejenis yang pernah dilakukan oleh: Chen (1975), Dif dan Bluemel (1991) sebagaimana dikutip Al Hamoud et al (1995), Osipov (1987) sebagaimana dikutip oleh Al Hamoud et al (1995), Al Hamoud et al (1995), dan Day,Robert.W (1994). Hasil yang didapatkan memiliki kesimpulan berbeda akan tetapi sebagian besar memiliki kecenderungan yang sama, yaitu pada kondisi siklus tertentu potensi mengembang akan cenderung menuju tingkatan stabil. Hal yang sama juga dilakukan oleh As'ad Sholihin (1999), pada lempung ekspansif Cikarang.

Hipotesis (3) dari hasil penelitian Allam dan Shridaran (1981) terhadap perilaku kuat geser tanah lempung *non- expansive* akibat siklus berulang diperoleh kecenderungan meningkatnya kuat geser tanah setelah melewati sejumlah siklus basah kering.

Hipotesis (4) dari hasil penelitian yang dilakukan Adi Prasetijo (1991). Bahwa penambahan 5% kapur pada tanah lempung ekspansif Cepu dan Ngawi dengan tingkat pemadatan sama memberikan pengaruh yang cukup berarti pada penurunan *swelling potensial* dan peningkatan nilai CBR akibat berubahnya nilai-

nilai parameter pemadatan (OMC meningkat sedangkan nilai *Dry Density* turun), seiring dengan bertambahnya kadar kapur yaitu lebih besar dari 5% sampai 8% menghasilkan peningkatan yang kecil. Pada tingkat pembasahan yang sama penurunan potensi mengembang pada lempung ekspansif relatif lebih tajam dibandingkan dengan bila menambahkan kapur.

1.4 Ruang Lingkup dan Pembatasan Studi

1.4.1 Ruang Lingkup Studi

Secara garis besar ruang lingkup penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan lempung ekspansif dengan dan tanpa campuran kapur terhadap sifat perilaku pengembangan dan kuat geser. Studi ini terbagi atas sejumlah pengamatan laboratorium pada lempung ekspansif yang belum dan telah dicampur kapur terhadap contoh tanah terganggu (*disturbed*).

Pengamatan pertama meliputi uji indeks tanah (uji batas *Atterberg*, distribusi butiran, kadar lempung dan berat jenis) serta pengujian *X-Ray Diffraction*. Keduanya dimaksudkan untuk mengidentifikasi lempung ekspansif. Uji indeks *properties* ini dilakukan baik pada awal maupun akhir pengujian guna melihat pengaruh siklus berulang basah kering terhadap indeks *properties* tanah tersebut.

Pengamatan kedua meliputi:

1. Uji pendahuluan penentuan kepadatan tanah dengan kadar air optimum *Standard Proctor* (ASTM-D-689) pada semua jenis campuran material uji, untuk persiapan uji potensi mengembang dan uji kuat geser.
2. Pengecekan pengaruh temperatur terhadap *Plastisity Index* tanah uji berkaitan dalam menentukan metode siklus pembasahan pengeringan.

Pengamatan ketiga meliputi uji potensi mengembang dan uji kuat geser secara berulang mengikuti siklus basah kering sebanyak empat sampai delapan siklus. Pada uji persentase mengembang menggunakan *Oedometer* dengan urutan pembebanan 9,14 kPa; 17,01 kPa; 32,74 kPa; dan 40,59 kPa. Pada uji tekanan mengembang menggunakan metode ASTM-D-4546-90. Sedangkan pada uji kuat

geser menggunakan *Unconfined Compressive Strength*. ASTM-D-2166-91 dan *Direct Shear Test*. ASTM-D-3080-91 dengan pengujian pada siklus 0, 2, 4, 6 dan 8 siklus.

1.4.2 Pembatasan Studi

Ada dua batasan studi yang diberikan yaitu batasan umum dan batasan khusus.

Batasan Umum:

1. Tinjauan perilaku mengembang dan kuat geser merupakan dua bagian yang berbeda masing-masing pengamatan tersebut tidak saling berhubungan.
2. Pola perlakuan siklus berulang pada pengamatan perilaku mengembang berbeda dengan pola perlakuan pada pengamatan perilaku kuat geser.
3. Pengamatan contoh uji merupakan tanah yang dipadatkan pada OMC kepadatan *Standard Proctor*.

Batasan Khusus:

1. Persentase campuran kapur yang digunakan untuk pembuatan benda uji ditetapkan berdasarkan hasil pengamatan terdahulu Ingles & Metcalf (1972), Desta Suud (1999). Berkisar antara 2% sampai 8% berat campuran, untuk studi ini diambil campuran 0%, 5% dan 8%.
2. Jumlah contoh uji, untuk uji indeks sebanyak dua buah untuk masing-masing jenis campuran. Untuk uji potensi mengembang satu buah pada masing-masing jenis campuran. Sedangkan untuk kuat geser sebanyak dua contoh untuk masing-masing jenis campuran.
3. Untuk campuran kapur 5% dan 8% diperlukan perawatan lebih dahulu. (Ingles & Metcalf 1972). Dalam studi ini diambil masa peram masing-masing 0, 3 dan 7 hari.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil studi memiliki sistematika sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang pengambilan topik penelitian disertai tujuan, hipotesis, ruang lingkup, dan batasan penelitian.

Bab II STUDI PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang mineral lempung yang berpotensi ekspansif, sifat-sifat tanah ekspansif serta cara identifikasinya, pengaruh penambahan kapur pada tanah lempung ekspansif, proses reaksi tanah dengan kapur, dan uraian singkat mengenai studi pengaruh siklus basah kering pada tanah lempung yang pernah dilakukan sebelumnya.

Bab III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang langkah penelitian yang dilakukan dan tata cara pelaksanaannya.

Bab IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini mengajukan hasil pengujian berdasarkan metodologi penelitian yang telah digariskan serta analisis dari hasil pengujian.

Bab V PENUTUP

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lempung Berpotensi Ekspansif

Tanah selalu mempunyai peranan yang sangat penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Kebanyakan *problem* tanah dalam keteknikan adalah tanah lempung yang merupakan tanah kohesif. Tanah kohesif ini didefinisikan sebagai kumpulan dari partikel mineral yang mempunyai tingkat sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga perilaku tanah sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur-unsur kimia, *texture* dan partikel serta pengaruh lingkungan di sekitarnya. Pengetahuan mengenai mineral tanah sangat diperlukan untuk memahami perilaku tanah tersebut. Menurut Mitchell (1976) mineralogi merupakan faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk, sifat-sifat fisik, dan kimia dari partikel tanah. Dalam klasifikasi tanah secara umum partikel tanah lempung adalah yang mempunyai ukuran diameter $\leq 2\mu_m$ atau sekitar 0,002 mm. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (MIT, U.S.D.A, AASHTO, USCS). Namun demikian di beberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm masih digolongkan sebagai partikel lempung (ASTM-D-653). Disini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan pada ukurannya saja. Belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung. Dari segi mineral (bukan dari segi ukuran) yang disebut tanah lempung dan mineral lempung ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang “menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampurkan dengan air”(Grim, 1953) sebagaimana dikutip DAS.Braja M (1985). Jadi dari segi mineral tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung (*non-clay soil*) meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil (partikel-partikel *quartz, feldspar*, mika dapat berukuran sub mikroskopis, tetapi umumnya tidak bersifat plastis). Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid; merupakan gugusan kristal berukuran mikro yaitu $< 1\mu_m$ merupakan hasil proses

pelapukan mineral batuan induknya. Sedangkan ukuran $2\mu_m$ merupakan batas atasnya.

Mineral lempung merupakan senyawa Aluminium-Silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempeng kristal pembentuk kristal dasar yaitu *Silikat Tetrahedral* dan *Aluminium Oktahedral* (Lambe & Whitman, 1969 dan Grim Ralph E, 1959 sebagaimana dikutip Das, Braja M 1985). Terdapat ratusan mineral lempung yang telah teridentifikasi namun yang sering dibahas dalam persoalan geoteknik hanya sebagian kecil saja. (Lambe & Whitman, 1969). Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap perubahan kadar air dengan memperlihatkan perubahan volume yang besar dan penurunan *Shear Strength*.

2.2 Struktur Komposisi Mineral Lempung

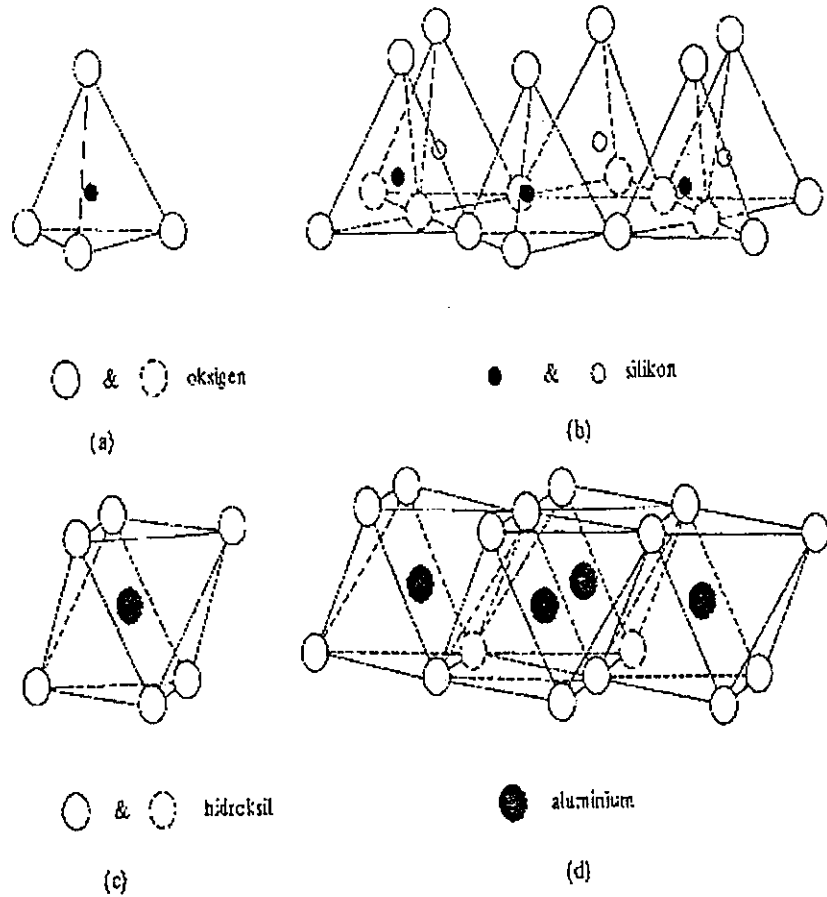
Menurut Holtz & Kovacs (1981) satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari *Silika Tetrahedron* dan *Alumina Oktahedron*. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari kombinasi susunan satuan struktur dasar atau tumpukan lembaran serta macam ikatan antara masing-masing lembaran.

Silika Tetrahedron

Lembaran *tetrahedral* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.(b), pada dasarnya merupakan kombinasi dari satuan *Silika Tetrahedron* yang terdiri dari satu atom Silikon yang dikelilingi pada sudutnya oleh empat buah atom Oksigen, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.1.(a).

Alumina Oktahedron

Lembaran *oktahedral* seperti yang terlihat pada Gambar 2.1(d), pada dasarnya merupakan kombinasi dari satuan *Aluminium Oktahedron* yang terlihat pada Gambar 2.1(c) yang terdiri dari satu atom Alumina yang dikelilingi oleh atom Hidroksil pada keenam sisinya.

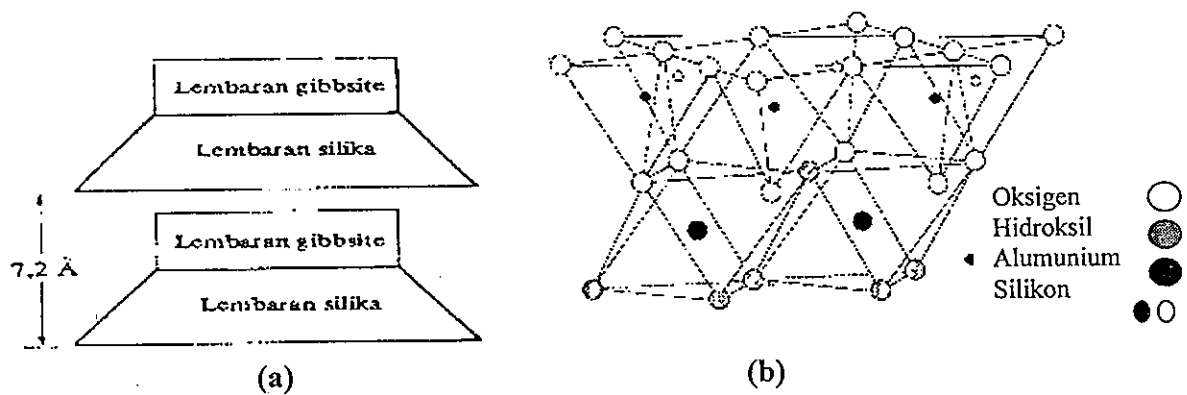


Gambar 2.1 (a) *Single Silika Tetrahedra* (Grim, 1959)
 (b) *Isometric Silika Sheet* (Grim, 1959)
 (c) *Single Aluminium Oktahedron* (Grim, 1959)
 (d) *Isometric Oktahedral Sheet* (Grim, 1959)

Substitusi dari kation-kation yang berbeda pada lembaran *oktahedral* akan mengakibatkan mineral lempung yang berbeda pula. Apabila ion-ion yang disubstitusikan mempunyai ukuran sama disebut *isomorphous*. Bila seluruh anion dari lembaran *oktahedral* adalah *hydroxil* dan dua per tiga posisi kation diisi oleh aluminium maka mineral tersebut disebut *gibbsite*, dan bila magnesium disubstitusikan kedalam lembaran aluminium dan mengisi seluruh posisi kation, maka mineral tersebut disebut *brucite*.

Kaolinite

Kaolinite disebut 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 $7,2 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 (a) dan (b). Hubungan antar unit dasar ditentukan oleh ikatan *Hydrogen* dan gaya bervalensi sekunder. Mineral *Kaolinite* berwujud seperti lempengan-lempengan tipis masing-masing dengan diameter 1000 \AA sampai 20.000 \AA dan ketebalan dari 100 \AA sampai 1000 \AA dengan luasan *specific* per unit massa $\pm 15 \text{ m}^2/\text{gram}$.



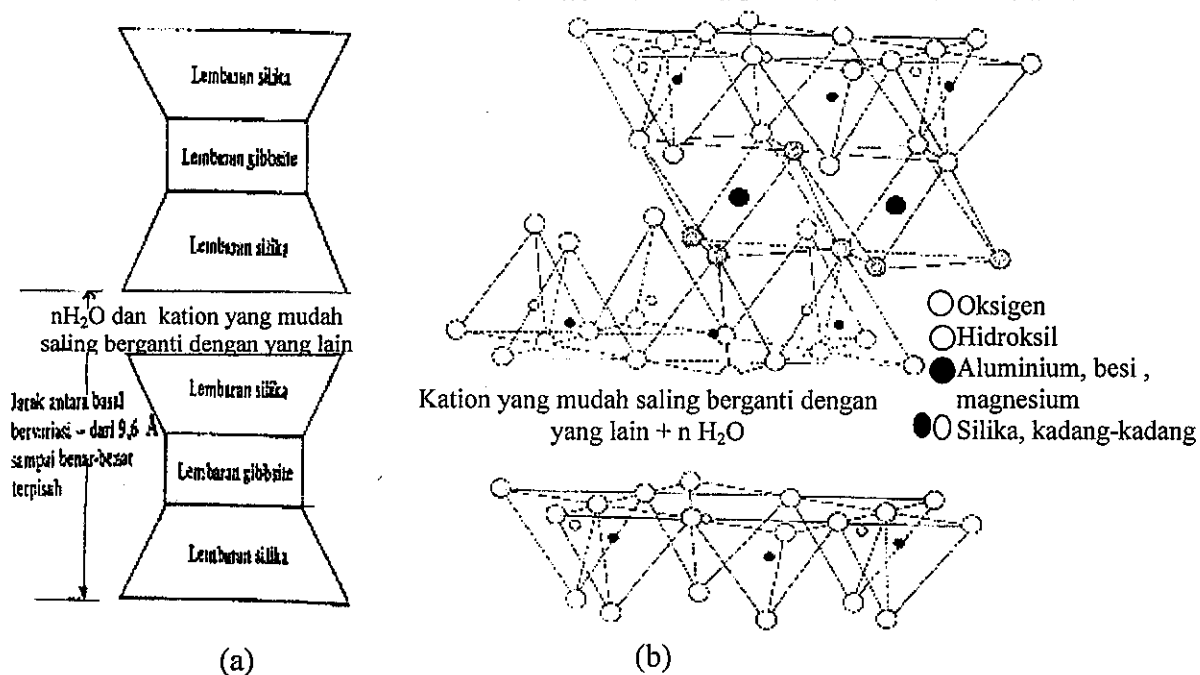
Gambar 2.2 (a) dan (b) Struktur *Kaolinite* (Grim. 1959)

Halloysite

Struktur dan komposisi sama dengan *Kaolinite*, yang membedakan adalah pada proses terbentuknya ikatan hydrogen diantara lapisannya. Ikatan antar unit pada mineral ini lebih acak serta terdapat lapisan tipis molekul air diantara lapisan. Dalam keadaan basah menunjukkan aktivitas kimia yang sangat besar khususnya sifat kembang susut dan plastis. Jika lapisan tunggal air menghilang karena proses penguapan, mineral ini akan berkelakuan lain dan akan berubah secara tajam jika tanah dipanasi sampai menghilangkan lapisan tunggal molekul air. Sifat khusus lainnya bahwa bentuk partikel menyerupai silinder memanjang dan melingkar karena ketidak mampuan menahan tumpukan ikatan hidrogen.

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* ditengahnya. Tebal satu satuan unit adalah $9,6 \text{ \AA}$ ($0,96 \mu\text{m}$) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 (a) dan (b) sebagaimana dikutip Das, Braja M (1985). Hubungan antar satuan unit diikat oleh ikatan gaya *Vander Walls* diantara ujung-ujung atas dari lembaran Silika itu sangat lemah; maka lapisan air ($n\text{H}_2\text{O}$) dengan kation yang dapat bertukar dengan mudah menyusup dan memperlemah ikatan antar satuan susunan kristal mengakibatkan antar lapisan terpisah. Ukuran gugus kristal *Montmorillonite* sangat kecil tapi mempunyai luasan *specific* per satuan unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.



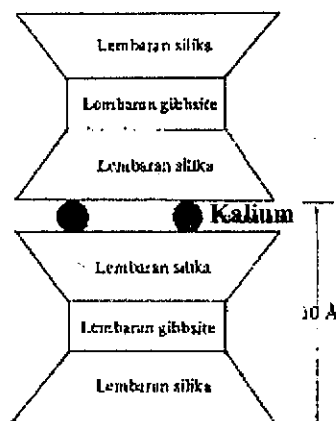
Gambar 2.3 (a) dan (b) Struktur *Montmorillonite* (Grim, 1959).

Illite

Memiliki formasi struktur satuan kristal yang hampir sama dengan *Montmorillonite*. Satu unit kristal *Illite* memiliki tebal dan komposisi yang hampir sama dengan *Montmorillonite*. Perbedaannya ada pada:

1. pengikatan antar unit kristal terdapat Kalium (K) yang berfungsi sebagai penyeimbang muatan sekaligus sebagai pengikat.
2. terdapat $\pm 20\%$ pergantian Silikon (Si) oleh Aluminium (Al) pada lempeng *tetrahedral*.
3. struktur mineralnya tidak mengembang sebagaimana *Montmorillonite*.

Gambar satuan unit *Illite* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur *Illite* (Grim, 1959).

Chen (1975) membedakan jenis mineral lempung berdasarkan pada tebal dan diameter partikel, luas permukaan spesifik butiran dan kapasitas pertukaran kation seperti yang terlihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Kisaran Kapasitas Tukar Kation (Chen, 1975)

	<i>Kaolinite</i>	<i>Illite</i>	<i>Montmorillonite</i>
<i>Particle thickness</i>	(0,5 – 2) μm	(0,003 – 0,1) μm	< 9,5 A^0
<i>Particle diameter</i>	(0,5 – 4) μm	(0,5 – 10) μm	(0,05 – 10) μm
<i>Specific surface</i> (sq. m/gram)	10 -20	65 – 180	50 – 840
<i>Cation exchange capacity</i> (millequivalents per 100 g)	3 – 15	10 – 40	70 – 80

Keterangan : 1 A^0 (angstrom) = 1×10^{-10} m = 0,1 μm .

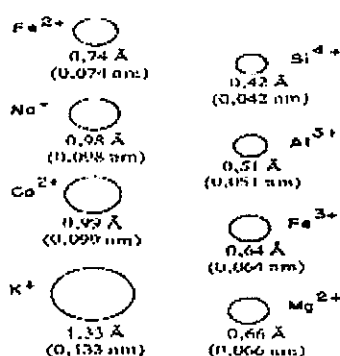
2.3 Interaksi Air dan Mineral dalam Fenomena Tanah Lempung Ekspansif

Permukaan mineral lempung tanah biasanya mengandung muatan elektro negatif yang memungkinkan terjadinya reaksi pertukaran kation, muatan ini merupakan hasil satu atau beberapa lebih dari reaksi yang berbeda. Dua sumber utama bagi asal-usul muatan negatif menurut Kim.H.Tan (1991); yaitu:

1. Adanya substitusi *Isomorfik*. Proses ini merupakan sumber utama muatan negatif dalam lempung lapis 2:1. Sebagian dari silikon dalam lapisan *tetrahedral* dapat diganti oleh ion yang ukurannya sama, yang biasanya Al^{3+} demikian pula sebagian dari aluminium dalam lembar *oktahedral* dapat digantikan oleh Mg^{2+} tanpa mengganggu struktur kristal. Muatan negatif yang dihasilkan dari proses substitusi *Isomorfik* tersebut dianggap sebagai muatan permanen karena tidak berubah dengan berubahnya PH. Kemudahan terjadinya substitusi *Isomorfik* tergantung dari ukuran dan valensi ion-ion yang terlibat. Proses hanya terjadi antara ion-ion berukuran sebanding. Perbedaan dalam dimensi ion tidak lebih dari 15% dan valensi ion-ion yang saling berganti tidak berbeda lebih dari satu satuan (Paton, 1978) sebagaimana dikutip Kim.H.Tan (1991).

Sebagai contoh seperti yang terlihat pada Gambar 2.5, bahwa dimensi Na^+ dan Ca^{2+} hampir sama ukurannya sehingga dapat menggantikan satu sama lain dengan nisbi mudah, walaupun valensi Ca^{2+} lebih tinggi. Kalium diharapkan tidak

mampu menggantikan Na^+ atau Ca^{2+} karena ukuran K^+ 1,4 kali lebih besar daripada ion Na^+ dan Ca^{2+} .



Gambar 2.5 Dimensi Nisbi dari Beberapa Ion yang Umum Dijumpai dalam Tanah
(Kim.H.Tan, 1991, Dasar-Dasar Kimia Tanah)

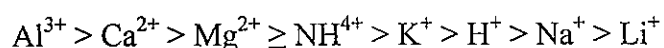
2. Disosiasi Gugus Hidroksil yang terbuka. Keberadaan gugus $-\text{OH}$ pada tepi kristal dapat juga mengakibatkan muatan negatif khususnya pada PH tinggi. Hidrogen dari Hidroksil (OH^-) terurai sedikit dan permukaan lempung menjadi bermuatan negatif dari ion Oksigen. Muatan negatif tipe ini disebut muatan berubah-ubah atau muatan tergantung PH. Sebaliknya proton (H^+) tidak hanya dapat terdisosiasi dari gugus $-\text{OH}$ (Hidroksil) yang terbuka tetapi dapat juga menyerap atau memperoleh proton, proses ini akan terjadi pada media yang sangat asam (PH rendah) sehingga dapat menghasilkan muatan positif pada permukaan lempung.

Reaksi untuk disosiasi proton :

- medium Alkalin: $-\text{Al}-\text{OH} + \text{OH}^- \leftrightarrow -\text{Al}-\text{O}^- + \text{H}_2\text{O}$.
- medium Asam: $-\text{Al}-\text{OH} + \text{H}^+ \leftrightarrow -\text{Al}-\text{OH}^+$.

Pada mineral lempung kering, muatan negatif pada permukaan akan dinetralkan oleh kation-kation lain yang mengelilingi partikel tersebut secara *exchange able cation* akibat adanya perbedaan kekuatan muatan dan gaya tarik-menarik elektrostatis *Van der Waals*. Karenanya perbedaan kekuatan muatan

dimungkinkan antar kation yang ada di sekeliling partikel lempung bisa saling mendesak posisi atau bertukar. Kemampuan mendesak dari kation-kation dapat dilihat dari besarnya potensi mendesak sesuai urutan berikut:



Kation Li^+ tidak dapat mendesak kation lain yang berada di kirinya (Kim.H.Tan, 1982).

Lempung dalam suspensi dapat menarik kation-kation, ion-ion positif tersebut tidak teragih secara seragam dalam seluruh media dispersi, mereka ditahan pada atau dekat permukaan lempung sebagian kation tersebut bebas untuk dipertukarkan dengan kation lain. Dengan demikian muatan negatif pada permukaan lempung ditutupi oleh sekumpulan ekuivalen dari ion lawan bermuatan positif dengan kerapatan terbesar dekat permukaan dan semakin berkurang kerapatannya dengan bertambahnya jarak dari permukaan partikel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar (2.6). Menurut Yong dan Warkentin (1966) sebagaimana yang dikutip DAS.Braja M (1985) berpendapat bahwa tingkat kerapatan ion lawan di lapisan kedua merupakan fungsi jarak, semakin jauh jaraknya dari tepi permukaan partikel lempung semakin kecil tingkat kerapatan ion.

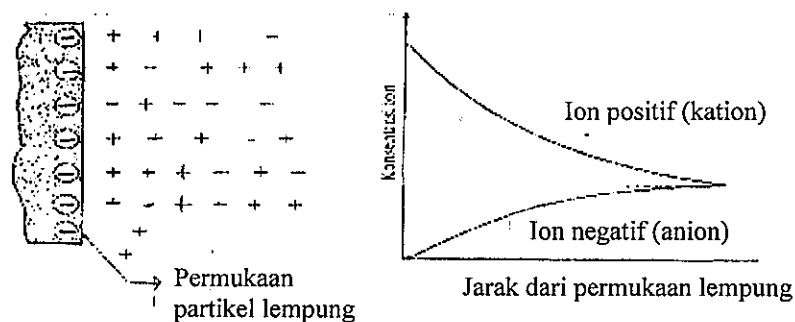
Muatan negatif yang lebih besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai luasan spesifik yang lebih besar. Pada Tabel 2.2 diberikan daftar rata-rata kerapatan muatan negatif pada kedua permukaan dari mineral-mineral lempung (dari Yong dan Warkentin, 1966 sebagaimana yang dikutip DAS.Braja M, 1991).

Tabel 2.2 Rata-Rata Kerapatan Muatan di Kedua Sisi Permukaan Partikel

(Yong dan Warkentin, 1966)

Mineral lempung	Kerapatan muatan di kedua sisi permukaan partikel (A^{02} / muatan elektron)
<i>Kaolinite</i>	25
Mika Lempung dan <i>Chlorite</i>	50
<i>Montmorillonite</i>	100
<i>Vermicullite</i>	75

Muatan negatif pada permukaan partikel lempung beserta kumpulan ion-ion lawan yang bermuatan positif disebut lapisan Rangkap Listrik atau *Diffuse Double Layers*. Lapisan pertama dari lapisan rangkap tersebut terbentuk dari muatan pada permukaan lempung (berupa muatan titik yang terlokalisasi) tetapi dianggap teragih secara merata pada permukaan lempung. Lapisan kedua berada dalam lapisan cairan yang berdekatan dengan permukaan lempung.



Gambar 2.6 Kation dan Ion Pada Lapisan Rangkap Listrik Dipermukaan Partikel Lempung (Yong dan Warkentin, 1966)

Teori lapisan rangkap Helm Holtz seperti yang dikutip Kim.H.Tan (1991), merupakan salah satu teori paling tua. Muatan negatif pada koloid dianggap teragih merata pada permukaannya sedang muatan lawan total dalam lapisan kedua terkonsentrasi pada suatu bidang sejajar dengan permukaan koloid pada jarak (x).

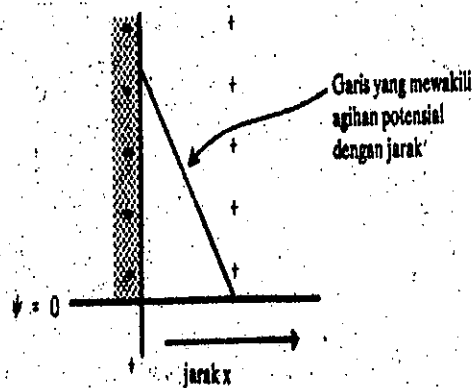
Jika medium mempunyai tetapan dielektrik (D), maka potensial elektrokinetik adalah sama dengan potensial total (Ψ) yang dirumuskan dalam persamaan (1)

$$\Psi = \frac{4\pi \cdot x}{D} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan Ψ = potensial elektromagnetik

D = tetapan dielektrik

Teori lapisan rangkap Helm Holtz digambarkan sebagaimana seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Lapisan Rangkap Helm Holtz

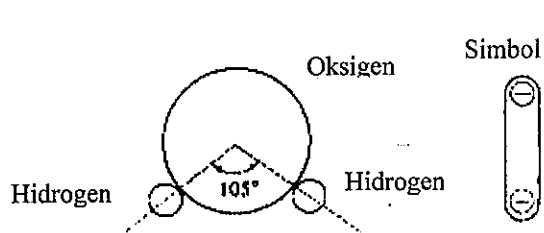
Potensial elektrokimia adalah maksimum pada permukaan koloid dan menurun secara linier pada lokasi-lokasi dengan jarak (x) yang meningkat dari permukaan koloid didalam lapisan rangkap.

Molekul air merupakan molekul dipolar karena atom Hydrogen tidak tersusun simetris disekitar atom Oksigen, melainkan membentuk sudut ikatan 105° akibatnya molekul-molekul air berperilaku seperti batang-batang kecil yang mempunyai muatan positif disatu sisi dan muatan negatif sisi lain. Sifat dipolar air terlihat pada Gambar 2.8.

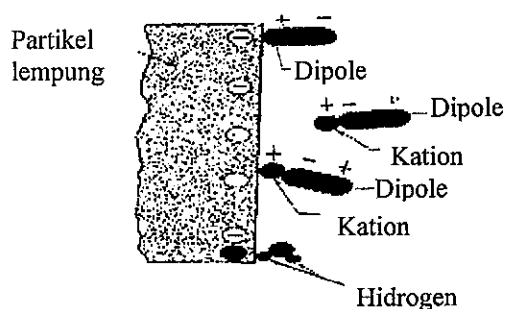
Interaksi antara molekul-molekul air dengan partikel lempung dapat melalui tiga proses. Pertama, kutub positif molekul dipolar air akan saling menarik dengan muatan negatif permukaan partikel lempung. Kedua, molekul air diikat oleh partikel lempung melalui ikatan Hydrogen (Hydrogen air ditarik Oksigen atau Hydroksil lain yang ada pada permukaan partikel lempung). Proses ketiga, penarikan molekul air oleh muatan negatif permukaan lempung secara berantai melalui kation yang mengapung dalam larutan air. Faktor paling dominan adalah proses ikatan Hydrogen.

Menurut Mitchell (1976) molekul air dekat permukaan akan memiliki sifat kelistrikan dan termodinamika yang berbeda dengan molekul air bebas yang sangat jauh dari daerah ikatan. Jumlah molekul air yang berinteraksi dengan permukaan lempung akan sangat dipengaruhi oleh jenis mineral yang ada yaitu pada nilai luasan permukaan spesifiknya (*specific surface*). Luas permukaan lempung merupakan

faktor utama yang mempengaruhi besarnya molekul air yang ditarik untuk membentuk lapisan listrik Rangkap (*Diffuse Double Layer*). Fenomena ini mengidentifikasi kemampuan mineral lempung menarik molekul air atau menunjukkan kapasitas perilaku plastis tanah lempung.



Gambar 2.8 Sifat Dipolar Molekul Air
(DAS Braja.M, 1985)



Gambar 2.9 Interaksi Molekul Dipolar
Air dengan Partikel Lempung
(DAS Braja.M, 1985)

Untuk faktor yang berpengaruh terhadap ketebalan Lapisan Rangkap Baur. Menurut Verweg dan Overbeck (1946) yang dikutip Kim.H.Tan (1991):

- a. Pengaruh dari konsentrasi elektrolit yang tinggi memberi penekanan atas Lapisan Rangkap. Jumlah kation meningkat berakibat turunnya gradien konsentrasi dalam antar muka cairan antara permukaan partikel lempung dan fase cairan disekelilingnya. Oleh karena itu kecenderungan kation untuk berbaur menjahui permukaan koloid menurun yang berakibat penurunan ketebalan Lapisan Rangkap.
- b. Faktor lain adalah valensi kation yang dapat dipertukarkan. Diperoleh bahwa kation-kation *monovalen* dalam posisi pertukaran menghasilkan Lapisan Rangkap Baur lebih tebal dibandingkan dengan kation *bivalen*. Gejala ini disebabkan oleh kecenderungan ion-ion untuk berbaur menjahui permukaan koloid dengan urutan sebagai berikut: ion *monovalen* > ion *bivalen* > ion *trivalen*.

Kim.H.Tan (1991) membuat pengelompokan ketebalan lapisan rangkap baur berdasarkan konsentrasi dan valensi ion (seperti dalam Tabel 2.3.).

Tabel 2.3 Pengaruh Konsentrasi dan Valensi Ion Terhadap Ketebalan Lapisan Rangkap Baur (Kim.H.Tan, 1991)

Konsentrasi elektrolit (mol/l)	Ketebalan Lapisan Rangkap Baur (1/K), cm	
	Ion <i>monovalen</i>	Ion <i>divalen</i>
1×10^{-5}	1×10^{-5}	$0,5 \times 10^{-5}$
1×10^{-3}	1×10^{-6}	$0,5 \times 10^{-6}$
1×10^{-1}	1×10^{-7}	$0,5 \times 10^{-7}$

2.4 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Menurut Chen (1975), cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

1. Identifikasi Mineralogi.
2. Cara tidak langsung (indeks tunggal).
3. Cara langsung.

2.4.1 Identifikasi Mineralogi

Analisa Minerologi sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara:

- Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffraction*).
- Penyerapan Terbilas (*Dye Absorbion*).
- Penurunan Panas (*Differential Thermal Analysis*)
- Analisis Kimia (*Chemical Analysis*).
- *Electron Microscope Resolution*.

2.4.2 Cara Tidak Langsung (*Single Index Method*)

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas *Atterberg*, *linear shrinkage test* (uji susut linier), uji mengembang bebas, dan uji kandungan koloid.

ATTERBERG LIMITS

Holtz dan Gibbs (1956) sebagaimana yang dikutip Chen (1975) secara empiris menunjukkan hubungan nilai potensi mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji *Atterberg*. Besaran indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal adanya *swelling* pada tanah lempung (Seed et al., 1962). Potensi mengembang didefinisikan sebagai persentase mengembang contoh tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASHO, setelah contoh direndam dengan beban 1 psi.

Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hubungan Potensi Mengembang dengan Indeks Plastisitas
(Chen, 1975)

Potensi mengembang	Indeks Plastisitas
Rendah	0 - 15
Sedang	10 -35
Tinggi	20 -55
Sangat tinggi	> 35

Seed et al (1962) membuat penyederhanaan hubungan antara potensi mengembang dengan indeks plastis sebagai berikut: pada pers (2)

$$S = 60K \times (PI)^{2,44} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan S = potensi mengembang

K = konstanta ($3,66 \times 10^{-5}$)

PI = indeks plastisitas

LINIER SHRINKAGE

Altmeyer (1955) sebagaimana dikutip Chen (1975), membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase susut linier dan persentase batas susut *Atterberg*, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Klasifikasi Potensi Mengembang Didasarkan
Pada Batas *Atterberg Limits*.

Batas Susut Atterberg (%)	Susut Linear (%)	Derajat Mengembang
< 10	> 8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
> 12	0 - 5	Tidak kritis

FREE SWELL

Uji *Free Swell* diperkenalkan oleh Holtz (1956) sebagaimana dikutip Chen (1975), yaitu dengan cara memasukkan tanah lempung kering yang telah diketahui volumenya kemudian dimasukkan kedalam gelas ukur yang diisi air tanpa pembebanan. Pengamatan dilakukan setelah lempung mengendap.

Perbedaan tinggi air atau volume awal pengamatan dengan akhir pengamatan menunjukkan perubahan volume material tanah. Persentase *Free Swell* adalah perbandingan perubahan volume tanah dengan volume tanah awal pengamatan.

KOLLOID CONTENT

Koloid content menjadi salah satu indikator mengembang tanah lempung ekspansif. Seed et al (1962) melakukan serangkaian eksperimen dari sejumlah jenis tanah lempung, diperoleh hubungan potensi mengembang dengan kandungan koloid yang ada pada material lempung seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.

Oleh Seed et al (1962) dari grafik hubungan potensi mengembang dan persentase kandungan koloid dibuat hubungan dalam bentuk analisis sebagai berikut: pada pers (3)

$$S = k C^x \dots \dots \dots (3)$$

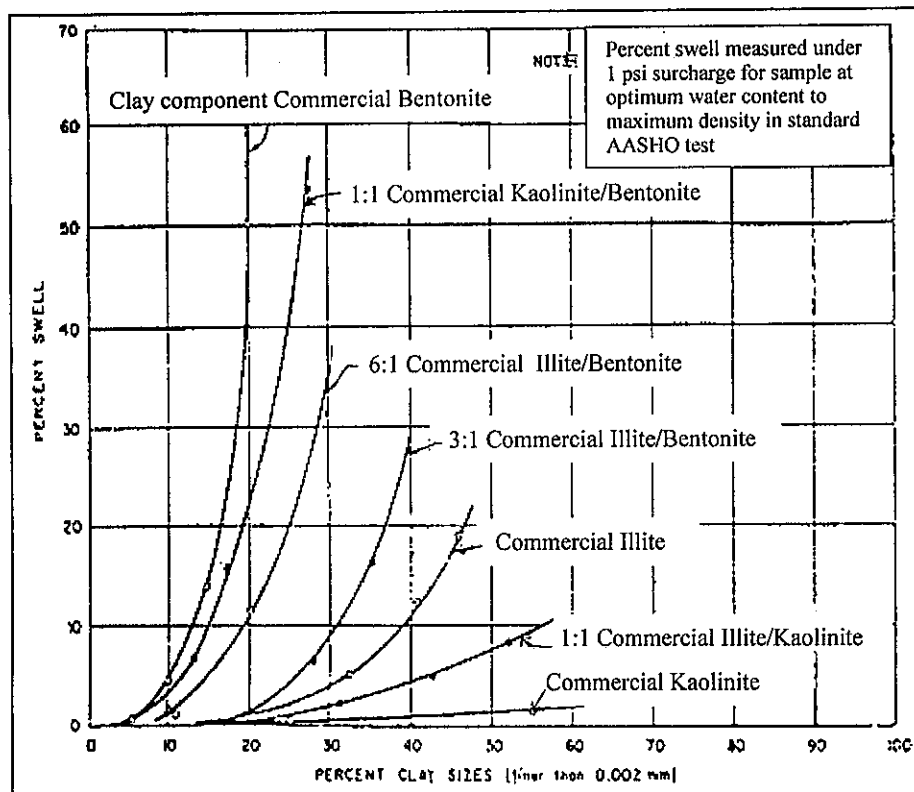
Dimana S = potensi mengembang

C = persentase butiran lempung (ukuran < 0,002 mm)

X = eksponensial yang tergantung dari jenis lempung

K = konstanta atau koefisien yang menunjukkan jenis lempung

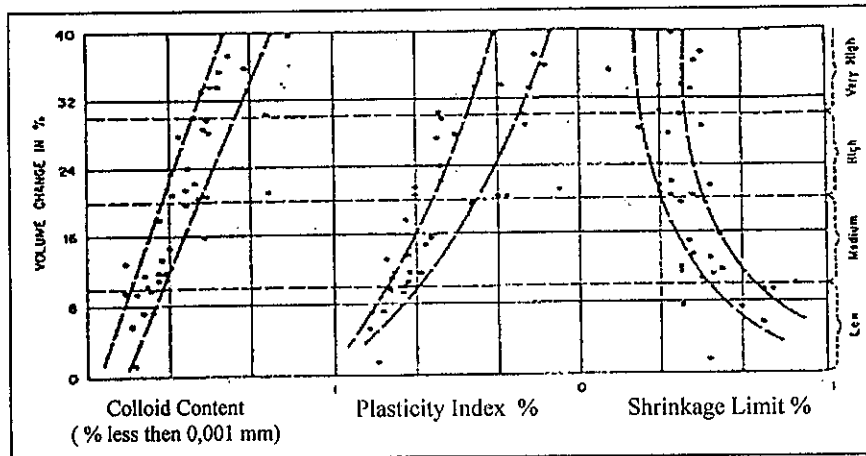
Gambar (2.10) menunjukkan hubungan antara persentase mengembang dengan persentase butiran lempung pada sejumlah tanah lempung yang diambil pada kondisi kepadatan kering maksimum standar AASHO dan dibawah tekanan 1psi.



Gambar 2.10 Hubungan Potensi Mengembang dengan Kadar Lempung
(Seed et al, 1962)

METODE KLASIFIKASI (USBR METHOD)

Perkembangan oleh Holtz dan Gibbs (1956) sebagaimana dikutip Chen (1975) mengembangkan metode USBR berdasarkan pada penilaian terhadap sejumlah nilai indeks tanah secara simultan. Gambar 2.11 menunjukkan hubungan antara sejumlah nilai indeks dimaksud dengan potensi mengembangnya.



Gambar 2.11 Hubungan Persentase Mengembang dengan Kandungan Koloid, PI, dan Batas Susut (Holtz dan Gibbs, 1959).

Dari kurva diatas Holtz & Gibbs (1954) mengajukan kriteria identifikasi sebagaimana dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kriteria Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif USBR (Holtz dan Gibbs, 1959)

Colloid Content ($< 0,001$ mm) (%)	Indeks Plastisitas (%)	Batas Susut (%)	Persentase Pengembangan (%)	Derajat Pengembangan
> 28	> 35	< 11	> 30	Sangat tinggi
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 30	Sedang
< 15	< 18	> 15	< 10	Rendah

ACTIVITY METHOD

Skemton (1953), mendefinisikan sebuah parameter yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut:

$$Activity (A) = \frac{PI}{C - 10} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan PI = *Plastisitas Index*

C = persentase lempung lolos saringan 0,002 mm

Dari rumus tersebut Skemton membuat kategori tanah dalam tiga golongan, yaitu:

- $A \leq 0,75$: tidak aktif.
- $0,75 < A \leq 1,25$: normal.
- $A > 1,25$: aktif.

Seed et al (1962) mengelompokkan besaran *activity* berdasarkan jenis mineral seperti yang terlihat pada Tabel 2.7 .

Tabel 2.7 Hubungan Aktivitas dengan Mineral (Seed et al, 1962).

Mineral	Aktivitas
<i>Kaolinite</i>	0,33 – 0,46
<i>Illite</i>	0,99
<i>Montmorillonite</i> (Ca)	1,5
<i>Montmorillonite</i> (Na)	7,2

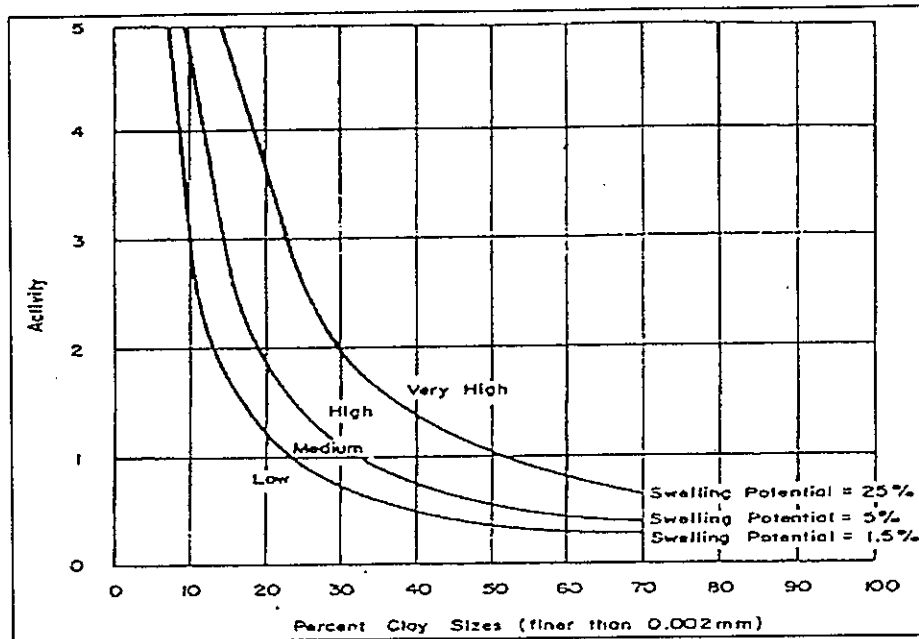
Sebagaimana yang terlihat pada Gambar (2.12), Seed et al (1962) mengembangkan grafik hubungan nilai aktivitas dan persentase butir tanah lempung lolos 0,002 mm yang diperoleh dari hasil pengamatan sejumlah tanah lempung *remolded* yang berbeda-beda yaitu *Bentonite*, *Illite*, *Kaolinit*, dan pasir halus dimana contoh tanah-tanah tersebut telah dipadatkan 100% pada kadar air optimumnya dan menerima beban 1psi. Rumus aktivitas Seed et al (1962) dalam bentuk analitis adalah sebagai berikut: pada pers (5)

$$Activity (A) = \frac{PI}{C - n} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan PI = indeks plastisitas

C = persentase lempung lolos saringan 0,002 mm

n = berharga 5 atau 10 (n. tanah asli = 5 sedangkan n. *remolded* = 10)



Gambar 2.12 Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang
(Seed et al, 1962)

2.4.3 Metode Pengukuran Langsung

Metode pengukuran terbaik adalah dengan metode pengukuran langsung yaitu suatu cara untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan *Oedometer Terzaghi*. Contoh tanah berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan beban 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. Adapun cara pengukuran tekanan pengembangan ada dua cara yang umum digunakan.

Cara pertama, pengukuran dengan beban tetap sehingga mencapai persentase mengembang tertinggi kemudian contoh tanah diberi tekanan untuk kembali ketebal semula. Cara kedua, contoh tanah direndam dalam air dengan

mempertahankan volume atau mencegah terjadinya pengembangan dengan cara menambah beban di atasnya setiap saat. Metode ini sering juga disebut *constant volume method*.

2.5 Faktor Berpengaruh Dalam Proses Mengembang

Hubungan yang lebih umum terlebih dahulu disampaikan oleh Holtz-Gibbs (1968) sebagaimana dikutip oleh Chen (1975), yaitu dalam bentuk grafik hubungan potensi mengembang dengan kepadatan dan kadar air, seperti terlihat pada Gambar 2.13

Menurut Chen (1975) faktor yang berpengaruh pada proses mengembang tanah lempung ekspansif dapat dilihat dari dua kondisi proses, yaitu kondisi di laboratorium dan kondisi di lapangan (*in situ*). Proses mengembang di laboratorium merupakan penyederhanaan pengamatan terhadap faktor berpengaruh pada proses mengembang di lapangan. Faktor-faktor tersebut adalah kadar mineral lempung, *montmorillonite*, kepadatan awal, waktu pembasahan, tebal contoh tanah, tingkat kejenuhan, kadar air awal dan tekanan akibat beban luar. Empat faktor pertama memiliki kecenderungan potensi mengembang bertambah dengan meningkatnya nilai faktor tersebut. Sedangkan tiga faktor terakhir memiliki kecenderungan yang sebaliknya. Selanjutnya oleh Chen (1975) menjelaskan bahwa proses mengembang yang terjadi di lapangan (*in situ*) jauh lebih rumit prosesnya daripada apa yang diamati di laboratorium. Sejumlah faktor tambahan lain yang sangat berpengaruh terhadap proses mengembang adalah :

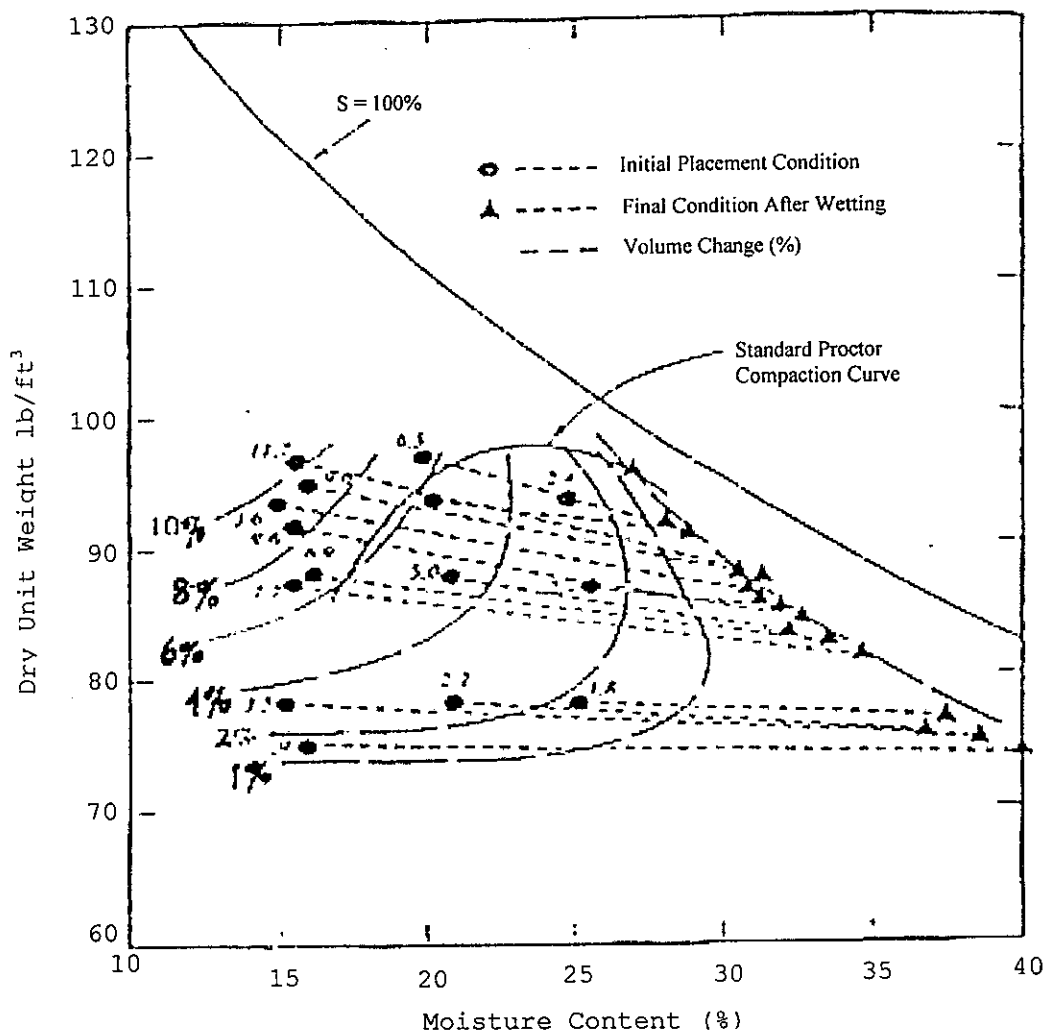
- a. Iklim (*climate*) meliputi efek presipitasi, evaporasi dan transpirasi serta kelembaban pada tanah.
- b. Profil tanah (*soil profile*), ketebalan tanah ekspansif dan posisinya pada profil tanah akan sangat mempengaruhi proses mengembang tanah setempat.
- c. Air tanah (*ground water*), lapisan tanah ekspansif yang berada di daerah fluktuasi pergerakan air tanah akan sangat mempengaruhi proses mengembang di lokasi tanah setempat. Tetapi untuk lapisan tanah ekspansif yang berada di bawah

daerah fluktuasi air tanah tersebut tidak akan mempengaruhi proses mengembang tanah ekspansif tersebut.

d. Drainase.

Selain faktor diatas Iyer Balu (1987) secara khusus menyoroti metode pengukuran sebagai salah satu faktor yang sangat berpengaruh dalam pengamatan perilaku mengembang tanah lempung ekspansif. Menurutnya, akibat beragamnya metode pengukuran potensi mengembang yang ada hingga tahun 1985, interpretasi terhadap potensi mengembang akan berbeda baik untuk perubahan volume maupun untuk tekanan mengembang. Untuk lebih rinci Iyer.Balu (1987) mengelompokkan faktor-faktor yang berpengaruh pada proses mengembang dalam tiga katagori:

- a) Faktor komposisi (*compositional factors*) meliputi: jenis lempung, kadar lempung, dan komposisi air pori awal.
- b) Fakor lingkungan (*environmental factors*) meliputi: kadar air awal, kepadatan awal, tingkat kejenuhan awal, struktur tanah awal, ketersediaan dan komposisi air pengembang, dan temperatur.
- c) Faktor prosedur (*procedural factors*) meliputi: ukuran dan bentuk contoh tanah, kadar gangguan terhadap contoh tanah, metode pengukuran tekanan mengembang, dan metode pengukuran persentase mengembang.



Gambar 2.13 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Kadar Air dan Kepadatan (Holtz dan Gibbs, 1968).

2.6 Kuat Geser Tanah

2.6.1 Pengertian Dasar Kuat Geser dan Keruntuhan Massa Tanah

Kuat geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut persatuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Kuat geser atau tepatnya ketahanan geser ini perlu diketahui untuk analisis stabilitas tanah (Das, 1983). Kuat geser massa tanah merupakan kontribusi dari gaya tarik antar partikel tanah (*attraction force*) yang sering disebut

kohesi dan gaya friksi (*friction force*) yang besarnya tergantung dari sudut geser dalam (*angle of internal friction*) tanah (ϕ). Pada tanah lempung pengaruh yang sangat penting adalah kohesi, sedangkan pada tanah butiran (*cohesionless*) adalah gaya friksi. Sekalipun demikian pada sejumlah jenis tanah ditemukan kombinasi kohesi dan friksi. Perlawanan internal terhadap keruntuhan ini dipahami dengan jelas dari kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb: pada pers (6)

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan τ_f = tegangan geser pada bidang runtuh.

σ = tegangan normal pada massa tanah.

c = kohesi

ϕ = sudut geser dalam

Pada tanah jenuh, besar tegangan normal total pada sebuah titik adalah sama dengan jumlah tegangan efektif (σ') ditambah dengan tegangan air pori (U).

Atau $\sigma = \sigma' + U \dots\dots\dots(7)$

Tegangan efektif diterima oleh bagian butiran padat dari tanah. Jadi berdasarkan prinsip mekanika :

$$\tau_f = C + (\sigma - U) \tan \phi$$

$$\tau_f = C + \sigma' \tan \phi \dots\dots\dots(8)$$

2.6.2 Tekanan Kapiler Pada Tanah Lempung Ekspansif

Pada kondisi tak jenuh, tekanan air pori (U) pada tanah lempung ekspansif terdiri dari dua komponen yaitu tekanan air pori (U_w) dan tekanan udara pori (U_a). Secara umum U_a dan U_w tidak sama perbedaan kedua tekanan tersebut akan diimbangi oleh *interface* air-udara melalui gaya tarik permukaan. Perbedaan tekanan ini dikenal sebagai tekanan kapiler (*suction*) μ .

$$\mu = U_a - U_w \dots\dots\dots(9)$$

Bila nilai U_w mendekati U_a tekanan kapiler akan mengecil dan derajat kejenuhan membesar. Pada tanah jenuh tekanan kapiler atau (*suction*) μ akan sama dengan nol.

Tegangan kapiler tanah dilihat sebagai tegangan tarik yang bekerja pada permukaan partikel tanah. Sejumlah persamaan tegangan efektif pada kondisi tidak jenuh dimunculkan oleh sejumlah ahli diantaranya adalah :

Bishop (1959).

$$\sigma' = \sigma - U_a + x (U_a - U_w) \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan x = parameter yang berkaitan dengan derajat kejenuhan.

U_a = tekanan pada udara pori.

Tekanan kapiler (*suction*) dapat ditentukan atau diukur di lapangan dan di laboratorium

2.6.3 Pengukuran Kuat Geser Tanah . .

Pengujian kuat geser tanah lempung dapat dilakukan dengan cara berikut :

- **Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)**, metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan paling tua. Biasanya lebih cocok untuk jenis tanah berpasir terutama pasir padat.
- **Uji Triaxial**, metode ini merupakan metode yang paling dapat diandalkan untuk menentukan parameter kuat geser. Uji ini telah digunakan secara luas untuk pengujian biasa maupun riset. Ada tiga standar uji Triaxial yaitu :
 - a. *Consolidated Drained Test* (CD test).
 - b. *Consolidated Undrained Test* (CU test).
 - c. *Unconsolidated Undrained Test* (UU test).
- **Uji *Unconfined Compressive Strength* (UCS)**, metode ini merupakan bentuk lain dari UU test Triaxial. Perbedaannya pada test UCS tidak menggunakan tekanan sel

Pengujian kuat geser tanah lempung pada penelitian ini menggunakan metode uji *Unconfined Compressive Strength* (UCS) dan *Direct Shear Test* sebagai pembanding.

2.7 Stabilisasi Kapur

Material kapur yang umum dipergunakan dalam pekerjaan stabilisasi kapur dapat berupa Calcium Oxida (*quicklime*), Calcium Hydroxide (*hydratedlime*) sedangkan Calcium Carbonate pada umumnya kurang cocok digunakan untuk perbaikan tanah (peningkatan kekuatan tanah) kecuali sebatas sebagai filter untuk memperbaiki gradasi butiran. Adalah penting dalam memilih jenis kapur yang tepat untuk mendapatkan hasil yang optimum dalam pekerjaan stabilisasi tanah disamping kemudahan didalam pelaksanaannya. Ingles & Metcalf (1972) menjelaskan bahwa efek terpenting dari stabilisasi adalah bagaimana membentuk suatu ikatan yang kuat (*cementation*) dari hasil reaksi kapur dengan mineral lempung, sehingga dapat meningkatkan nilai kuat geser (*shear strength*) dan daya dukung (*bearing capacity*) tanah serta mengurangi kerentanan terhadap *swelling* dan *shrinkage* serta meningkatkan ketahanan akibat pengaruh cuaca jelek, fluktuasi lalu-lintas yang tinggi, adanya perubahan kadar air serta meningkatkan kemudahan pelaksanaan pemadatan.

Antara *quicklime* (CaO) dan *hydratedlime* (CaOH₂) keduanya dapat dipergunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. Di United Kingdom, *quicklime* lebih banyak dipergunakan dengan pertimbangan kandungan *lime content* per unit massa lebih tinggi dan lebih padat dibanding *hydratedlime* serta membutuhkan tempat penyimpanan dan pengangkutan yang relatif kecil dan tidak banyak menimbulkan debu, panas yang dibangkitkan mempercepat tercapainya kekuatan (Greaves.H.M, 1996) sebagaimana dikutip Adi Prasetyo (1991).

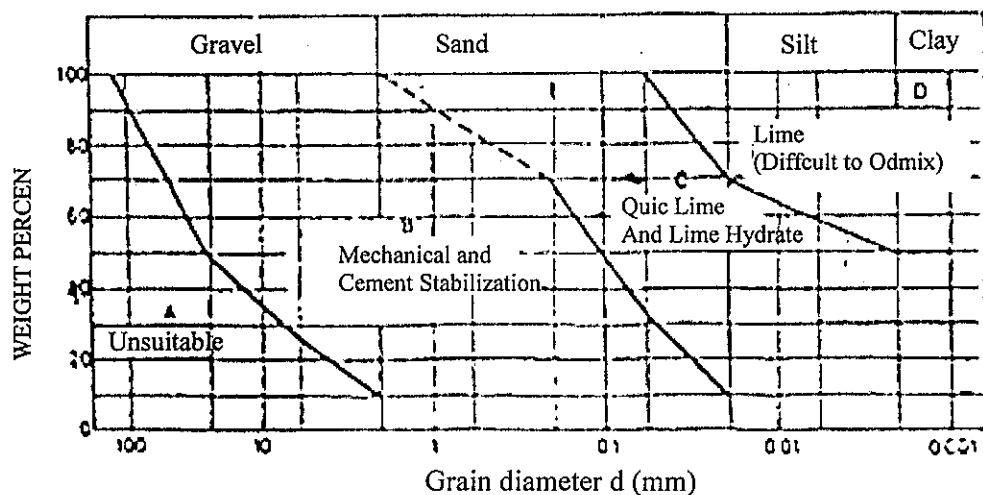
Ingles dan Metcalf (1972) merekomendasikan persyaratan spesifikasi kapur sebagai bahan stabilisasi seperti yang tercantum pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Persyaratan Spesifikasi Kapur (Ingles and Metcalf, 1972)

Property	Lime	
	Quicklime (CaO)	Hydratedlime (CaOH ₂)
Calcium dan Magnesium Oxides	≥ 92%	≥ 95%
Carbon Dioxides		
- at Kiln	≤ 3%	≤ 5%
- else where	≤ 10%	≤ 7%
Frieness	-	≤ 12% (on 180x180, cement standard sieve)

Dari tinjauan stabilisasi kapur tanah menurut Kizdi (1976) seperti yang dikutip Adi Prasetyo (1991) dapat dikelompokkan dalam empat *group* berdasarkan klasifikasi menurut ukuran butir, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.14, yaitu sebagai berikut:

Tanah dengan distribusi ukuran butir seperti pada group A tidak bisa distabilisasi sedangkan tanah pada group B lebih tepat digunakan pada stabilisasi mekanis dan semen. Sedangkan tanah dengan gradasi butiran pada group C pemakaian kapur sebagai bahan stabilisasi lebih tepat.



Gambar 2.14 Penggunaan Stabilisasi Kapur Pada Berbagai Ukuran Butir.

(Kizdi, 1979)

Kapur bereaksi cepat dengan *montmorillonite clays* dibanding dengan *kaolinite clays* (perbedaannya ± 1 minggu) penurunan nilai PI pada *montmorillonite* cukup besar sedang pada *kaolinite* mungkin tidak terjadi. Pengaruh air dalam tanah penting dalam proses pelaksanaan pemadatan dan alat penghancur yang digunakan, pada lempung basah penggunaan kapur dapat memberikan perubahan PI yang relatif lebih cepat dan ini merupakan dasar penggunaan stabilisasi kapur (Ingles and Metcalf, 1972).

2.8 Proses Reaksi Tanah dan Kapur

Penambahan kapur sebagai mineral *reactive* adalah sangat tepat dimana proses reaksi yang timbul melalui dua tahapan. Sebagai bahan reaktan pada tanah lempung yang biasanya ditandai dengan nilai plastisitas indeks dan *clay content* tinggi ($> 10\%$), proses reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

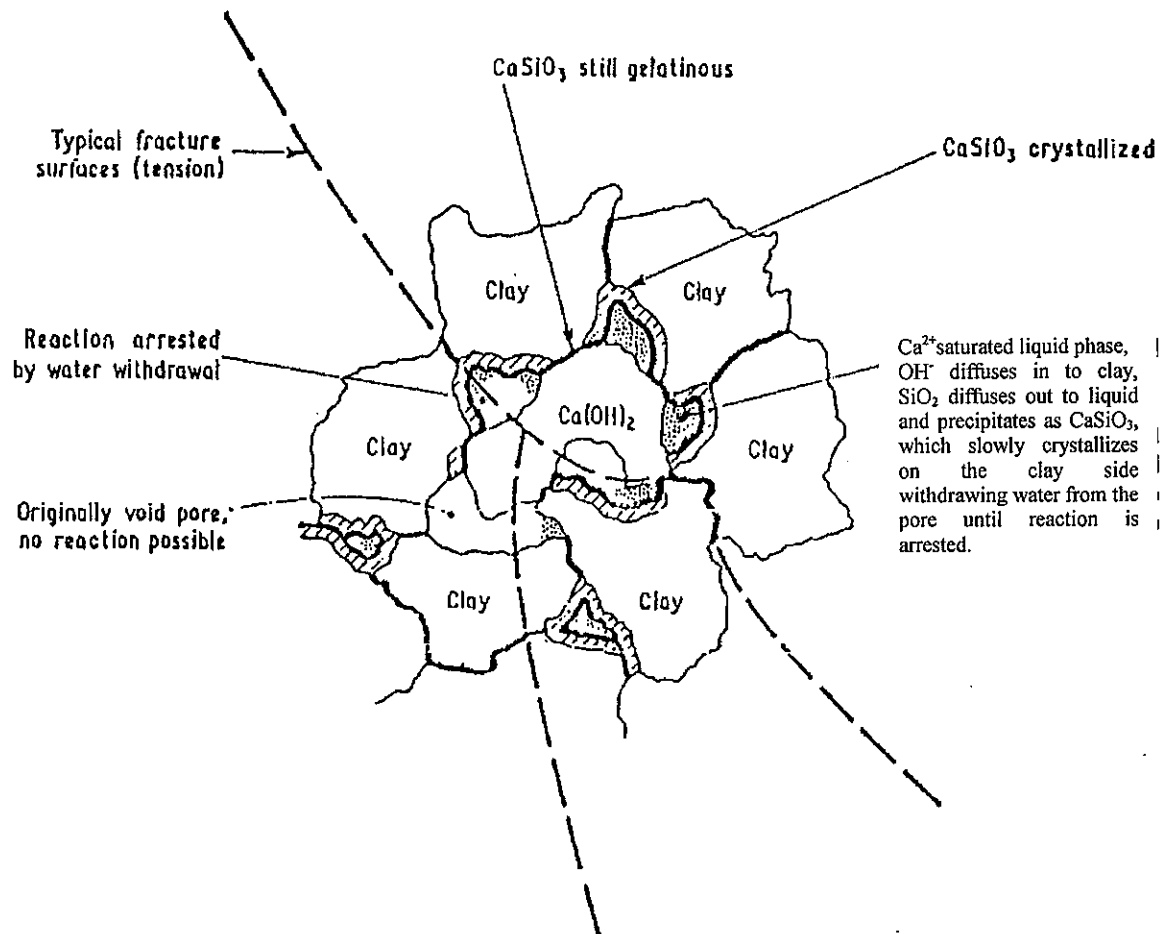
Tahap pertama, reaksi pertama terbentuk dalam selang beberapa jam setelah pencampuran, yaitu setelah terjadinya reaksi pertukaran ion-ion dari mineral dengan kapur yang mana memberikan efek pada penurunan ketebalan *diffuse double layers* sehingga tarikan tepi permukaan partikel lempung meningkat (Hilt dan Davidson, 1960) sebagaimana dikutip Adi Prasetyo (1991). Penarikan gaya tarik *Van der Waal* pada tepi partikel lempung mengakibatkan terjadinya flokulasi partikel-partikel lempung yang mempunyai sifat plastisitas rendah, *texture* besar dan lepas. Dalam kondisi kelebihan air terjadinya reaksi *isothermic* pada tanah selama proses pengeringan akan memberikan kemudahan didalam pekerjaan tanah. Reaksi pada tahap ini biasanya dikenal sebagai proses modifikasi.

Tahap kedua, reaksi kedua terjadi segera setelah flokulasi antara partikel-partikel lempung dan kapur, dilanjutkan pembentukan *pozzolanic* yang memberikan efek kestabilan tanah.

Dalam lingkungan alkalis tinggi terjadi peningkatan pelepasan ion Silica dan Alumina dari mineral lempung yang selanjutnya akan bereaksi dengan ion Calcium dari mineral kapur untuk membentuk *Calcium Silicate Hydrates* dan

Calcium Aluminate Hydrates. Hasil reaksi ikatan yang terbentuk memungkinkan tanah mempunyai sifat *durability* dan *strength* yang tinggi.

- Ingels (1972) Mekanisme Stabilisasi lempung dengan kapur, menjelaskan tentang proses agregasi sebagai mana terlihat pada Gambar 2.15.

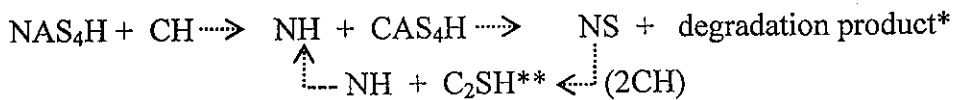


Gambar 2.15. Mekanisme Stabilisasi Lempung dengan Kapur (Ingles, 1972).

Dalam kondisi suspensi butir-butir *colloidal* lempung terdispersi, muatan negatif pada permukaan lempung mengabsorpsi kalsium (larutan dalam kondisi jenuh ion Ca^{++}) mendorong terbentuknya granulasi. Peristiwa pembutiran ini disebut sebagai proses flokulasi antara mineral lempung dengan ion-ion yang tersebar dalam larutan. Granulasi yang dihasilkan tidak selamanya permanen, adanya

pengeringan pembasahan bisa mengakibatkan kerusakan pada agregat yang telah terbentuk. Kemantapan agregat hasil flokulasi ini sangat dipengaruhi oleh ada tidaknya zat pengikat dan potensi zeta (efektifitas muatan untuk menolak yang diukur dari kecepatan gerak butir colloidal disuatu bidang listrik).

Proses reaksi stabilisasi kapur pada lempung, menurut Ingels (1972) sebagai berikut :



Dimana : S = SiO₂, H = H₂O, A = Al₂O₃, C = CaO, N = Na₂O .

*ion Si makin berkurang, terbentuk endapan *Kalsium Aluminat* dan *Alumina*.

**Atau CSH .

NAS₄H = lempung *Montmorillonit*. Selain kation Na ion lain seperti Ca dan Mg, kadang ditemukan pula dalam lempung tersebut.

2.9 Efek Penambahan Kapur Pada Tanah Lempung

Kapur merubah sifat fisik secara besar pada tanah lempung pada tingkat yang bervariasi (National Lime Association, 1982) sebagaimana dikutip Adi, Prasetijo 1991.

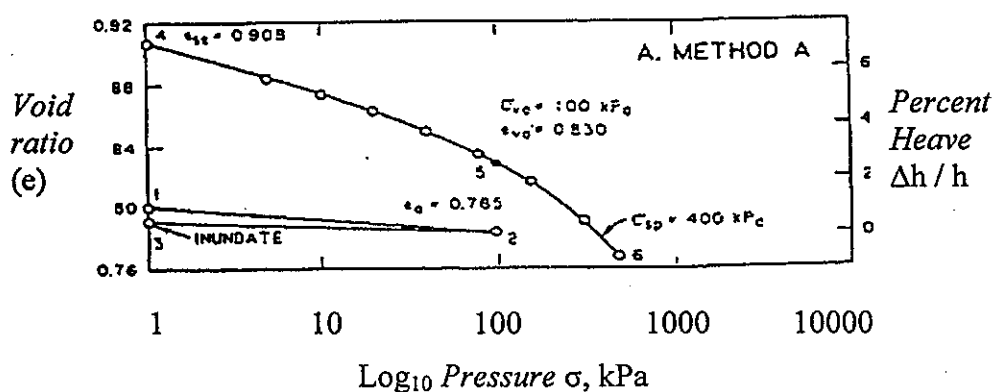
1. Nilai PI turun tajam secara umum LL berkurang dan PL bertambah.
2. Tanah merupakan suatu gumpalan pada prinsip mengurangi butiran pengikat (*binder*) pada tanah.
3. Kapur dan air mempercepat penghancuran gumpalan lempung selama *mixing* sebagai hasil dari *point* dua dan *point* tiga tanah menjadi lepas sehingga mudah dikerjakan.
4. Kapur membuat tanah basah menjadi cepat kering sehingga mempercepat pelaksanaan pemadatan.
5. Sifat mengembang dan menyusut tanah lempung berkurang secara menyolok.

6. Nilai *Unconfined Compressive Strength* diperkirakan meningkat setelah pemeraman dalam beberapa kasus sekitar kelipatan 14 hari.
7. Terjadi kenaikan nilai CBR maupun regangan dan nilai kohesi.

2.10 Metode Pengukuran Tekanan Mengembang

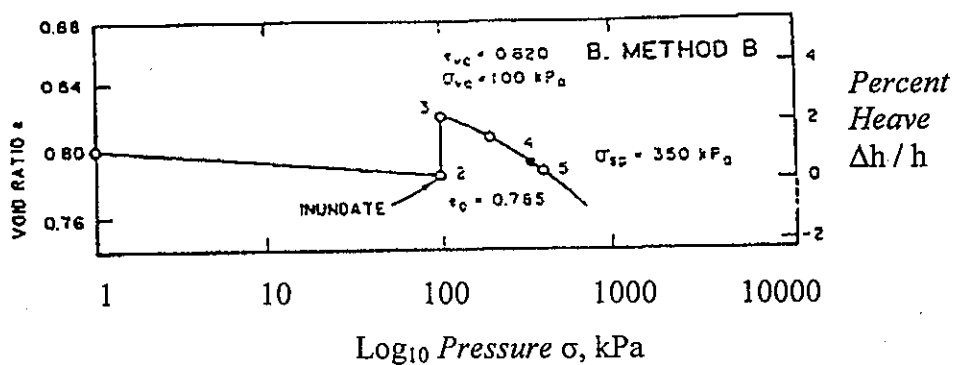
ASTM-D-4546-96 menyajikan tiga alternatif cara pengukuran tekanan mengembang dengan menggunakan peralatan *Oedometer*. Ringkasan masing-masing metode pengamatan adalah sebagai berikut:

1. Metode A, metode ini sering disebut *free swell pressure test*. Contoh tanah yang sudah siap dalam *consolidometer ring* diameter 6,20 cm dan tinggi 2,54 cm diberi tekanan sebesar 1 kPa. Sebelum dibasahi contoh tanah tersebut diberi *seating pressure* minimal 1 kPa selama 5 menit dan dilakukan pembacaan *dial seating pressure*, kemudian dilepas dan dilakukan pembacaan *dial* sekali lagi. Contoh tanah dengan beban konstan dengan tekanan 1 kPa diberi air hingga mengembang dan dilakukan pencatatan *dial* selama 72 jam. Kondisi yang terakhir ini ditetapkan sebagai persentase mengembang maksimum yang terjadi. Langkah selanjutnya adalah contoh tanah diberi beban tambahan berturut-turut sebesar 5 kPa, 10 kPa, 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa, 100 kPa, dan seterusnya sehingga terlewati kondisi air pori awal. Untuk masing-masing kondisi dipakai masa beban 12 jam. Gambar 2.16; menunjukkan grafik penentuan tekanan mengembang metode A.



Gambar 2.16 Penentuan Tekanan Mengembang Metode A (ASTM-D-4546-96)

2. Metoda B, metode ini sering disebut *loaded swell test*. Caranya hampir sama dengan metode A sedangkan perbedaannya adalah beban tetap yang diberikan pada metode A dipakai beban tetap selama mengembang adalah 1 kPa, sementara pada metode B diberi tambahan beban tetap yang lebih besar dan berfungsi sebagai tekanan *overburden*. Misalnya saja digunakan beban 40 kPa. Gambar (2.17) menunjukkan grafik penentuan tekanan mengembang metode B.

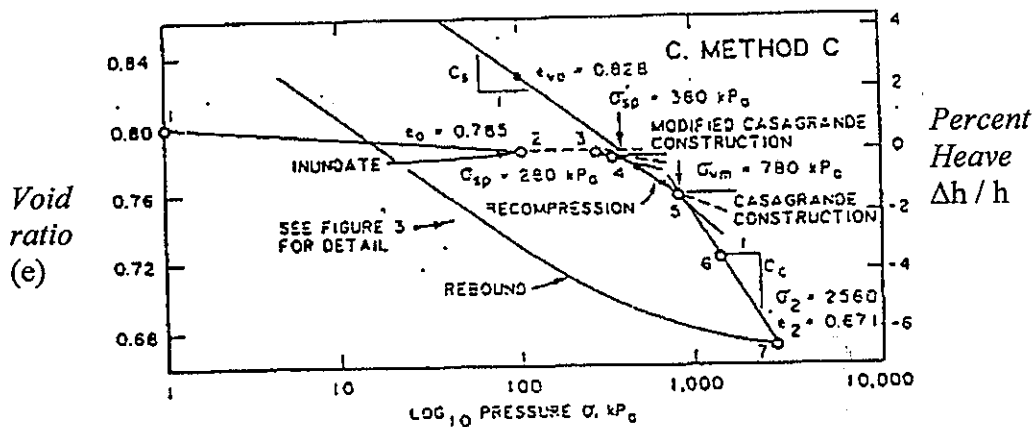


Gambar 2.17 Penentuan Tekanan Mengembang Metode B
(ASTM-D-4546-96)

3. Metode C, metode ini sering disebut *constant volume test*. Contoh tanah yang sudah siap dalam *consolidometer* ukurannya sama dengan metode A dan metode B. Contoh tanah terlebih dahulu diberi *seating pressure* selama 5 menit dan dilepas. Pada kondisi ini dilakukan pembacaan *dial*. Kemudian *consolidometer* tersebut perlahan dibasahi dengan air. Untuk menjaga agar tanah tidak mengalami perubahan volume selama pembasahan, tanah harus diberi beban untuk melawan *swelling* yang terjadi pada sistem. Usaha mempertahankan volume tersebut dilakukan terus-menerus selama 48 jam. Langkah selanjutnya contoh tanah diberi beban tambahan 40 kPa, 80 kPa, 100 kPa, 200 kPa, dan seterusnya. Waktu setiap pembebanan adalah 12 jam kemudian diperoleh grafik hubungan *void-rasio* (e)

dengan tekanan mengembang (P). Tekanan mengembang yang sebenarnya diperoleh setelah dilakukan koreksi *Cassagrande*.

Gambar 2.18 menunjukkan grafik penentuan tekanan mengembang metode C.



Gambar 2.18 Penentuan Tekanan Mengembang Metode C
(ASTM-D-4546-96)

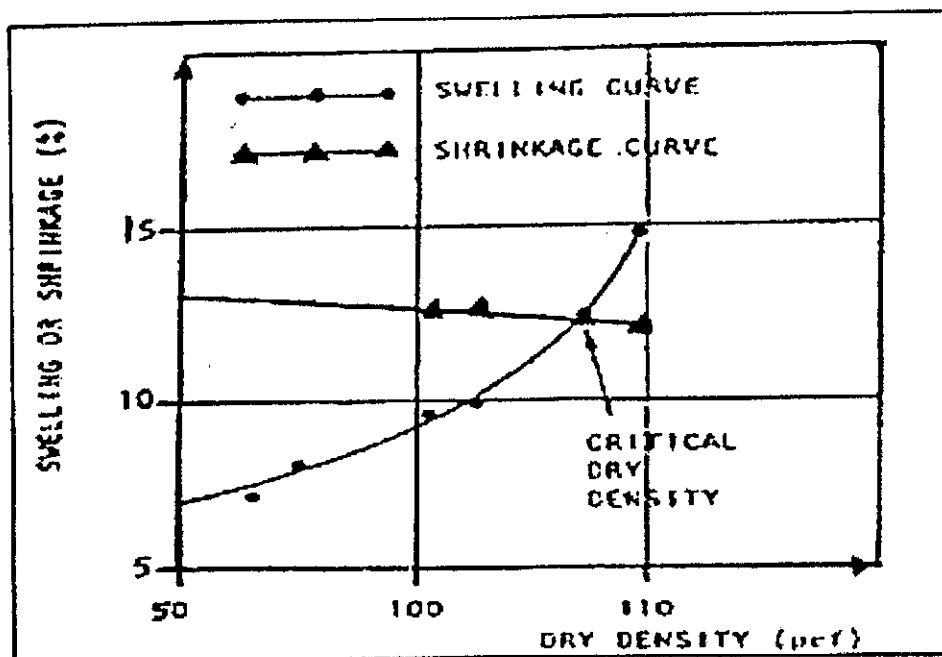
2.11 Kajian Sejumlah Hasil Penelitian Sebelumnya

2.11.1 Perilaku Potensi Mengembang Akibat Siklus Berulang

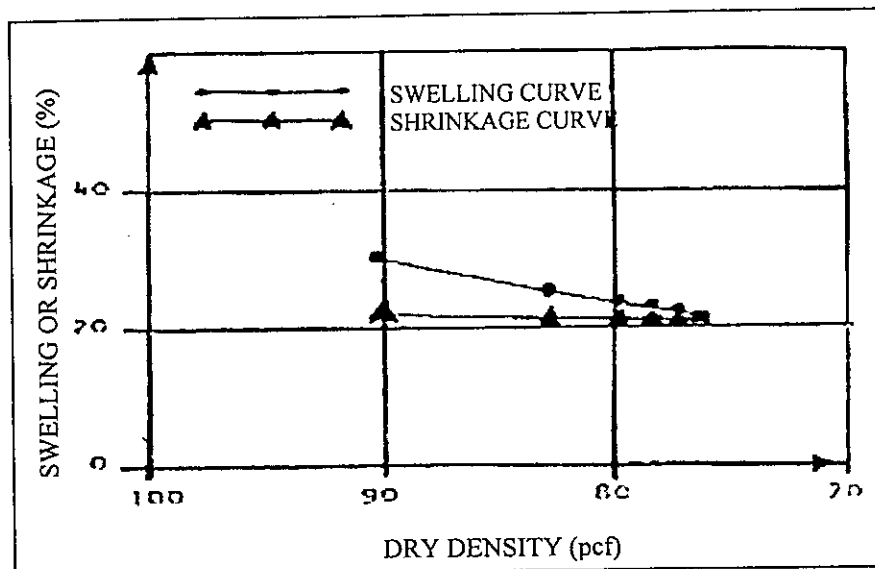
Chen (1975) yang pertama kali melakukan pengamatan perilaku tanah lempung ekspansif akibat siklus berulang. Pengamatan dilakukan di lapangan dan di laboratorium. Baik dari hasil pengujian lapangan terhadap lapisan timbunan tanah untuk persiapan bangunan jalan, maupun hasil uji laboratorium dengan uji mengembang *consolidometer* menunjukkan bahwa kemampuan potensi mengembang contoh tanah berkurang dengan bertambahnya siklus berulang basah kering. Pengurangan tersebut semakin kecil setelah melewati siklus ke lima.

Popescu (1980), mempelajari perilaku tanah ekspansif akibat siklus berulang basah kering dengan melihat kerusakan struktur bangunan yang timbul.

Hasilnya menunjukkan bahwa kualitas kerusakan semakin kecil dengan bertambahnya musim. Setelah melewati siklus ke lima kualitas kerusakan relatif sama dengan siklus sebelumnya. Hasil pengamatan Chen (1975) dan Popescu (1980) keduanya menunjukkan adanya kecenderungan pengurangan pengembangan partikel lempung dengan bertambahnya siklus basah kering, sebaliknya perilaku susut tidak berubah dengan bertambahnya siklus berulang. Keduanya menjelaskan fenomena ini dengan menggunakan konsep kepadatan kering kritis menurut Chen & Ma (1987), yaitu terdapatnya satu titik dimana nilai persentase mengembang sama dengan persentase susut. Titik ini disebut sebagai kepadatan kritis, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.19 dan Gambar 2.20.



Gambar 2.19 Pengaruh Kepadatan Kering Awal Pada Pengembangan dan Penyusutan Tanah (Chen, 1975).

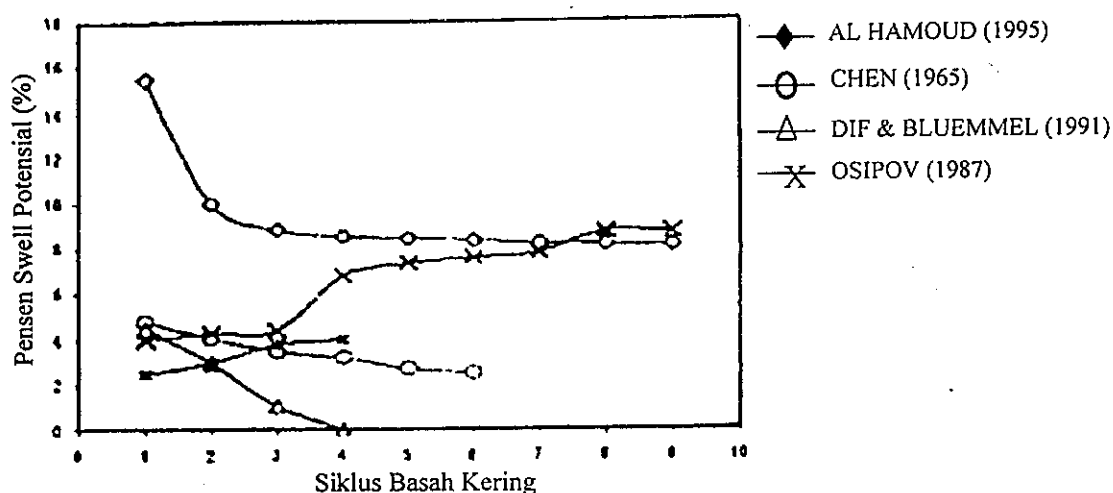


Gambar 2.20 Perilaku Pengembangan dan Penyusutan Tanah Lempung Akibat Siklus Basah Kering (Chen, 1975).

Perubahan potensi mengembang selama siklus berulang basah kering sangat dipengaruhi oleh kepadatan kering awal. Jika kepadatan kering awal tanah lebih besar daripada kepadatan kering kritis maka perilaku mengembang tanah akibat proses siklus berulang akan menurunkan kepadatan kering tanah pada kondisi kadar air yang sama, akibatnya terjadi penurunan potensi mengembang tanah pada siklus tersebut. Proses deduksi kepadatan ini akan berlangsung hingga tercapainya kepadatan kering kritis demikian juga kondisi sebaliknya. Bila kepadatan kering awal tanah lebih kecil daripada kepadatan kritis maka potensi mengembang akan bertambah hingga dicapai kepadatan kritis. Bila kepadatan awal tanah sama dengan kepadatan kritis maka tidak akan terjadi perubahan potensi mengembang pada siklus berulang.

Peneliti lain, Dif dan Bluemel (1991) sebagaimana yang dikutip Al. Hamoud et al (1995) mendapatkan hasil dan kesimpulan yang sama dengan hasil Chen (1975). Sedangkan Osipov (1987) sebagaimana yang dikutip Al. Hamoud et al (1995) dan Day (1994) mendapatkan hasil yang berbeda dengan Chen (1975),

keđuanya melakukan proses pengeringan pada contoh tanah yang disertai dengan terjadinya susut jauh dari kadar air awal mendekati batas susut akibatnya kecenderungan potensi mengembang pada siklus berulang akan meningkat. Fenomena ini membenarkan konsep kepadatan kering kritis Chen (1975). Hasil pengamatan dari beberapa peneliti terlihat pada Gambar 2.21.

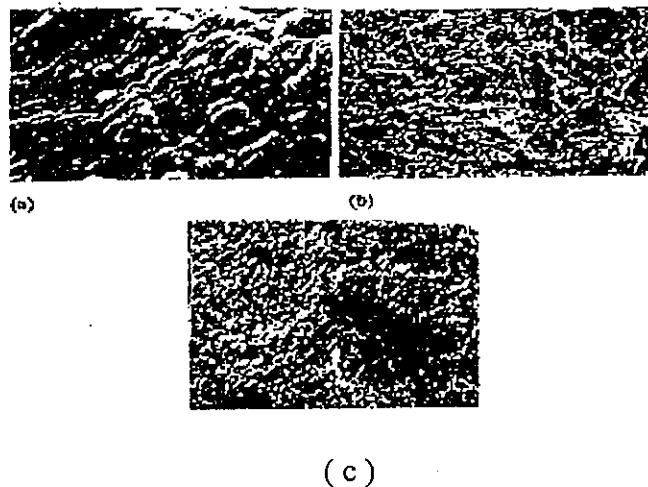


Gambar 2.21 Hasil Pengujian Potensi Mengembang Terhadap Siklus Berulang
Sejumlah Peneliti

Al Hamoud et al (1995), mengungkapkan bahwa ada gejala perubahan sifat *microstructural* dan sifat fisik material tanah lempung ekspansif selama siklus berulang basah kering setelah mereka melakukan pengamatan tambahan yaitu analisis *image* pada *microstructural* lempung dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan pengamatan terhadap sejumlah *properties* dasar tanah. Pengamatan tersebut merupakan pelengkap atas penelitian mereka mengenai pengaruh potensi mengembang terhadap siklus basah kering pada sejumlah contoh tanah lempung ekspansif dari daerah di Jordania. Mereka menyimpulkan bahwa:

1. Persentase dari tekanan mengembang berkurang dengan bertambahnya siklus berulang.

2. Penurunan terbesar terjadi pada siklus pertama dan penurunannya cenderung relatif kecil pada siklus ke-4 dan siklus ke-5.
3. Hasil SEM menunjukkan penurunan karakteristik mengembang akibat siklus berulang sebagaimana terjadinya perubahan struktur dari mikrostruktur lempung.



Gambar 2.22 Hasil Foto *Micro* Dari SEM

Dari Gambar (2.22) diperoleh keterangan sebagai berikut:

- Foto (a) : menunjukkan kondisi awal contoh, memiliki orientasi *fabric* berpola *turbulent* dengan derajat orientasi *micro* agregate rendah pada permukaannya.
- Foto (b) : orientasi elemen struktural relatif rendah akibat integrasi struktur selama proses *bedding* menghasilkan proses penyerapan air yang makin rendah sehingga kemampuan mengembang makin kecil. Foto (b) merupakan hasil siklus pertama.
- Foto (c) : menunjukkan hasil siklus ke-5, terlihat mikro struktur contoh tanah menjadi lebih beragam, menguatkan keyakinan bahwa semakin berkurangnya kemampuan menyerap air, ini berarti semakin turunnya kemampuan mengembang.

Dari hasil properti dasar tanah adalah terjadi penurunan pada plastisitas tanah dan kadar kandungan lempung setelah melewati sejumlah siklus berulang. Penurunan tersebut diakibatkan terjadinya agregasi partikel tanah sehingga terjadi penurunan nilai *specific surface* butiran. Akibatnya kemampuan menyerap air berkurang.

Subbarao & Satyadas (1987) menyebutkan akibat proses pengeringan tanah jenuh menyebabkan munculnya susut dan sementasi dari partikel-partikel. Fenomena ini dapat dilihat dari munculnya gaya tarik (*tension surface*) dari *meniscus* kapiler yang terbentuk antar individu-individu partikel. Jarak antar partikel yang kecil memunculkan tegangan kapiler yang cukup besar selama proses pengeringan. Memperbesar kemungkinan munculnya ikatan *Van der Waals* yang tak mudah lepas. Agregasi sejumlah partikel menurunkan luasan partikel yang berpengaruh dalam interaksi dengan air. Agregasi partikel inilah menyebabkan penurunan partikel lempung contoh tanah.

Sholikin (1999), mendapatkan hasil yang sama dengan peneliti yang terdahulu bahwa dari hasil pengamatan pengaruh siklus berulang basah kering pada tanah lempung Cikarang (Jawa Barat), penurunan persentase mengembang terjadi sangat drastis pada siklus pertama. Kejadian ini sangat jelas bahwa pada beban uji yang relatif ringan memberikan persentase mengembang lebih besar, sebaliknya persentase mengembang akan lebih kecil bila beban yang bekerja pada benda uji relatif besar.

Soemitro. et al (2001), melakukan penelitian di laboratorium untuk mengetahui pengaruh siklus pengeringan pembasahan berulang tanah lempung ekspansif natural yang diambil disekitar daerah Surabaya, terhadap perubahan volume, tegangan air pori negatif, dan kekuatan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengulangan siklus pengeringan pembasahan mengurangi perubahan volume, tegangan air pori negatif, dan kekuatan tanah. Menambah jumlah siklus akan memperkecil kadar pori, kekuatan tanah dan modulus regangan-tegangan. Kondisi

seimbang didapat sesudah siklus keempat ditandai dengan tidak ada penurunan kekuatan tanah sesudah siklus keempat.

2.11.2 Perilaku Geser Akibat Siklus Berulang

Pengaruh air terhadap tanah dapat berupa proses larutan, proses hydrolysis, dan proses dekomposisi unsur-unsur tanah. Dari beberapa pengamatan yang telah dilakukan menyimpulkan bahwa proses siklus basah kering pada partikel tanah dapat menimbulkan penyatuan butiran-butiran tanah menjadi ukuran yang besar. Sebaliknya juga bisa terjadi proses penguraian butiran tanah menjadi butiran yang lebih kecil. Faktor yang berpengaruh pada proses tersebut diantaranya adalah distribusi partikel tanah, kadar kandungan lempung, jenis mineral lempung, kondisi lingkungan, dan adanya pelarutan unsur pembentuk tanah seperti unsur dekomposisi organik dan unsur sementasi organik.

Sementasi partikel tanah lempung banyak disebabkan oleh proses kimiawi dari sejumlah unsur yang cukup dominan dalam tanah terbentuk dari hasil ikatan antar partikel secara kovalen (Ingles, 1972). Ikatan ini memunculkan potensi kekuatan pada tanah setelah mencapai sejumlah siklus berulang basah kering.

Hasil percobaan geser *triaxial* (Cu) yang dilakukan pada contoh tanah lempung Cikarang menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat geser (Cu) setelah melewati perulangan siklus basah kering (As'ad Sholikin, 1999). Peningkatan kekuatan tampak nyata setelah melewati siklus ke-7. Sementara hasil percobaan pada contoh yang sama dengan metode UCS tidak menunjukkan konsistensi keteraturan grafik.

2.11.3 Pengaruh Penambahan Bahan *Additive* Kapur

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari penambahan bahan *additive*, selain ketepatan dalam menentukan *jumlah* bahan *additive* juga dipengaruhi oleh metode *perawatan* yang diberikan selama dari proses pencampuran, pemadatan sampai proses pengujian.

Ingles & Metcalf (1982), 6% sampai 10% penambahan kapur sebagai bahan additive memberikan nilai ekonomis pada tanah *silty clay*, nilai kuat geser akan meningkat setelah mencapai 3 hari masa pemeraman. Pengaruh keterlambatan dari proses pencampuran ke pemadatan tidak begitu besar pengaruhnya terhadap penurunan *dry density* sebagaimana kalau menggunakan semen (nilai *dry density* turun sekitar 5% selama 2 jam terlambat).

Adi Prasetijo (1991), melakukan pengukuran kekuatan mengembang pada tingkat kepadatan dan kadar air yang berbeda, dengan hasil sebagai berikut: penambahan kapur 5% pada tanah lempung Cepu-Bojonegoro, Ngawi-Caruban memberikan pengaruh yang berarti pada *properties* dan kekuatan tanah lempung, yaitu meningkatnya nilai CBR dan OMC sebaliknya terjadi penurunan pada nilai berat volume kering, *swelling* potensial, dan nilai plastisitas indeks.

Efek penambahan kapur hidup (*Quick Lime*) pada sifat tanah-tanah ekspansif LIPPO-Cikarang dengan campuran *Quick Lime* sebesar 8% memberikan hasil paling optimal untuk memperbaiki *properties* dan kekuatan tanah (Desta, Suud 1999), hasil tersebut sama dengan yang dilakukan Adi Prasetijo (1991). Dari penelitian ini diperoleh waktu tunda selama dua jam antara pencampuran dan pelaksanaan pemadatan, masih dapat digunakan.

Sam.Frydman et al (1997), melakukan studi tentang efek *potassium clorid* (KCl) pada *engineering properties* tanah lempung Israel. Dengan menambah KCl sebagai larutan garam netral memberikan efek penurunan yang pasti pada *activity* dan mengubah secara nyata struktur mineral lempung Israel. Kondisi tersebut disebabkan meningkatnya konsentrasi elektrolit sehingga mengakibatkan penurunan ketebalan *diffuse double layer* pada tepi partikel lempung. Yang pada gilirannya meningkatkan gaya tarik menarik *Van der Walls* yang terjadi antar partikel.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

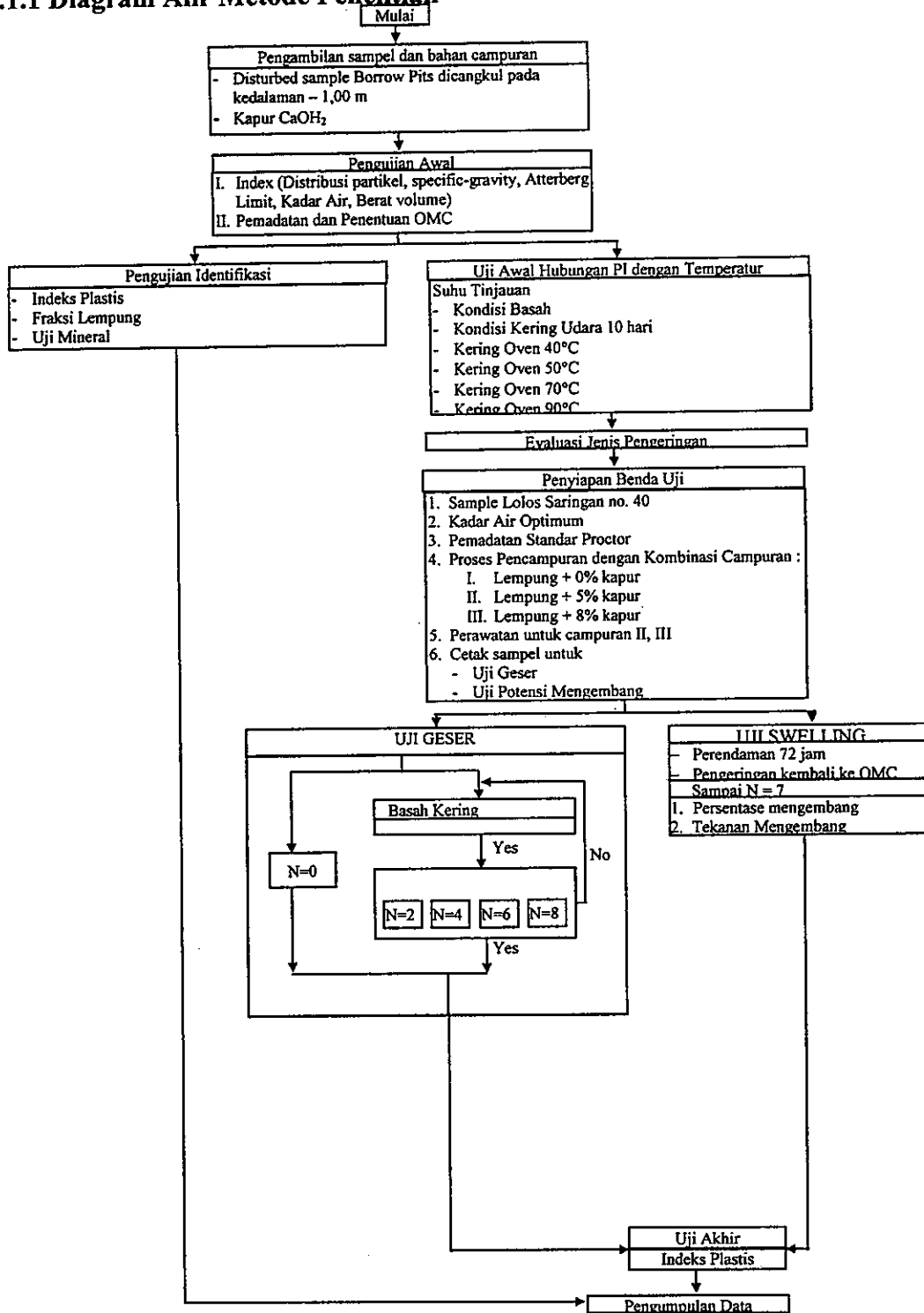
3.1 Langkah Umum Penelitian

Penelitian ini dibagi dalam enam tahap pekerjaan dengan urutan sebagai berikut:

- pengambilan contoh tanah uji dan bahan campuran
- prosedur test dan kombinasi campuran
- pengujian indeks dan identifikasi
- pengujian pendahuluan siklus basah kering
- pengujian potensi mengembang akibat siklus basah kering
- pengujian kuat geser akibat siklus basah kering.

Kegiatan tersebut diatas dikerjakan sebagai kegiatan berurutan dan memiliki ketergantungan dari kelompok sebelumnya, kecuali dua kelompok terakhir yang dilakukan secara bersamaan. Pelaksanaan penelitian dikerjakan di lapangan (*in situ*) dan di laboratorium. Dengan lokasi pengambilan *sample* tanah di ruas jalan Godong-Purwodadi sekitar Km.49 (Lokasi pengambilan sampel sebagaimana terlampir pada lampiran A) dan laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro sebagai laboratorium penelitian. Proses kegiatan pengujian seperti yang dijelaskan dalam *Diagram Alir Metode Penelitian* (Gambar 3.1), sedangkan tahapan kegiatan yang dilakukan untuk penyelesaian tesis dengan judul *Studi Potensi Mengembang dan Kuat Geser tanah Lempung Expansive dengan dan tanpa Kapur Akibat Siklus Berulang Basah-Kering*, sebagaimana terlihat pada lampiran A terlampir.

3.1.1 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.2 Pengambilan Contoh Tanah Uji dan Bahan Campuran

Tanah yang diambil merupakan contoh tanah terganggu (*disturbed sample*) dari hasil *borrow-pits* pada kedalaman 1 m dari muka tanah setempat. Pada saat pengambilan *sample* sedapat mungkin dicatat mengenai jenis tanah, warna tanah, kondisi tanah, dan tinggi muka air tanah. Contoh selanjutnya dikeringkan dengan proses kering udara untuk persiapan pekerjaan berikutnya.

Bahan campuran menggunakan kapur jenis *Hydrated Lime* (CaOH_2) dengan pertimbangan mudah diperoleh, murah, dan tidak menimbulkan iritasi dalam pelaksanaan. Proses pencampuran kapur dalam bentuk serbuk-kering dengan jumlah kapur dalam persentase berat kering tanah.

3.3 Prosedur Test dan Kombinasi Campuran

3.3.1 Prosedur Test

Semua test yang dilakukan mengacu pada *procedure test standard* dari ASTM (*American Society for Testing Materials*). Sedangkan untuk test mineral tanah dan kimia tanah diselidiki di laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral Bandung.

3.3.2 Kombinasi Campuran dan Pembuatan Benda -Uji

Material uji yang digunakan dalam penelitian ini merupakan campuran tanah lempung Godong-Purwodadi dengan kapur jenis *hydrated lime* (CaOH_2). Menurut Chen (1975), persentase berat campuran kapur paling efektif berkisar 5% sampai 8%. Dalam penelitian ini dibuat tiga jenis campuran dengan persentase sebagai berikut:

- Campuran I terdiri dari lempung + 0% kapur.
- Campuran II terdiri dari lempung + 5% kapur.
- Campuran III terdiri dari lempung + 8% kapur.

Pencampuran dilakukan pada kadar air optimum (OMC) *Standard Proctor* (ASTM-D-689-91) yang diperoleh dari contoh lempung *disturbed*.

Dalam penelitian ini dibuat 7 macam jenis benda uji dengan variasi jumlah kapur dan lama waktu pemeraman 3 dan 7 hari, dengan pemberian kode sampel sebagaimana pada Tabel 3.1 dibawah.

Tabel 3.1. Pengkodean Benda-Uji

No	Kode	Diskripsi
1	0% - 0H	0% kapur masa peram 0 hari
2	5% - 0H	5% kapur masa peram 0 hari
3	5% - 3H	5% kapur masa peram 3 hari
4	5% - 7H	5% kapur masa peram 7 hari
5	8% - 0H	8% kapur masa peram 0 hari
6	8% - 3H	8% kapur masa peram 3 hari
7	8% - 7H	8% kapur masa peram 7 hari

3.4 Pengujian Indeks dan Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Tiga jenis material uji yang telah dipersiapkan selanjutnya diuji dengan macam pengujian meliputi antara lain:

- Uji distribusi butiran atau *Hydrometer* (ASTM-D-422-90).
- Uji batas konsistensi *Atterberg Limit* (ASTM-D-4318-95).
- Uji *Specific Gravity* (ASTM-D-854-92).
- Uji kadar air dan berat volume (ASTM-D-2216-92).
- Uji kepadatan kering (ASTM-D-689-91).
- Uji *X-Ray Diffraction*.

Semua hasil pengujian diatas digunakan untuk identifikasi material uji. Hubungan antar jenis pengujian, parameter, dan metode klasifikasi disajikan dalam Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Hubungan Antar Jenis Pengujian, Parameter, dan Metode Klasifikasi.

No	Metode	Parameter	Keterangan
1.	Mineral Lempung	Kandungan mineral lempung: <i>kaolinit</i> , <i>illit</i> , dan <i>montmorillonit</i> .	Montmorillonit sebagai indikator utama
2	Indeks tunggal	Plastisitas indeks	Chen, Seed, Lundgren, Woodward.
3	Indeks tunggal	Batas susut	Altmeyer
4	Klasifikasi	Plastisitas indeks Batas susut Kadar lempung	Holts dan Gibbs

3.5 Pengujian Pendahuluan Persiapan Siklus Basah Kering

3.5.1 Penentuan Kadar Air Optimum

OMC diperoleh dari satu seri pengujian kepadatan *Standard Proctor* (ASTM-D-689-91) yang terdiri dari lima contoh tanah dengan kadar air berbeda akan diperoleh sebanyak lima buah pasangan nilai berat volume kering dan porositas. Selanjutnya dibuat grafik hubungan kadar air dengan berat volume kering dan kadar air dengan porositas. OMC didapat dari besarnya kadar air yang memberikan nilai porositas dan berat volume kering yang paling ekstrim. Yaitu dengan cara menarik garis tegak lurus dari sumbu kadar air ke titik-titik ekstrim kedua kurva.

Kadar air optimum yang dicari adalah OMC tanah lempung, yang nantinya dipergunakan untuk membuat kombinasi campuran I, campuran II, dan campuran III.

3.5.2 Pengujian Hubungan Indeks Plastisitas Dengan Temperatur

Dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran metode pengeringan yang akan dipakai pada siklus basah kering. Bila terjadi distorsi nilai plastisitas indeks contoh material uji dari pemanasan buatan dengan pemanasan kering udara maka akan

digunakan pemanasan kering udara karena mendekati kondisi pemanasan yang sebenarnya. Ada enam kondisi temperatur contoh tanah yang dipilih untuk mendapatkan hubungan antara plastisitas indeks dengan temperatur yaitu pemanasan kering udara selama 10 hari. Kondisi pemanasan oven 40°C, 50°C, 70°C, 90°C, dan 110°C. Dari masing-masing kondisi pemanasan tersebut dilakukan uji *Atterberg limit*.

3.5.3 Metode Pembasahan dan Pengeringan

Batasan *satu siklus basah kering* adalah, bilamana sampel uji telah melalui proses pembasahan dari kondisi OMC – perendaman selama 3 hari, kemudian dilanjutkan proses pengeringan dari kondisi rendaman 3 hari – kembali ke kondisi awal OMC.

3.6 Pengujian Potensi Mengembang *Versus* Siklus Basah Kering

3.6.1 Penyiapan Benda Uji

Contoh uji adalah tanah yang telah melalui proses pencampuran dan selanjutnya dipadatkan pada kondisi kadar air optimum tanah lempung (yang diperoleh dari hasil pengujian pendahuluan), pemadatan dengan menggunakan *Standard Proctor* (ASTM.D-698-91). Contoh tanah dicetak dalam *consolidometer ring* dengan diameter dan tebal contoh tanah diukur menggunakan jangka sorong selanjutnya ditimbang untuk mengetahui berat awal contoh tanah. Kemudian setelah itu dilapisi kertas saring pada permukaan atas dan bawahnya untuk menghindari supaya butiran tanah tidak terbawa air selama proses pengujian.

Jumlah benda uji pada setiap jenis masing-masing dibuat 4 buah , sehingga total ada 28 buah untuk uji potensi mengembang. Pada benda uji yang dibuat dari material campuran II dan III sebelum dilakukan pengujian perlu diperam terlebih dahulu, dengan waktu pemeraman selama 0 , 3 dan 7 hari.

3.6.2 Pengujian Persentase Mengembang

Pada pengujian persentase mengembang menggunakan empat variasi beban konstan masing-masing adalah:

- a. Beban konstan 9.14 kPa.
- b. Beban konstan 17.01 kPa.
- c. Beban konstan 32.74 kPa.
- d. Beban konstan 40,59 kPa.

Empat contoh tanah yang telah dipersiapkan sebagaimana dalam penyiapan uji contoh dimasukkan dalam *consolidometer*, beban diberikan pada lengan *consolidometer* sesuai kondisi (a, b, c, dan d) diatas. Beban tambahan sebagai *seating pressure* sebesar 20 kPa ditambahkan selama 5 menit kemudian baca *dial* perubahan volume. Setelah *seating pressure* dilepas, *consolidometer* diisi air hingga contoh tanah menjadi basah dan mengembang. Pembacaan *dial swelling* dilakukan selama 3 x 24 jam sampai tahap ini satu siklus pengamatan terhadap kondisi (a), (b) dan (c) telah selesai.

Sedangkan untuk kondisi (d) pengamatan berlanjut pada tekanan pengembangan sebagaimana metode B seperti yang telah diuraikan dalam studi pustaka mengenai metode pengukuran tekanan mengembang.

3.6.3 Pengujian Tekanan Mengembang

Pengujian tekanan mengembang menggunakan metode B (ASTM.D-4546-90) atau sering disebut *loaded swell test*.

Pemilihan metode ini dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Sebagaimana direkomendasikan dalam ASTM, metode ini dapat dipergunakan untuk mengestimasi besarnya *heave* yang terjadi di lapangan. Untuk mendapatkan perkiraan *heave* lapangan yang akurat dan aman, perlu mengetahui berapa besar *heave* laboratorium yang terjadi pada berbagai variasi beban rencana. Karena penggunaan beban tetap di laboratorium, dapat secara fleksibel disesuaikan dengan kebutuhan.

2. Besarnya beban tetap yang akan dipergunakan, dapat disesuaikan dengan besarnya *over burden pressure* yang terjadi dilapangan ditambah beban-beban berguna lainnya seperti *pavement* sebagaimana yang direncanakan.

Pengujian ini merupakan lanjutan dari uji persentase mengembang setelah pengembangan maksimum dicapai pada beban konstan 40,59 kPa. 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. Besarnya penambahan beban-beban tersebut pada setiap tahap maksimum 2 kali beban sebelumnya. Besarnya tekanan mengembang didapat dari *plotting* angka pori (e) *versus* beban.

3.6.4 Pengeringan dan Kontrol Kadar Air

Contoh tanah yang telah selesai diuji selanjutnya ditimbang untuk diperiksa perubahan kadar airnya, contoh kemudian dikeringkan dengan proses pengeringan udara sampai kadar air sama dengan kadar air awal. Kontrol kadar air dilakukan masing-masing setelah 24 jam, 48 jam, dan setiap 4 jam pada hari ketiga. Kontrol kadar air dilakukan dengan cara membandingkan selisih berat contoh setelah melewati proses mengembang dengan berat contoh sebelum proses mengembang.

Bila kadar air contoh kembali sama dengan kadar air awal berarti contoh tanah telah mengalami satu siklus basah kering. Selanjutnya contoh tanah siap untuk pengujian potensi mengembang siklus berikutnya.

3.7 Pengujian Kuat Geser *Versus* Siklus Basah Kering

Pengujian kuat geser menggunakan *Unconfined Compressive Strength* dan *Direct Shear Test*, masing-masing dengan jumlah siklus pengamatan 0, 2, 4, 6 dan 8 kali. Jumlah benda uji pada setiap pengujian dibutuhkan 2 buah contoh uji untuk UCS dan 3 buah contoh uji untuk satu paket pengujian *Direct Shear Test*. Sehingga jumlah benda uji geser ada 175 buah dengan rincian sebagai berikut :

Untuk UCS sebanyak : 5 (siklus) x 7 (jenis) x 2 (jumlah benda uji)

Direct Shear Test : 5 (siklus) x 7 (jenis) x 3 (jumlah benda uji)

3.7.1 Penyiapan Benda Uji

Sama seperti uji potensi mengembang, contoh uji juga merupakan tanah yang telah dicampur dan dipadatkan pada kondisi kadar air optimum tanah lempung dengan menggunakan pemadatan *Standard Proctor* (ASTM-D-698-91). Contoh tanah selanjutnya dicetak dalam mold sesuai kebutuhan uji UCS yaitu tinggi 8,6 cm dan diameter 3,6 cm sedangkan pada uji *Direct Shear Test* mempunyai diameter 6,35 cm dan tinggi 1,75 cm. Untuk kombinasi campuran II dan III perlu perawatan terlebih dahulu sebelum pengujian seperti pada tes potensi mengembang lihat sub bab 3.6.1. Dengan waktu pemeraman contoh tanah selama 0, 3 dan 7 hari.

3.7.2 Perendaman, Pengeringan, dan Kontrol Kadar Air

Benda uji yang telah dicetak sesuai dimensi *standard* ukuran benda uji dimasukkan ke dalam silinder, perendaman yang dilapisi batu pori dan kertas filter pada permukaan atas dan bawahnya selanjutnya benda uji tersebut ditimbang untuk diketahui berat awalnya. Benda uji dimasukkan dalam air agar mengembang, setelah 3 x 24 jam perendaman, benda uji ditimbang lagi untuk kontrol kadar air. Tahap selanjutnya benda uji dikeringkan pada udara terbuka, kontrol kadar air dilakukan setiap 24 jam pada tiga hari pertama dan 4 jam sekali pada dua hari berikutnya.

Bila kadar air contoh tanah sudah mencapai kadar air awal, contoh tanah telah mengalami satu siklus basah kering. Proses ini dilakukan berulang sesuai dengan kebutuhan jumlah siklus yang diinginkan.

3.7.3 Pengujian Geser *Unconfined Compressive Strength* (UCS) ASTM-D-2166-

91

Contoh tanah yang sudah siap (sudah melewati proses siklus basah kering) diletakkan pada uji alat UCS untuk selanjutnya dilakukan pengujian tekan dengan kecepatan *Strain-Rate* konstan sebesar 0,5% per menit, pembacaan uji UCS dilakukan dalam menit-menit dimana tercapai regangan 1, 2, 3, 4, 5 % begitu seterusnya sampai terjadi keruntuhan pada contoh tanah. Hasil pembacaan beban dan deformasi selanjutnya diplot dalam grafik satu seri pengujian yang terdiri dari dua contoh benda uji sehingga diperoleh dua grafik hubungan regangan dan tegangan yang selanjutnya dapat ditentukan nilai kuat geser (S_u) tanah.

Benda uji dianggap runtuh pada kondisi :

1. Pembacaan dial lebih kecil dibanding pembacaan sebelumnya
2. Pembacaan dial berturut-turut selama tiga kali pada nilai yang sama.
3. Pembacaan dial sudah mencapai pada *strain* sebesar 20%.

3.7.4 Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*) ASTM-D-3080-91

Sama seperti pada uji UCS, contoh tanah yang sudah siap masing-masing dari 3 contoh uji diberi beban normal yang berbeda yaitu berturut-turut 10, 15, dan 20 Kg selanjutnya dilakukan pergeseran dengan kecepatan *Strain-Rate* sebesar 0,5% per menit.

Pembacaan uji *Direct Shear Test* sama seperti pada uji UCS, yaitu dicatat besarnya *stress* pada setiap pencapaian regangan 1, 2, 3, 4, 5 % seterusnya sampai terjadi keruntuhan pada contoh uji, baik pada beban normal 10, 15 dan 20 kg. Batasan keruntuhan contoh uji *Direct Shear Test* sama seperti uji UCS. Hasil pengujian akan diperoleh 3 grafik hubungan tegangan geser dan regangan dan 1 grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser, sehingga dapat diketahui nilai kohesi c dan sudut geser dalam tanah ϕ .

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

4.1 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif dan Uji Indeks Tanah

4.1.1 Uji Mineral Lempung

Pada pengujian mineral lempung melalui *X-Ray Diffraction* diperoleh kandungan mineral lempung sebagaimana terlihat dalam Tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1. Hasil Uji Mineral Dan Analisa Kimia

Komponen mineral	% kandungan	Komponen Kimia	% kandungan
- <i>Montmorillonit</i>	29.66 %	- SiO ₂	40,5 %
- <i>Halloysite</i>	38.57 %	- Al ₂ O ₃	16,98 %
- <i>Calcite</i>	12.38 %	- Fe ₂ O ₃ ; CaO ; MgO	(4 – 10,5) %
- <i>Feldspar</i>	7.03 %	- TiO ₂ ; Na ₂ O ; K ₂ O	< 1 %
- <i>Alpha Quartz</i>	11.34 %		

Hasil selengkapnya mengenai pengujian mineral dan analisa kimia lempung dapat dilihat pada Lampiran A. Ditemukan adanya mineral *monmorillonite* , kandungan yang cukup tersebut memberi keyakinan bahwa contoh tanah lempung yang diuji adalah termasuk dalam kategori tanah lempung ekspansif.

4.1.2 Uji Indeks Tanah

Dari uji indeks tanah diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Hasil Uji Indeks Tanah

Indeks Tanah	Satuan	Sampel Uji		
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
- Kedalaman	m	(0,20 – 0,50)	(0,50 – 0,80)	(0,80 – 1,00)
- Spesifik gravity	(Gs)	2,6234	2,5827	2,5812
- Berat Volume	gr/cm ³	1,6799	1,6084	1,6454

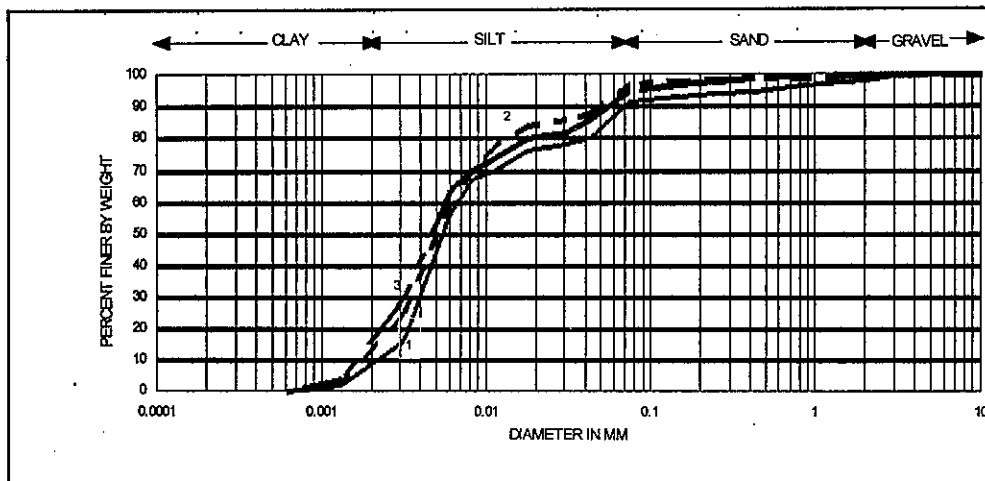
Tabel 4.2 (Lanjutan)

- Batas Cair (LL)	%	76,80	80,35	87,00
- Batas Plastis (PL)	%	30,95	32,43	27,03
- Batas Susut (SL)	%	15,1	14,75	10,42
- Indeks Plastis (PI)	%	45,85	47,92	59,97
- Susut Linier (Ls)	%	24,61	24,56	26,43
- Fraksi Lempung (C)	%	9	15	17,50

Hasil uji indeks tanah selengkapnya sebagaimana terlampir pada Lampiran B.

Dari hasil uji indeks tanah menunjukkan bahwa sampai dengan kedalaman satu meter jenis tanah relatif sama, dimana nilai batas konsistensi yang diperoleh dari ke ketiga sampel hasilnya tidak berbeda jauh .

Sedang dari uji Hydrometer dan analisa saringan diperoleh distribusi contoh tanah sebagaimana disajikan dalam Gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1. Distribusi Butiran hasil uji Hydrometer dan Analisa Saringan
M. I. T. Classification

Dari hasil uji Hydrometer dan analisa saringan menunjukkan bahwa sampel uji mempunyai distribusi ukuran butir relatif sama untuk ketiga sampel uji, dengan komposisi gravel 11%, sand 4%, silt 80% dan clay 15%.

Selanjutnya identifikasi tanah lempung ekspansif dilakukan dengan menggunakan sejumlah metode sebagaimana dapat dilihat dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Metode Indeks Tunggal dan Metode Klasifikasi.

Metode Indeks Tunggal			
I Chen. 1975	Hubungan PI dengan Potensi Mengembang		
	PI	Potensi Mengembang	
	0 - 15	Rendah	
	10 - 35	Sedang	
	20 - 55	Tinggi	
	35 ke atas	Sangat tinggi	
Acuan	: 45.85% sampai dengan 59.97%		
Kesimpulan	: Potensi mengembang sangat tinggi		
II Seed et al 1962	$S = 60.K*PI^{2.44}$		
	$K = 3.66 * 10^{-5}$		
	Acuan	: $PI=45,85\%$ sampai dengan $PI=59.97\%$	
Kesimpulan	: Potensi Mengembang $S = 24,44\%$ sampai dengan $S = 47,05\%$		
III Altmeyer 1955	Hubungan derajat Swell , SL dan Ls		
	SL %	Ls%	Derajat mengembang
	< 10	> 8	Kritis
	10 - 12	5 - 8	Sedang
	>12	0 - 5	Tidak Kritis
	Acuan	: $SL = (10,42 - 15,1)\%$, $Ls = (24,61 - 26,43)\%$.	
Kesimpulan	: Derajat mengembang tergolong sedang sampai kritis.		

Tabel 4.3.(Lanjutan)

Metode Klasifikasi				
I. Cara USBR oleh Holtz dan Gibb 1956				
Kandungan Koloid (C)	PI	SL	% tot.Vol.Change	Derajat Mengembang
> 28	>35	<11	>30	Sangat tinggi
28 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Sedang
<15	<18	>15	<10	Rendah
Acuan	: C = (9 - 17,5)%	PI = (45,85 - 59,97)%	SL = (10,42 - 15,1)%	
Kesimpulan	: Kemungkinan Mengembang = 20 sampai 30 %. Derajat Pengembangan sedang sampai tinggi.			
II Activity Method (A)				
Skempton 1953	$A = PI / C - 10$	$A < 0.75$		Tidak Aktif
		$0.75 < A < 1,25$		Normal
		$A > 1.25$		Aktif
Acuan	: PI = (45,85 – 60,47) %	C = (9 - 17,5) %		
Kesimpulan	: A = 8,06 sampai 22,92. Tanah tersebut termasuk aktif.			

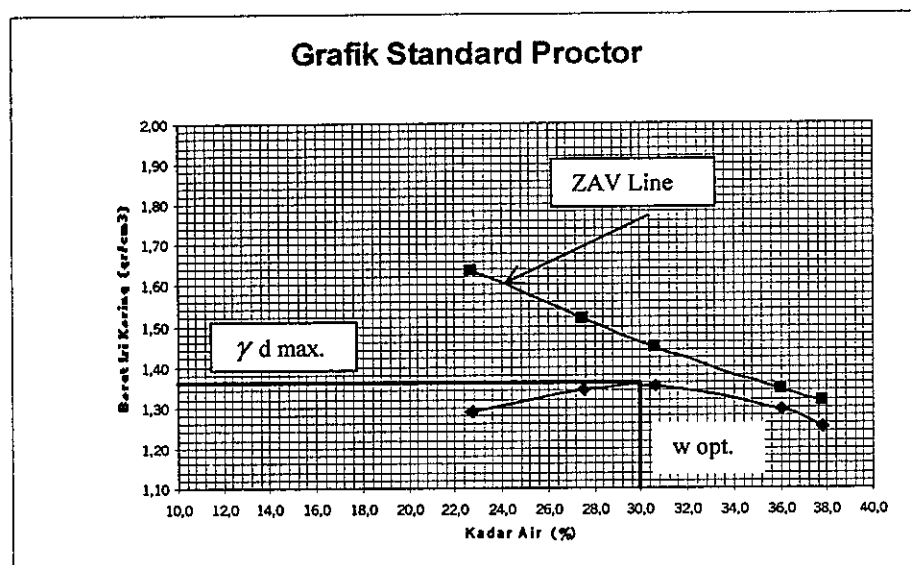
Rangkuman dari hasil uji identifikasi tanah lempung ekspansif tersebut disimpulkan, bahwa tanah lempung yang diuji adalah positif tergolong jenis tanah lempung ekspansif atau memiliki potensi mengembang tinggi, dengan indikasi nilai $PI > 35\%$, $L_s > 10\%$ dan $A > 1,25$ dengan kandungan mineral *Montmorillonit* sebesar 29,60 %.

4.2 Uji Pendahuluan Persiapan Siklus Basah Kering

4.2.1 Penentuan Kadar Air Optimum

Kadar air Optimum diperlukan untuk pembuatan benda uji terhadap setiap uji potensi mengembang dan uji geser. Kadar air optimum ini diperoleh dari plot

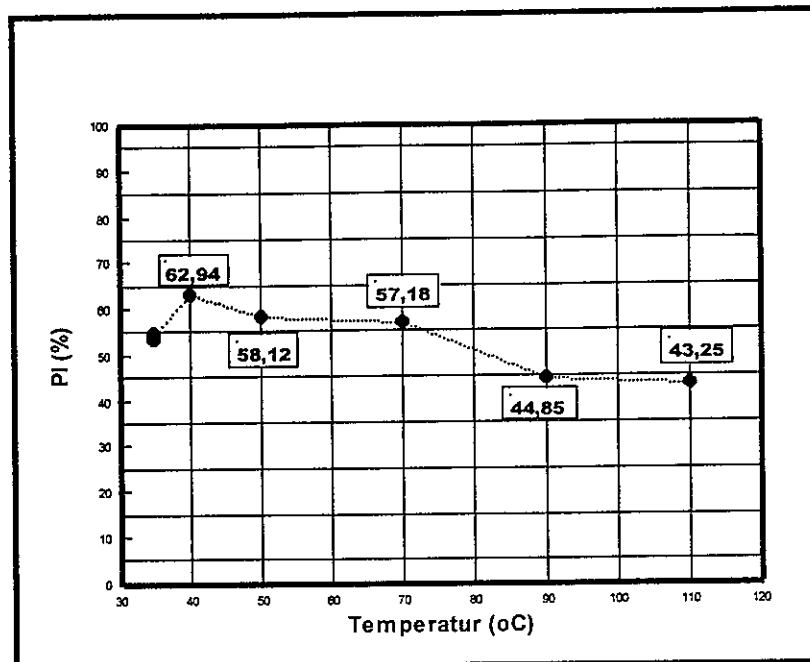
hubungan kadar air (w) dengan kepadatan kering tanah lempung yang telah dipadatkan dengan menggunakan Standard-Proctor ASTM-D-689. Besarnya kadar air Optimum sebesar 30%, sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.2. (Perhitungan W_{opt} dan *dry density maximum* dapat dilihat pada Lampiran B).



Gambar 4.2. Penentuan Kadar Air Optimum

4.2.2 Hubungan Temperatur dan Indeks Properties

Pengaruh temperatur pemanasan contoh tanah terhadap nilai Indeks Plastisitas tanah disajikan dalam Gambar 4.3 dengan hasil perhitungan Indeks Plastisitas PI sebagaimana terlampir pada Lampiran B. Temperatur pemanasan contoh tanah dipilih dengan pemanasan oven 40° C, 50° C, 70° C, 90° C, 110° C dan pemanasan kering udara selama 5 dan 10 hari, dan tercatat temperatur ruangan pada rentang waktu pengujian berkisar antara 30° C sampai 35° C.



Gambar 4.3. Grafik hubungan Temperatur dengan PI

Hasil pengamatan dapat disimpulkan :

- Indeks Plastisitas contoh tanah uji akan berkurang dengan bertambahnya temperatur pengeringan.
- Metode pengeringan udara akan dipergunakan untuk mengeringkan benda uji selama proses siklus berulang basah-kering.
- Usaha mempercepat proses pengeringan menggunakan oven sebaiknya tidak dilakukan, karena terbukti bahwa temperatur pemanasan mempengaruhi nilai PI . Sehingga dengan adanya perubahan nilai PI akan berakibat pula pada perubahan nilai potensi mengembang tanah

Mengingat terbatasnya waktu serta ukuran benda uji geser mempunyai ukuran relatif lebih besar dibanding dengan benda uji untuk uji potensi mengembang, pengeringan dengan menggunakan oven pada temperatur $\leq 30^{\circ}\text{C}$ masih bisa

dipertimbangkan. Adapun untuk uji potensi mengembang tetap menggunakan pengeringan udara.

4.2.3 Uji Properties Material Uji

Benda uji merupakan material lempung yang dicampur dengan kapur mati Ca(OH)_2 , dimana kapur yang digunakan harus lolos saringan no 40 serta mempunyai *water content* mendekati nol. Jumlah kapur yang digunakan bervariasi sebesar 0%, 5% dan 8% dari berat tanah kering. Jumlah dan jenis benda uji pada masing-masing test seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel.4.4 Jumlah dan jenis benda uji pada masing-masing test.

N O	Kode Sample	Jumlah Siklus	Jumlah Benda Uji dan Jenis Test			Keterangan
			<i>Swell Potensial</i>	UCS	DST	
			A	B	C	
1	0% - 0H	0	1	2	3	pengujian A sampai siklus 7
		2		2	3	
		4		2	3	
		6		2	3	
		7		-	-	
		8		2	3	
		2		5% - 0H	0	
2	2	3				
4	2	3				
6	2	3				
8	2	3				
3	5% - 3H	0	1	2	3	pengujian A sampai siklus 4
		2		2	3	
		4		2	3	
		6		2	3	
		8		2	3	
4	5% - 7H	0	1	2	3	pengujian A sampai siklus 5
		2		2	3	
		4		2	3	
		5		-	-	
		6		2	3	
		8		2	3	

Tabel 4.4.(Lanjutan)

5	8%-0H	0	1	2	3	pengujian A sampai siklus 4
		2		2	3	
		4		2	3	
		6		2	3	
		8		2	3	
6	8%-3H	0	1	2	3	pengujian A sampai siklus 4
		2		2	3	
		4		2	3	
		6		2	3	
		8		2	3	
7	8%-7H	0	1	2	3	pengujian A sampai siklus 4
		2		2	3	
		4		2	3	
		6		2	3	
		8		2	3	

Hasil properties material uji meliputi Specific Gravity, bata-batas konsistensi Atterberg dan Gradasi butiran sebagaimana terlihat dalam Tabel 4.5.

Tabel.4.5. Nilai Uji Properties Material Uji.

N	Jenis Material Uji	UJI PROPERTIS					MIT Classifications			
		Specific Gravity	Nilai Dalam %				Nilai Dalam %			
			LL	PL	PI-	SL	Gravel	Sand	Silt	Clay
1	0% - 0H	2,6023	76,8 - 87,5	27,03 - 32,43	45,85 - 59,97	10,42 - 15,10	1,0	8,0	76,0	15,0
2	5% - 0H	2,5786	52,85	36,43	16,42	21,20	2,0	33,0	65,0	
3	5% - 3H	2,5881	63,25	40,31	22,94	21,31	1,2	11,4	87,4	
4	5% - 7H	2,5554	51,35	35,96	15,39	38,11	1,4	52,8	45,8	

Tabel 4.5. (Lanjutan).

5	8%-0H	2,6229	42,85	36,43	6,42	27,51	2,2	47,2	50,6	
6	8%-3H	2,5898	50,00	39,92	10,08	29,38	1,2	54,2	44,6	
7	8%-7H	2,5238	52,00	42,22	9,78	32,32	1,2	62,8	36,0	

Nilai tersebut diatas merupakan rangkuman hasil pengujian Laboratorium dimana hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.

Hasil uji properties pada material uji menunjukkan bahwa :

- Penambahan kapur pada tanah lempung memberikan pengaruh pada peningkatan ukuran butiran, dengan ditengarai hilangnya fraksi lempung pada hasil tes analisa butir. Tanah menjadi tidak plastis lagi dimana terjadi penurunan pada nilai Plastisitas Indeks yang cukup besar dan sebaliknya nilai Shrinkage justru naik.
- Peningkatan nilai SI sebanding dengan meningkatnya jumlah kapur yang digunakan.

4.3 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Siklus Berulang Basah Kering

Pengamatan dilakukan terhadap 4 kondisi pembebanan konstan, yaitu :

- a. Beban 9,14 KPa.
- b. Beban 17,01 KPa.
- c. Beban 32,74 KPa.
- d. Beban 40,59 KPa (sebagai bagian dari metode B ASTM).

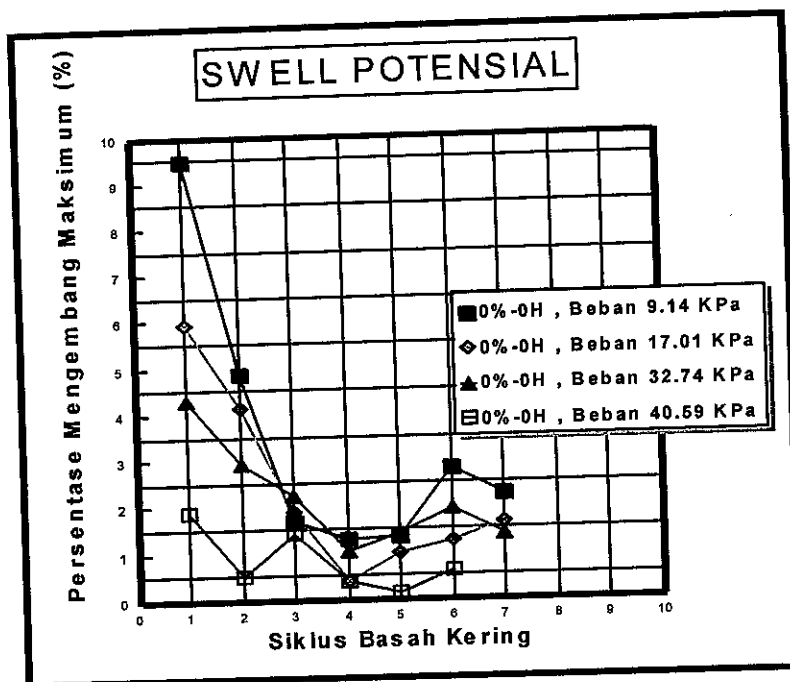
Pembebanan ini berlaku untuk semua jenis benda uji potensi mengembang. Waktu pengamatan setiap siklus adalah 72 jam (4320 menit) pembasahan sedangkan proses

pengeringan menggunakan metode kering udara dengan waktu yang diperlukan untuk kembali ke kadar air awal OMC berkisar antara 3 sampai 4 hari.

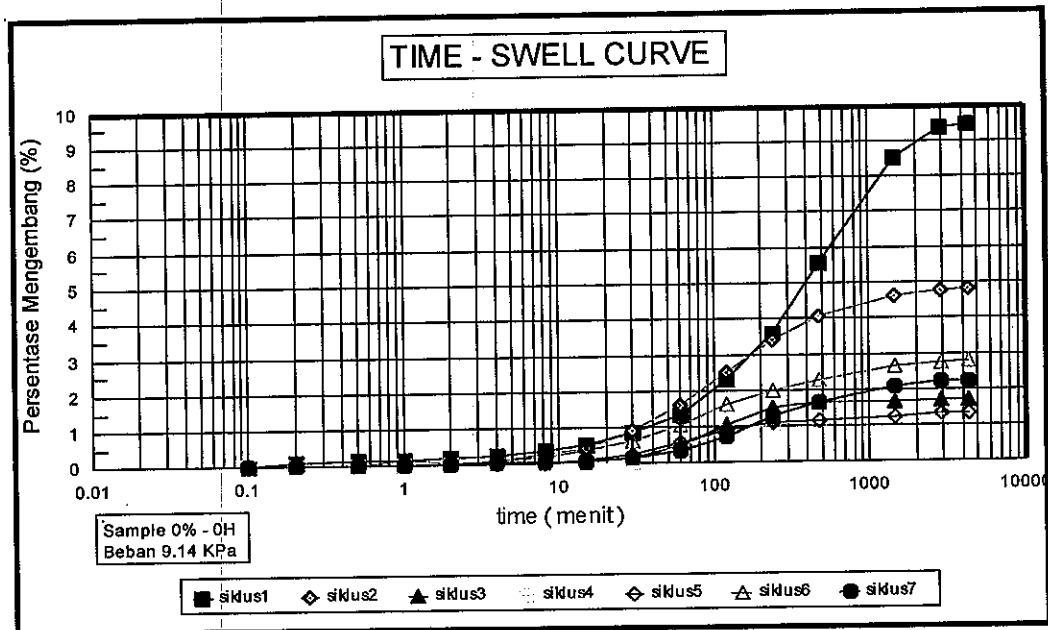
Hasil pengamatan persentase mengembang maksimum pada setiap siklus untuk masing-masing kondisi pembebanan dan jenis benda uji disajikan dalam Tabel 4.6 sampai Tabel 4.12 serta Gambar 4.4 sampai Gambar 4.14

Tabel 4.6. Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering Benda Uji 0%-0H pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

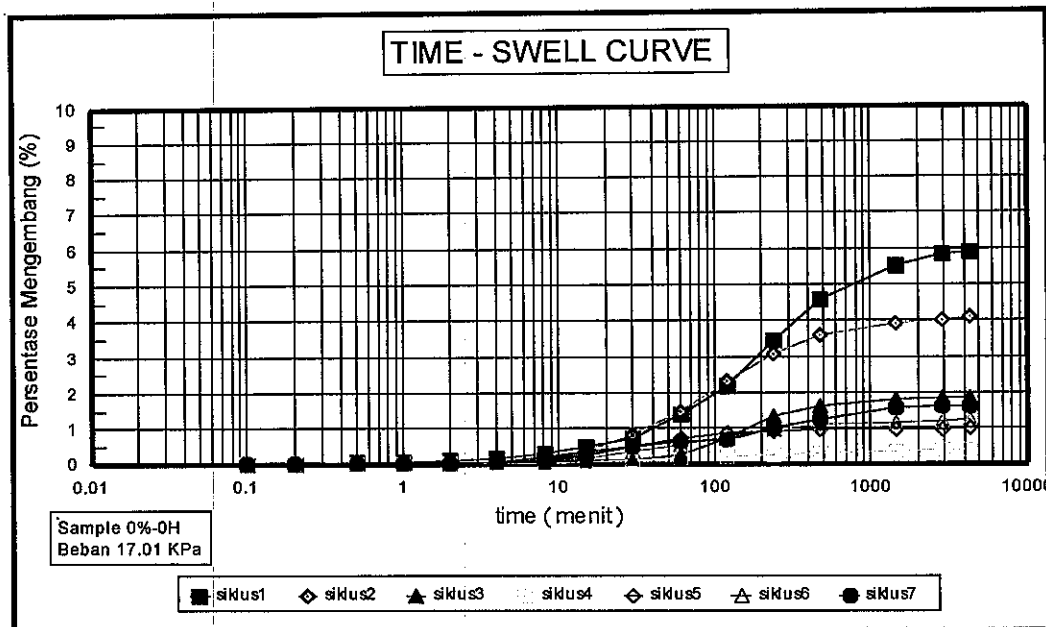
Benda-Uji	Beban KPa	% mengembang maksimum						
		siklus 1	siklus 2	siklus 3	siklus 4	siklus 5	siklus 6	siklus 7
0%-0H	9.14	9.452	4.833	1.688	1.288	1.320	2.777	2.249
0%-0H	17.01	5.913	4.114	1.872	0.382	0.991	1.246	1.628
0%-0H	32.74	4.297	2.907	2.213	1.032	1.406	1.950	1.360
0%-0H	40.59	1.905	0.497	1.402	0.388	0.104	0.606	



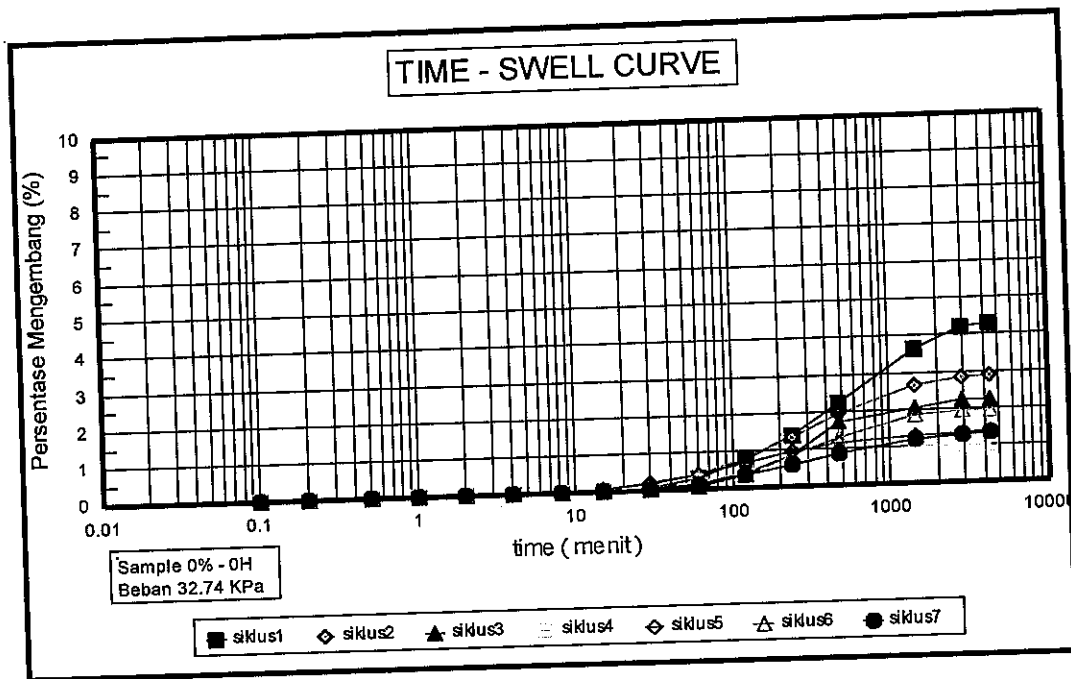
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maks vs Siklus Basah Kering (0%-0H) pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.



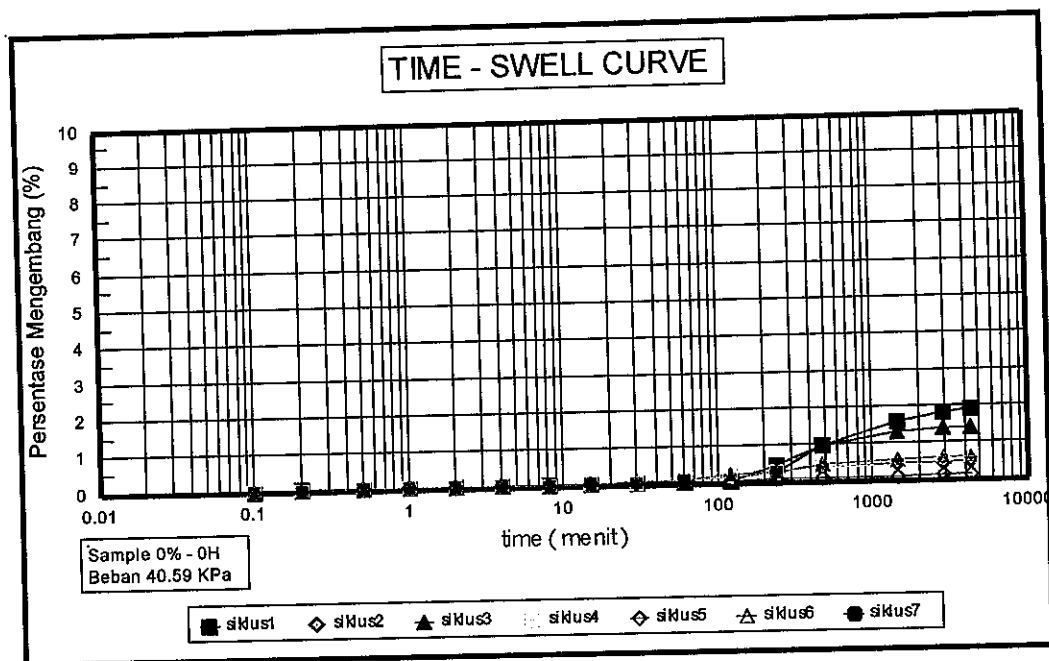
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Setiap Siklus vs Waktu Pembasahan pada Beban tetap 9,14 KPa.



Gambar 4.6. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Setiap Siklus vs Waktu Pembasahan pada Beban tetap 17,01 KPa.



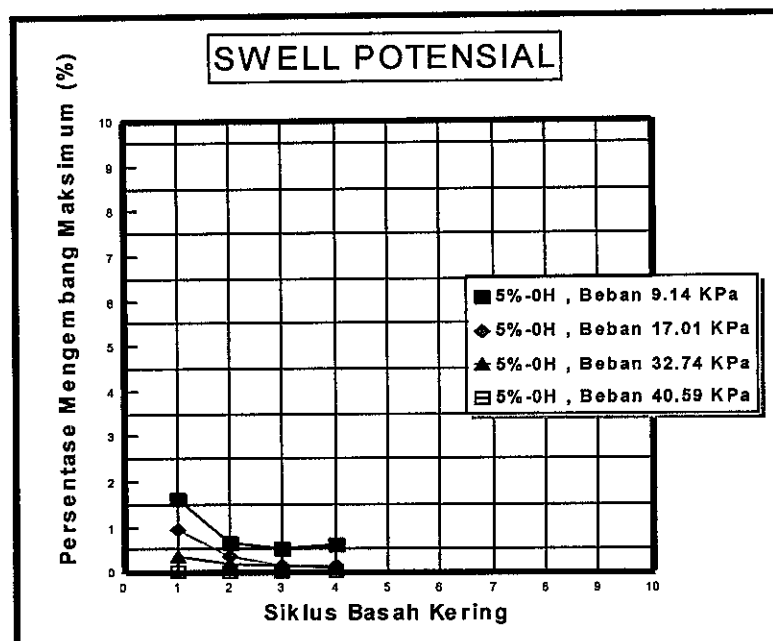
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Setiap Siklus vs Waktu Pembasahan pada Beban tetap 32,74 KPa.



Gambar 4.8. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Setiap Siklus vs Waktu Pembasahan pada Beban tetap 40,59 KPa.

Tabel 4.7. Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering Benda Uji 5%-0H pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Benda-Uji	Beban KPa	% Mengembang maksimum						
		siklus 1	siklus 2	siklus 3	siklus 4	siklus 5	siklus 6	siklus 7
5%-0H	9.14	1.610	0.628	0.521	0.592			
5%-0H	17.01	0.935	0.343	0.155	0.123			
5%-0H	32.74	0.366	0.189	0.152	0.099			
5%-0H	40.59	0.027	0.029	0.017	0.017			

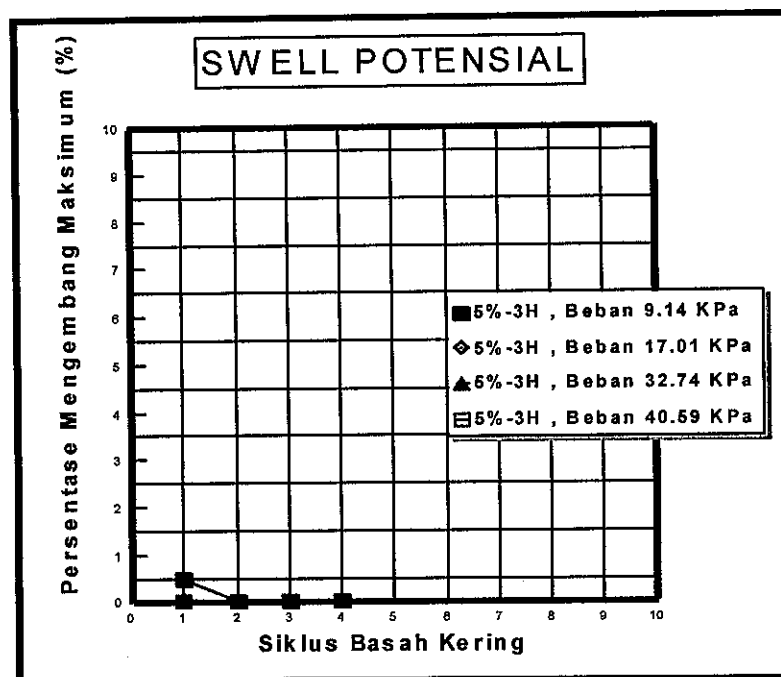


Gambar 4.9. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (5%-0H) pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Selanjutnya hubungan antara persentase mengembang setiap siklus vs waktu pembasahan pada beban 9,14 ; 17,01 ; 32,74 dan 40,59 KPa dapat dilihat pada Lampiran C.1 5%-0H.

Tabel 4.8. Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering Benda Uji 5%-3H pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Benda-Uji	Beban KPa	% mengembang maksimum						
		siklus 1	siklus 2	siklus 3	siklus 4	siklus 5	siklus 6	siklus 7
5%-3H	9.14	0.487	0.000	0.000	0.000			
5%-3H	17.01	0.068	0.000	0.000	0.000			
5%-3H	32.74	0.000	0.000	0.000	0.000			
5%-3H	40.59	0.000	0.000	0.000	0.000			

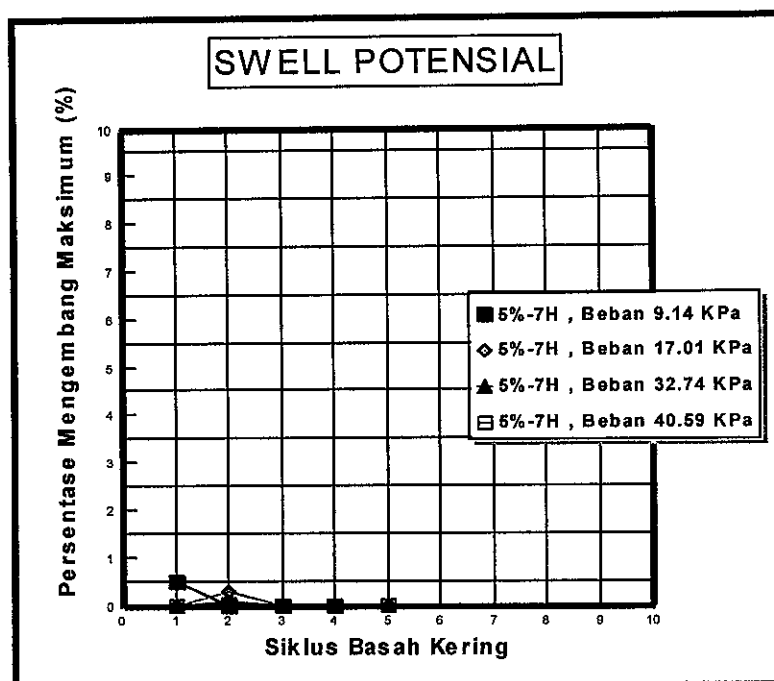


Gambar 4.10. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (5%-3H) pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Selanjutnya hubungan antara persentase mengembang setiap siklus vs waktu pembasahan pada beban 9,14 ; 17,01 ; 32,74 dan 40,59 KPa dapat dilihat pada Lampiran C.1 5%-3H.

Tabel 4.9. Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering Benda Uji 5%-7H pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Benda-Uji	Beban KPa	% mengembang maksimum						
		siklus 1	siklus 2	siklus 3	siklus 4	siklus 5	siklus 6	siklus 7
5%-7H	9.14	0.406	0.379	0.034	0.000	0.000		
5%-7H	17.01	0.000	0.261	0.000	0.000	0.000		
5%-7H	32.74	0.000	0.078	0.000	0.000	0.000		
5%-7H	40.59	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000		

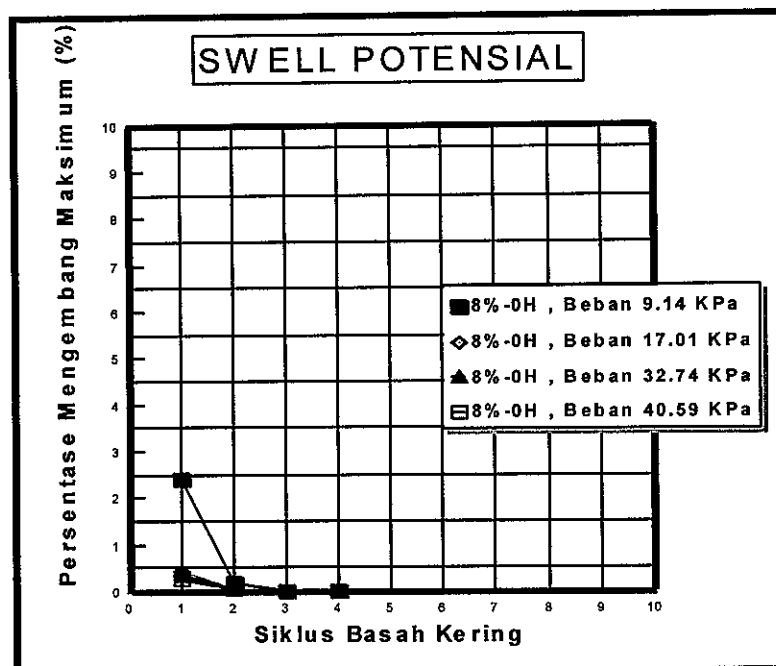


Gambar 4.11. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (5%-7H) pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Selanjutnya hubungan antara persentase mengembang setiap siklus vs waktu pembasahan pada beban 9,14 ; 17,01 ; 32,74 dan 40,59 KPa dapat dilihat pada Lampiran C.1 5%-7H..

Tabel 4.10. Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering Benda Uji 8%-0H pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Benda-Uji	Beban KPa	% mengembang maksimum						
		siklus 1	siklus 2	siklus 3	siklus 4	siklus 5	siklus 6	siklus 7
8%-0H	9.14	2.399	0.172	0.000	0.000			
8%-0H	17.01	0.436	0.030	0.000	0.000			
8%-0H	32.74	0.331	0.044	0.000	0.000			
8%-0H	40.59	0.273	0.023	0.000	0.000			

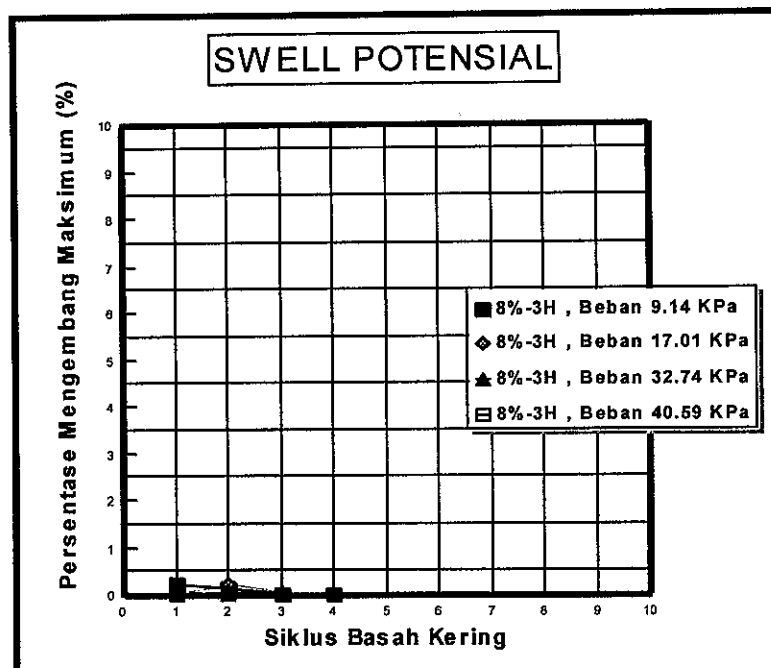


Gambar 4.12. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (8%-0H) pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Selanjutnya hubungan antara persentase mengembang setiap siklus vs waktu pembasahan pada beban 9,14 ; 17,01 ; 32,74 dan 40,59 KPa dapat dilihat pada Lampiran C.1 8%-0H.

Tabel 4.11. Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering Benda Uji 8%-3H pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Benda-Uji	Beban KPa	% mengembang maksimum						
		siklus 1	siklus 2	siklus 3	siklus 4	siklus 5	siklus 6	siklus 7
8%-3H	9.14	0.206	0.141	0.000	0.000			
8%-3H	17.01	0.000	0.209	0.046	0.026			
8%-3H	32.74	0.000	0.026	0.000	0.012			
8%-3H	40.59	0.000	0.000	0.000	0.000			

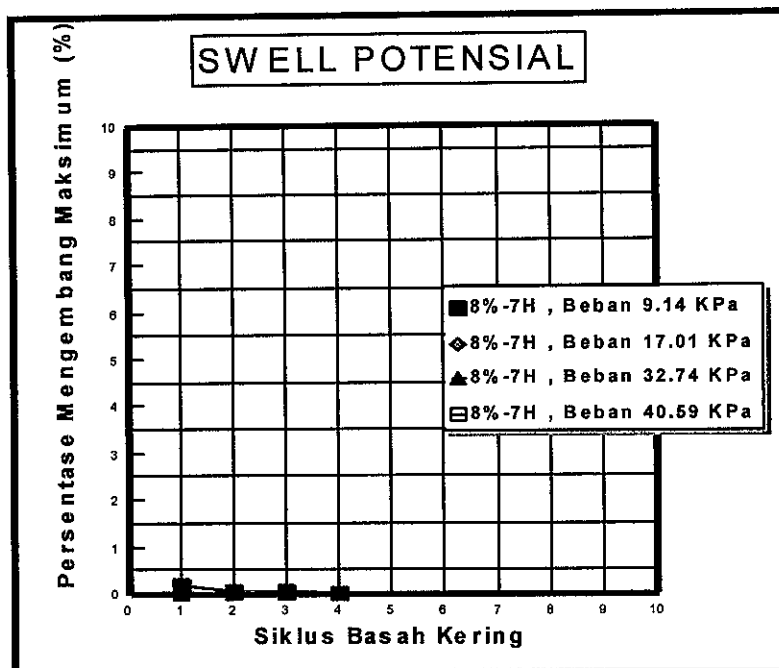


Gambar 4.13. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (8%-3H) pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Selanjutnya hubungan antara persentase mengembang setiap siklus vs waktu pembasahan pada beban 9,14 ; 17,01 ; 32,74 dan 40,59 KPa dapat dilihat pada Lampiran C.1 8%-3H.

Tabel 4.12. Nilai Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering Benda Uji 8%-7H pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Benda-Uji	Beban KPa	% mengembang maksimum						
		siklus 1	siklus 2	siklus 3	siklus 4	siklus 5	siklus 6	siklus 7
8%-7H	9.14	0.181	0.023	0.043	0.000			
8%-7H	17.01	0.000	0.023	0.000	0.000			
8%-7H	32.74	0.000	0.020	0.000	0.000			
8%-7H	40.59	0.000	0.000	0.000	0.000			



Gambar 4.14. Grafik Hubungan Persentase Mengembang Maksimum vs Siklus Basah Kering (8%-7H) pada Beban 9,14 KPa; 17,01 KPa; 32,74 KPa; 40,59 KPa.

Selanjutnya hubungan antara persentase mengembang setiap siklus vs waktu pembasahan pada beban 9,14 ; 17,01 ; 32,74 dan 40,59 KPa dapat dilihat pada Lampiran C.1 8%-7H.

Hasil pengamatan potensi mengembang menunjukkan :

- Pada tanah lempung murni persentase mengembang maksimum untuk beban 9,14 KPa = 9,452 %; beban 17,01 KPa = 5,91 %; beban 32,74 KPa = 4,297 %; beban 40,59 KPa = 1,905 %. Sedangkan persentase mengembang minimum untuk beban 9,14 KPa = 1,288 %; beban 17,01 KPa = 0,382 %; beban 32,74 KPa = 1,032 %; beban 40,59 KPa = 0,104 %.
- Semua benda uji menunjukkan kecenderungan penurunan persentase mengembang maksimum dari siklus sebelumnya. Penurunan nilai persen mengembang maksimum benda uji paling besar terjadi di rentang antara siklus satu ke siklus dua dan setelah melewati siklus kedua penurunan relatif kecil. Sedikit berbeda pada sample uji 0%-0H terjadi sedikit kenaikan setelah melewati siklus ke empat pada beban konstan 9,14 KPa dan 17,01 KPa.
- Penambahan kapur pada tanah lempung memberikan efek penurunan persentase mengembang maksimum relatif lebih cepat terjadi, grafik penurunan persentase mengembang pada siklus-siklus awal relatif lebih landai dibanding pada benda uji lempung murni. Pada pemeraman lebih dari atau sama dengan 3 hari untuk semua persentase campuran kapur hampir tidak terjadi pengembangan untuk semua beban konstan yang diberikan pada contoh uji.
- Benda uji dengan beban konstan 9,14 KPa menunjukkan bereaksi cepat mengembang sesaat setelah diberi air. Berbeda dengan benda uji yang memiliki beban 40,59 KPa membutuhkan waktu yang cukup lama .
- Pada kondisi pembebanan yang sama benda uji dengan campuran kapur relatif lebih cepat mencapai kondisi konstan. Efek lama waktu pemeraman juga memberikan pengaruh pada lama pencapaian kondisi tersebut. Terlihat pada benda uji 5%0-3H; 5%-7H; 8%-3H dan 8%-7H nilai persentase mengembang maksimum relatif kecil (kurang dari 1%) pada beban konstan 9,14 KPa.
- Secara umum persentase mengembang akan mengecil bila beban bertambah besar.
- Hasil selengkapnya dari nilai persentase mengembang sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.6 sampai Tabel 4.12 , dapat dilihat pada Lampiran C.

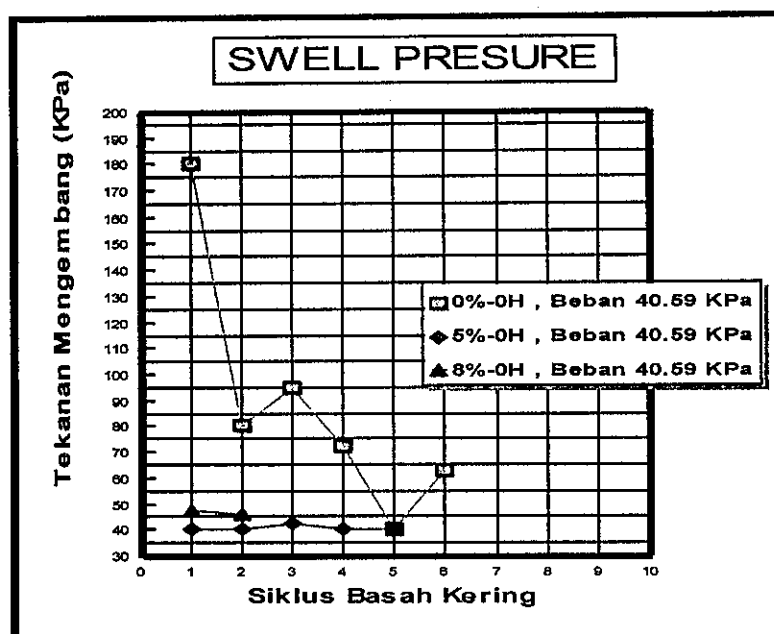
4.4 Hubungan Tekanan Mengembang Dengan Siklus Berulang Basah Kering

Pengamatan tekanan mengembang dilakukan sebatas pada benda uji yang menunjukkan indikasi mengembang pada beban tetap 40,59 KPa, sebagaimana dijelaskan pada sub bab 4.3. Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus pengamatan bervariasi antara 8 sampai 12 hari. Hasil pengamatan nilai tekanan mengembang disajikan pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.15 sampai Gambar 4.18.

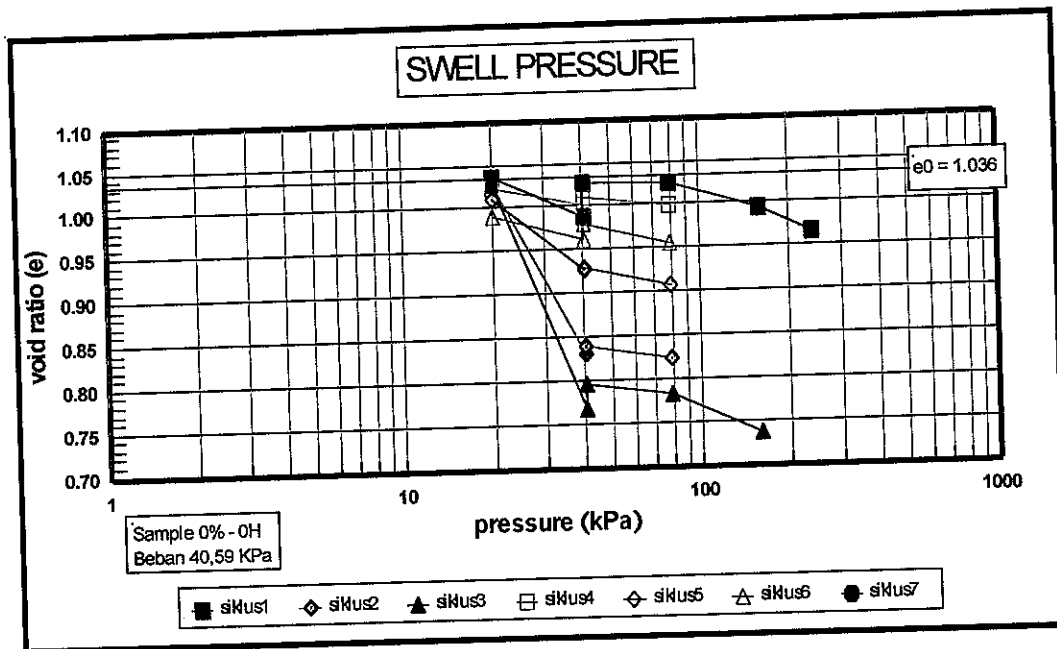
Tabel 4.13. Nilai tekanan Mengembang Setiap Siklus Metode B Pada Benda Uji 0%-0H; 5%-0H dan 8%-0H.

Benda-Uji	Beban KPa	Nilai Tekanan Mengembang KPa						
		siklus 1	siklus 2	siklus 3	siklus 4	siklus 5	siklus 6	siklus 7
0%-0H	40.59	180.00	80.00	95.00	72.50	40.00	62.50	
5%-0H	40.59	40.00	42.50	40.00	40.00			
8%-0H	40.59	47.50	46.00					

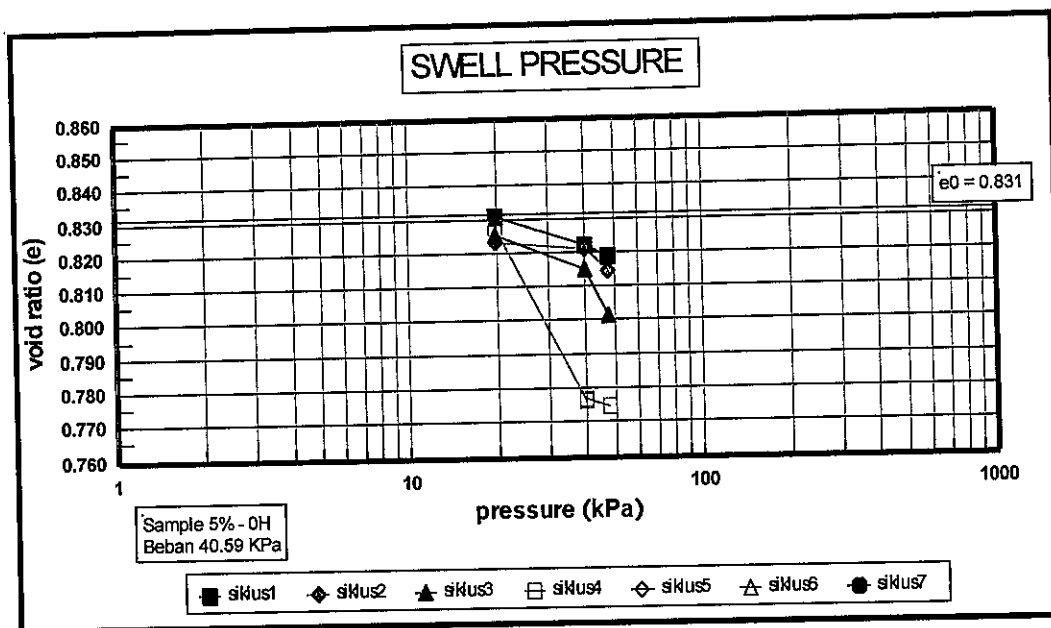
Nilai tersebut diatas merupakan rangkuman hasil pengujian tekanan mengembang (*Swell Pressure*) sebagaimana terlihat pada Lampiran C.2



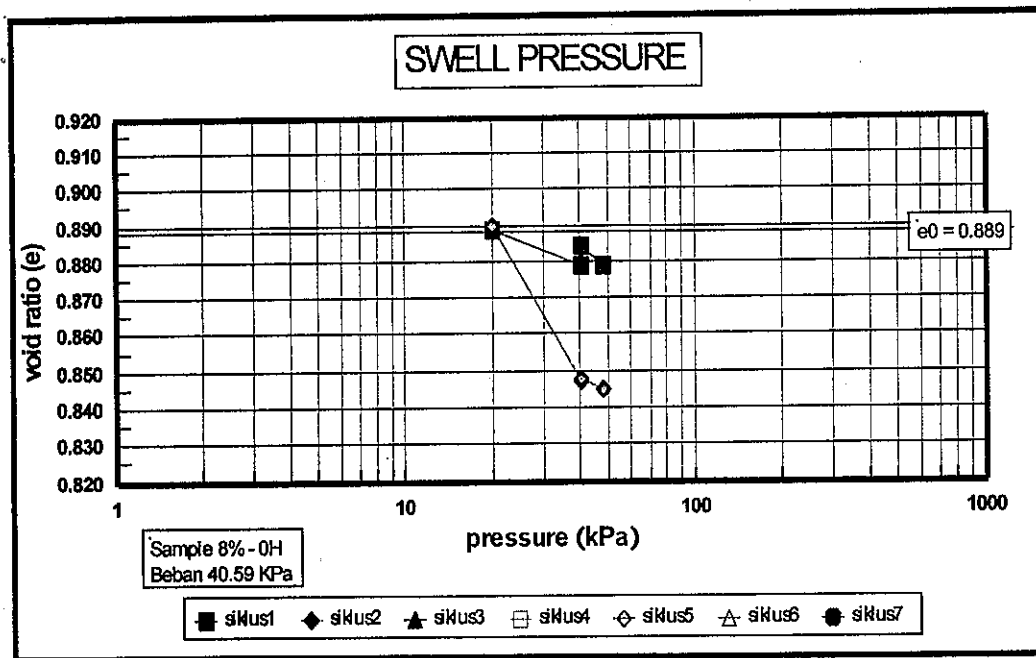
Gambar 4.15. Tekanan Mengembang Benda Uji Setiap Siklus



Gambar 4.16. Pengamatan Tekanan Mengembang Tiap Siklus Dengan Metode B Pada Benda Uji 0%-0H.



Gambar 4.17. Pengamatan Tekanan Mengembang Tiap Siklus Dengan Metode B Pada Benda Uji 5%-0H.



Gambar 4.18. Pengamatan Tekanan Mengembang Tiap Siklus Dengan Metode B Pada Benda Uji 8%-0H.

Dari hasil pengamatan tekanan mengembang tanah diperoleh :

- Nilai tekanan mengembang maksimum benda uji 0%-0H adalah 180 KPa; benda uji 5%-0H adalah 40 KPa sedangkan pada benda uji 8%-0H sebesar 47.5 KPa. Nilai maksimum dicapai pada siklus pertama.
- Dari tiga benda uji menunjukkan penurunan tekanan mengembang dari siklus sebelumnya. *Trend* penurunan tekanan mengembang pada benda uji 0%-0H relatif lebih tajam dibanding pada dua benda uji lainnya.

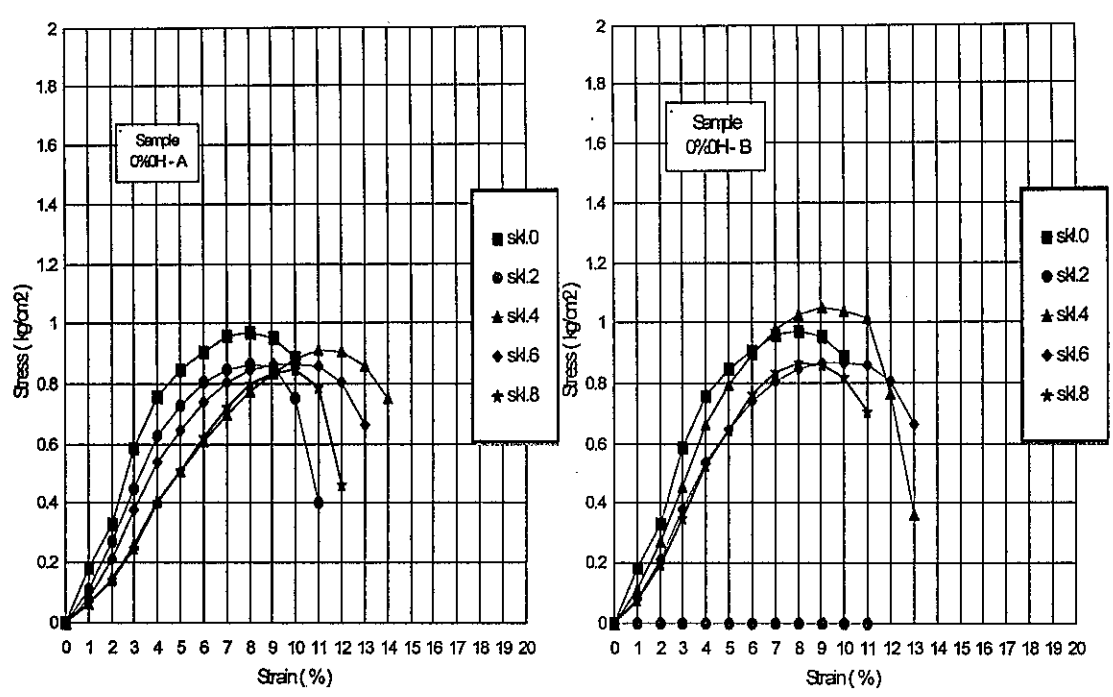
4.5 Hubungan Kuat Geser Dengan Siklus Berulang Basah Kering

4.5.1 UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

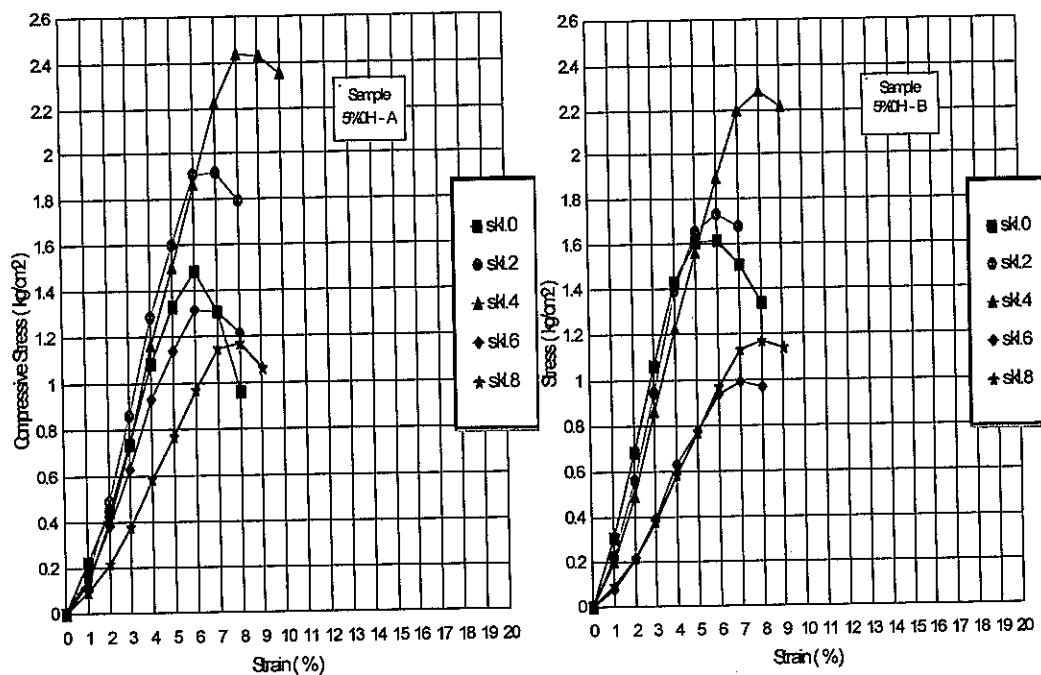
Pengamatan UCS dilakukan terhadap 70 (tujuh puluh) buah benda uji. Setelah selesai dilakukan pencampuran dan pemadatan selanjutnya benda uji dicetak dalam *modal* UCS. Benda uji yang tidak memerlukan perawatan atau pemeraman (0%-0H; 5%-0H; 8%-0H) masing-masing diambil dua buah untuk nol siklus dan langsung

dilakukan test UCS sedangkan delapan buah lainnya masuk proses perendaman sebagai awal dimulainya proses siklus berulang basah kering. Setelah sampai pada siklus yang diinginkan (2,4,6 dan 8 siklus) baru dilakukan pengetesan. Adapun untuk benda uji lainnya (5%-3H; 5%-7H; 8%-3H dan 8%-7H) setelah masa perawatan berakhir baru dilakukan proses siklus berulang basah-kering, tahapan pelaksanaan sama seperti yang telah dijelaskan diatas.

Hasil uji UCS pada setiap siklus untuk masing-masing benda uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 sampai Gambar 4.20 dan Tabel 4.14 berisikan nilai *Undrained Shear Strength* (S_u) dan regangan (ϵ) pada masing-masing benda uji.



Gambar 4.19. Hubungan Tegangan Deviator (q_u) vs Regangan (ϵ) *Sample 0%-0H*.



Gambar 4.20. Hubungan Tegangan Deviator (q_u) vs Regangan (ϵ) *Sample 5%-0H*.

Selanjutnya hubungan tegangan deviator (q_u) dengan regangan (ϵ) pada benda uji yang lain (5%-3H, 5%-7H, 8%-0H, 8%-3H dan 8%-7H) dapat dilihat pada lampiran D1.UCS.

Tabel 4.14 Nilai S_u (Undrained Shear Strength) pada setiap Benda Uji.

N O	Kode Sample	Jumlah siklus	Su (kg/cm ²)			Regangan (ϵ) %		
			Sampl A	Sampl B	Rata 2	Sampl A	Sampl B	Rata 2
1	0% - 0H	0	0,486	0,486	0.486	8	8	8
		2	0,432	x-	0.432	8	x	8
		4	0,450	0.524	0.487	12	9	10.5
		6	0,433	0,434	0.433	9	9	9
		8	0,423	0,434	0.429	10	8	9
2	5% - 0H	0	0.742	0.807	0.775	6	6	6
		2	0.961	0.866	0.914	7	6	6.5
		4	1.216	1.136	1.176	8	8	8
		6	0.657	0.996	0.627	6	7	6.5
		8	0.585	0.586	0.586	8	8	8
3	5% - 3H	0	0.634	0.638	0.636	5	5	5
		2	0.647	0.773	0.71	8	7	7.5
		4	1.409	1.072	1.241	11	8	9.5
		6	0.769	0.906	0.837	9	7	8
		8	0.918	0.845	0.882	9	9	9
4	5% - 7H	0	x	0.529	0.529	x	5	5
		2	0.261	0.523	0.392	5	6	5.5
		4	0.629	0.618	0.623	6	6	6
		6	1.180	1.123	1.152	7	9	8
		8	0.291	0.545	0.418	6	8	7
5	8% - 0H	0	0.906	0.834	0.870	7	7	7
		2	0.987	1.314	1.151	7	9	8
		4	1.132	1.065	1.098	7	9	8
		6	1.191	1.055	1.123	7	10	8.5
		8	0.649	0.842	0.746	9	7	8
6	8% - 3H	0	1.052	0.648	0.850	7	6	6.5
		2	0.618	0.928	0.773	6	7	6.5
		4	0.963	1.519	1.241	8	8	8
		6	1.238	1.088	1.163	8	8	8
		8	1.345	0.880	1.113	9	8	8.5
7	8% - 7H	0	0.518	0.972	0.745	4	5	4.5
		2	1.478	0.654	1.066	9	5	7.5
		4	1.053	1.534	1.293	8	10	9
		6	1.313	1.232	1.273	9	8	8.5
		8	0.723	1.503	1.113	8	9	8.5

Catatan : x gagal

Nilai tersebut diatas merupakan rangkuman hasil pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS) sebagaimana terlihat pada Lampiran D1.

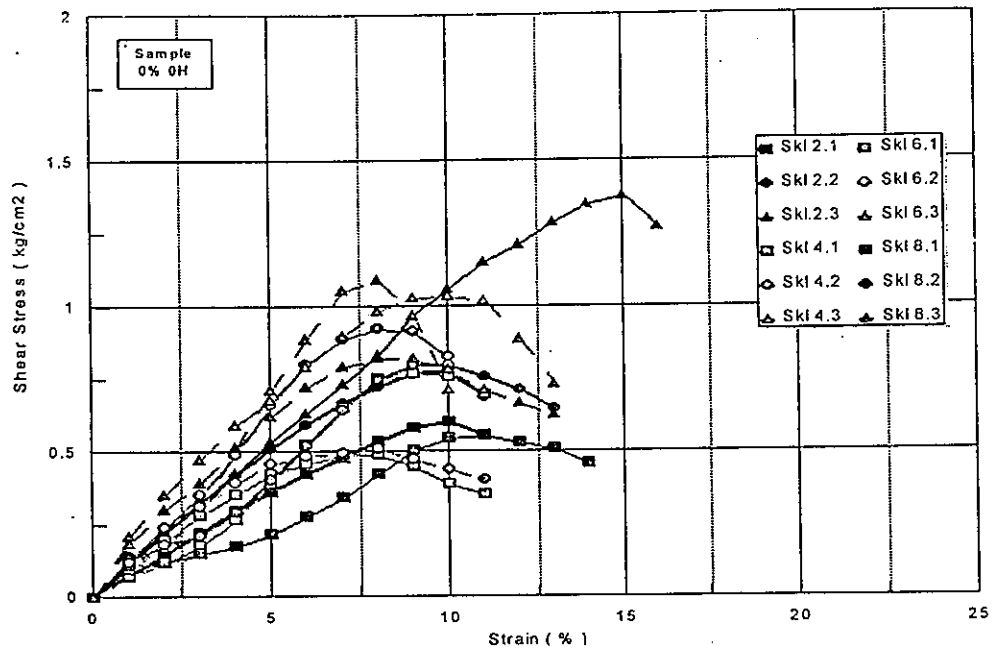
Dari hasil uji UCS diperoleh:

- Nilai kuat geser *undrained* (S_u) benda uji yang tidak mengalami siklus berulang basah kering sebesar $0,486 \text{ kg/cm}^2$ pada 0%-0H. Pada benda uji 5%-0H nilai S_u sekitar $0,75 \text{ kg/cm}^2$; dan 8%-0H nilai S_u sekitar $0,85 \text{ kg/cm}^2$.
- Pada lempung bercampur kapur nilai S_u relatif lebih besar, dan keruntuhan terjadi pada regangan yang lebih kecil (pola grafik tegangan dan regangan lebih tegak).
- Dari hasil pengujian yang dilakukan sampai 8 siklus, nilai kuat geser *undrained* tertinggi rata-rata dicapai pada siklus ke 4.
- Peningkatan nilai S_u sangat jelas pada benda uji yang dicampur kapur, berbeda dengan benda uji tanpa campuran kapur pengaruh perulangan siklus basah-kering tidak memberikan pengaruh yang nyata pada peningkatan nilai S_u .

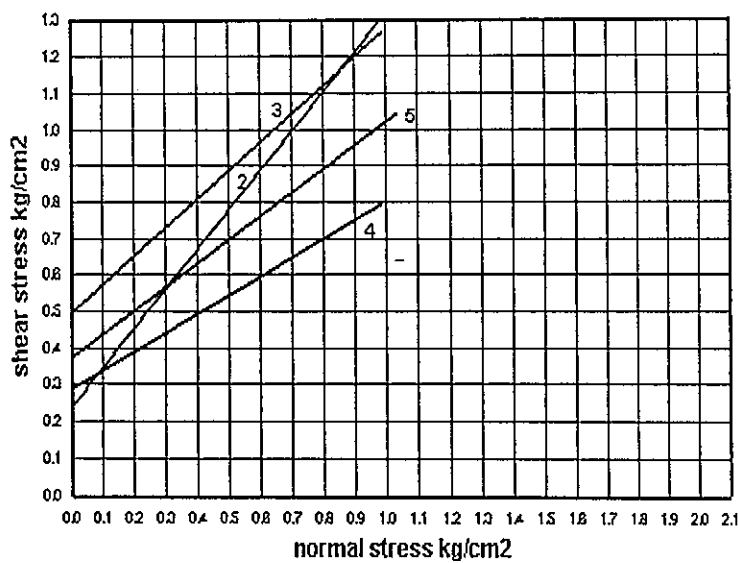
4.5.2 *Direct Shear Test*

Proses pengamatan geser langsung *Direct Shear Test* sama seperti yang dilaksanakan pada uji UCS. Jumlah siklus basah kering dipilih pada siklus 0, 2, 4, 6 dan 8. Bedanya bahwa pada uji geser langsung setiap tahapan siklus membutuhkan tiga benda uji, sehingga jumlah total benda uji ada sebanyak $7 \times 5 \times 3$ buah.

Hasil berupa dua grafik hubungan, yaitu grafik hubungan antara tegangan deviator dan regangan pada masing-masing beban normal serta grafik hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.21 sampai Gambar 4.24. Dengan menarik tiga titik koordinat dimana tegangan geser maksimum sebagai ordinat-nya dan tegangan normal sebagai absis-nya dari masing-masing beban normal maka akan diperoleh nilai kohesi c dan sudut geser dalam ϕ sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.15

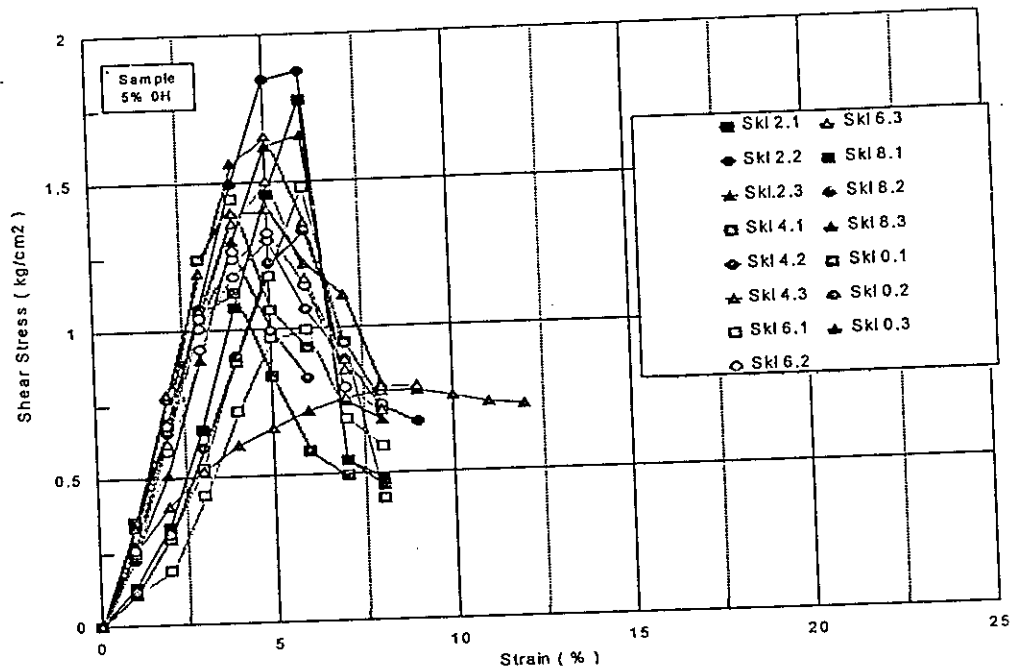


Gambar 4.21. Hubungan Tegangan geser dan Regangan Pada Benda Uji 0%-0H

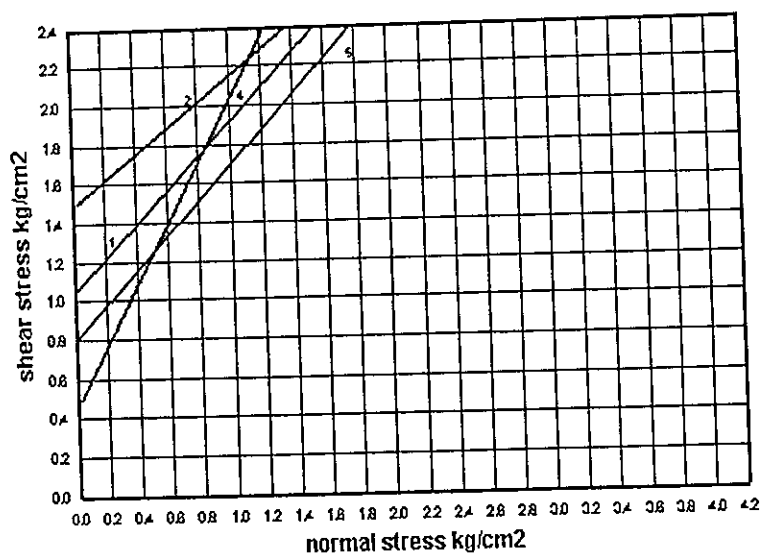


No	μ %	c (kg/cm ²)	ϕ °
1	0	0.00	0.0
2	2	0.24	47.5
3	4	0.53	36.8
4	6	0.30	27.0
5	8	0.40	33.0

Gambar 4.22. Hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal pada benda uji 0%-0H.



Gambar 4.23. Hubungan Tegangan geser dan Regangan Pada Benda Uji 5%-0H.



	1	2	3
1	0	1,12	41
2	1	1,54	33
3	4	0,80	0
4	6	0,55	56
5	0	0,80	44

Gambar 4.24. Hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal pada benda uji 5%-0H.

Tabel 4.15. Nilai Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam (ϕ) Setiap Benda Uji.

N O	Kode Sample	Jumlah Siklus									
		0		2		4		6		8	
		Kohesi (gr/cm ²)	ϕ (^o)	Kohesi (gr/cm ²)	ϕ (^o)	Kohesi (gr/cm ²)	ϕ (^o)	Kohesi (gr/cm ²)	ϕ (^o)	Kohesi (gr/cm ²)	ϕ (^o)
1	0% - 0H	x	x	0,24	47,5	0,53	36	0,3	27	0,4	33
2	5% - 0H	1,12	41	1,56	33	x	x	0,55	56	0,8	45
3	5% - 3H	0,68	67	0,7	60	0,8	64	0,35	60	0,04	48
4	5% - 7H	0,56	20	0,18	55	0,46	37	0,66	31	0,13	65
5	8% - 0H	0,88	37	0,94	40	1,1	62	1,7	40	0,1	70
6	8% - 3H	1,55	15	0,65	72,5	2	55	0,2	72	1,36	50
7	8% - 7H	0,1	60	0,62	48	0,34	51	0,4	48	0,3	60

Catatan : x gagal

Nilai tersebut diatas merupakan rangkuman hasil pengujian geser langsung atau *Direct Shear Test* sebagaimana terlihat pada Lampiran D 2.

Hasil pengamatan geser langsung menunjukkan :

- Pemakaian kapur sebagai bahan *additive* memberikan efek pada peningkatan kuat geser terutama pada nilai sudut geser dalam (ϕ), nilai maksimum rata-rata diperoleh pada benda uji dengan masa peram 3 hari baik untuk 5% maupun 8% campuran kapur.
- Dari hasil penelitian ini belum diperoleh hubungan antara parameter kuat geser c dan (ϕ) dengan jumlah perulangan siklus, baik untuk benda uji dengan dan tanpa campuran kapur. Karena sampai siklus ke 8 nilai parameter kuat geser yang diperoleh sangat bervariasi.

4.6 Perbandingan Nilai Indeks Plastisitas (PI) dan Batas Susut (SL) Sebelum dan Sesudah Siklus Berulang Basah Kering

Indeks Plastisitas PI dan Batas Susut SL benda uji yang telah mengalami siklus berulang basah kering dari uji potensi mengembang dan uji geser diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.16

Nilai yang tercantum dalam Tabel 4.16 merupakan rangkuman dari hasil pengujian batas-batas konsistensi Atterberg sebagaimana terlihat pada lampiran E.

Tabel 4.16. Rekapitulasi Nilai Batas Atterberg Limit sebelum dan sesudah Siklus Berulang Basah Kering.

No	Kode Sampel	Siklus ke	Uji UCS (%)				Uji Swell (%)								
			LL	PL	PI	SL	LL	PL	PI	SL					
1	0%-0H	0	72,40	27,72	44,68	11,24	51,00	26,00	25,00	2,21					
		2	81,00	30,26	50,74	16,46									
		4	77,50	26,63	50,87	9,09									
		6	69,00	22,58	46,42	10,22									
		7	-	-	-	-									
		8	62,00	26,07	35,93	6,36									
		siklus ke 7													
2	5%-0H	0					64,20	30,12	34,08	14,95					
		2	54,85	27,27	27,58	24,17									
		4	53,15	27,31	25,84	22,88									
		6	52,50	28,41	24,09	15,21									
		8	71,00	32,73	38,27	11,20									
3	5%-3H	0	70,00	37,88	32,12	16,84	63,80	33,18	30,62	24,64					
		2	63,60	32,39	31,21	19,23									
		4	76,20	35,71	40,49	19,43									
		6	57,00	31,55	25,45	11,79									
		8	74,20	34,00	40,20	9,19									
4	5%-7H	0					72,70	42,70	30,00	23,57					
		2	48,90	28,79	20,11	20,22									
		4	51,25	27,66	23,59	24,50									
		5	-	-	-	-									
		6	52,75	27,15	25,60	19,37									
		8	59,50	28,85	30,65	20,89									
Siklus ke 5															

Tabel 4.16. (Lanjutan)

5	8%-0H	0	37,60	30,00	7,60	49,89	54,90	32,35	22,55	24,80
		2	50,60	34,85	15,75	26,17				
		4	56,20	27,50	28,70	23,17				
		6	50,45	30,25	20,20	25,29				
		8	60,25	45,74	14,51	25,33				
6	8%-3H	0	49,50	32,24	17,26	33,86	38,50	35,59	2,91	18,37
		2	55,10	39,41	15,69	34,08				
		4	57,25	40,79	16,46	30,22				
		6	51,20	34,43	16,77	29,54				
		8	52,00	40,00	12,00	26,48				
7	8%-7H	0					53,70	38,67	15,03	33,51
		2	42,00	34,86	17,40	26,92				
		4	52,25	30,61	21,64	27,18				
		6	46,30	35,71	10,59	27,95				
		8	48,30	33,54	14,76	24,59				

Dari hasil uji Atterberg (Tabel 4.5 dan 4.16) diperoleh hasil sebagai berikut

- Terjadi penurunan nilai Plastisitas Indeks pada tanah lempung ekspansif yang diuji dari PI = (45,85-59,97) % pada kondisi awal menjadi PI = 25% pada akhir siklus ke 7 dari uji potensi mengembang. Sedangkan dari hasil uji geser penurunan nilai PI tidak sebesar pada uji potensi mengembang yaitu dari PI = 44,68% pada kondisi awal menjadi PI = 35,93% pada siklus ke 8.
- Sementara pada benda uji dengan campuran 5% kapur pengaruh perulangan siklus basah-kering justru menaikkan nilai PI.
- Sebaliknya perulangan siklus basah kering memberikan pengaruh pada penurunan nilai batas susut (SL) pada hampir semua benda uji.

4.7 Pembahasan

4.7.1 Hubungan *Plasticity Indeks* (PI) dengan Temperatur

Hasil uji pendahuluan hubungan Indeks Plastis dengan Temperatur menunjukkan bahwa meningkatnya temperatur pengeringan akan menurunkan PI pada tanah lempung ekspansif. Berarti dalam proses pengeringan contoh uji siklus berulang basah-kering harus menggunakan proses kering alami (kering udara), penggunaan oven sebagai pengeringan masih dapat ditolerir, sepanjang temperaturnya tidak melampaui dengan suhu ruangan yang tercatat pada saat pengujian berlangsung.

Pandian (1993) sebagaimana dikutip Sholihin As'ad (1999) mendapatkan hubungan Batas Cair (LL), Plastisitas Indeks (PI) dengan Temperatur sama dengan hasil diatas. Pengamatan dilakukan terhadap 4 kondisi, natural, kering udara (20-30)⁰C, kering oven 60⁰C dan 105⁰C pada benda uji Cotton Clay (Red, Brown and Black), menyimpulkan PI dan Batas Cair (LL) keduanya turun dengan bertambahnya suhu pengeringan.

Menurutnya, sejumlah kasus pengeringan memunculkan agregasi diantara butiran partikel lempung. Penurunan akan sangat tajam bila pada lempung terdapat mineral *Halloysite*, *Gibbsite* dan *Allophane*.

Hal yang sama juga diperoleh pada penelitian ini, dari hasil uji mineral lempung pada Tabel 4.1. dimuka, bahwa salah satu unsur mineral yang dimaksud oleh Pandian (1993) yaitu mineral *Halloysite* ditemukan dalam jumlah yang cukup besar pada sampel uji yaitu sekitar 38,5 %.

4.7.2 Pengaruh Siklus Berulang Basah-Kering terhadap Potensi Mengembang

- Hipotesis mengenai pengaruh siklus berulang basah-kering terhadap perilaku mengembang contoh uji bernilai positif. Diperoleh korelasi perilaku mengembang dengan siklus berulang basah-kering pada contoh tanah yang diuji, baik pada persentase mengembang maupun tekanan mengembang keduanya mengalami

penurunan dengan bertambahnya siklus berulang basah-kering untuk contoh uji dengan dan tanpa campuran kapur.

Kecenderungan yang sama seperti yang diperoleh oleh peneliti sebelumnya, seperti Chen (1965 , 1984, 1987); Dif dan Bluemel (1991); Al Hamoud et al (1995); Sholihin As'ad (1999). Akan tetapi berbeda dengan yang diperoleh Day (1994) dan Osipov (1987) yang mempunyai kecenderungan sebaliknya.

- Hasil yang paling mirip dengan penelitian sekarang adalah hasil yang diperoleh Al Hamoud et al (1995). Bahwa penurunan drastis nilai persentase mengembang dan tekanan mengembang terlihat pada perubahan siklus satu ke siklus dua selanjutnya penurunan relatif kecil pada siklus ke-3 dan ke-4 dan mendekati stabil pada siklus-siklus berikutnya.

Secara umum tingkat penurunan persentase mengembang pada contoh uji dengan campuran kapur sama perilakunya dengan contoh uji tanpa campuran kapur, hanya saja grafik penurunan agak landai tidak setajam pada contoh uji non kapur, kondisi stabil rata-rata lebih cepat dicapai setelah siklus ke-2.

- Gejala penurunan pada setiap siklus berulang basah-kering terhadap dua tinjauan potensi mengembang diatas, dapat ditafsirkan dari alasan Chen (1987) tentang konsep kepadatan kering kritis (*The Critical Dry Density*) dan adanya Agregasi (sementasi) partikel butiran lempung yang dijadikan alasan oleh Al Hamoud (1995) Alasan agregasi juga diajukan oleh Alam dan Shridaran (1981) setelah mengamati pengaruh siklus berulang basah-kering terhadap meningkatnya nilai kuat geser tanah.
- Terjadinya penurunan drastis nilai persentase mengembang dari siklus ke-1 ke siklus ke-2, kemungkinan yang lebih dominan disebabkan adanya penyesuaian kepadatan contoh uji terhadap kepadatan kering kritisnya sebagaimana dikemukakan oleh Chen (1987). Jadi saat proses pembasahan awal, masa tanah menyesuaikan kepadatan menuju ke tingkat kepadatan kritis. Kemungkinan proses agregasi dari butiran sebagaimana konsep Al Hamoud (1985) sudah terjadi di

siklus pertama, tetapi karena dominannya pengaruh penyesuaian kepadatan di siklus awal maka potensi mengembang di siklus-siklus awal kelihatan lebih besar. Pada siklus berikutnya agregasi butiran akan terus berlangsung, namun pengaruh pada penurunan potensi mengembang terlihat lebih kecil.

- Efek agregasi akan mengikat beberapa butiran partikel menjadi butiran yang lebih besar, sehingga memperkecil permukaan spesifik (*Specific Surface*), interaksi dengan air menjadi berkurang. Permukaan yang mengalami difusi *double layer* berkurang, sehingga kemampuan menyerap air dari partikel tanah semakin kecil. Keadaan ini pula yang bisa memberikan penjelasan mengenai kenyataan terjadinya penurunan nilai Plastisitas Indeks pada contoh uji lempung di akhir siklus basah-kering.
- Kondisi sebaliknya pada contoh uji dengan campuran 5% kapur, nilai Plastisitas Indeks justru mengalami kenaikan setelah melewati perulangan siklus basah-kering. Kenaikan tampak nyata pada pergantian dari nol siklus ke siklus dua, siklus selanjutnya kenaikan relatif kecil atau sama bahkan pada beberapa contoh uji mengalami penurunan setelah melewati siklus kedua. Fenomena ini dimungkinkan bahwa proses berulang basah-kering mengakibatkan tidak saja terjadi penyatuan (agregasi) butiran tetapi bisa juga terjadi penguraian (segregasi) dari butiran-butiran yang telah terbentuk (mengalami agregasi) sebagai hasil proses pencampuran kapur pada pembuatan contoh uji sehingga butiran kembali kecil dan *specific surface* kembali besar.
- Adanya hasil pengamatan potensi mengembang yang diperoleh Osipov (1987) dan Day (1994) berbeda dengan hasil yang didapat sekarang. Hal ini kemungkinan disebabkan bahwa pada setiap tahap siklus baru tidak dilakukan kontrol kadar air sehingga kembali pada posisi kadar air awal, akan tetapi ada kemungkinan dalam proses pengeringan tersebut melewati batas susut (SL). Sehingga ada kemungkinan bahwa benda uji dapat saja memiliki kecenderungan menyerap air lebih besar dari sebelumnya. Kasus serupa dialami peneliti saat mengeringkan contoh uji potensi mengembang 0%-0 Hari pada akhir siklus ke-4 yang seharusnya nilai persentase

mengembang mengalami penurunan tetapi terjadi sebaliknya walaupun kenaikan yang terjadi relatif kecil.

4.7.3 Pengaruh Siklus Berulang Basah-Kering terhadap Kuat Geser

- Hasil percobaan geser dengan menggunakan metode tekan bebas (UCS) pada kondisi tidak jenuh air tidak diperoleh suatu kecenderungan umum mengenai hubungan antara tegangan runtuh benda uji dengan jumlah siklus berulang basah-kering, sama seperti hasil yang diperoleh Sholihin As'ad (1999). Hanya diketahui setelah melewati perulangan siklus basah-kering nilai S_u mengalami kenaikan.
- Berbeda dengan kalau pengujian kuat geser dilakukan dengan triaksial-CU sebagaimana dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, akan diperoleh korelasi antara jumlah siklus berulang basah-kering terhadap perilaku kuat gesernya. Miller (1992) dalam penjelasan mengenai hukum tegangan dalam *Constitutive Relationship for Expansive Soil* menjelaskan bahwa pada tanah tidak jenuh tekanan air pori adalah negatif, tekanan air pori akan terbagi pada dua kondisi yaitu tegangan pori oleh udara dan tegangan pori air kedua tegangan ini biasanya tidak sama besarnya. Perbedaan tegangan ini akan diimbangi oleh gaya tarik permukaan, perbedaan tegangan inilah yang disebut sebagai tekanan kapiler, sehingga ada kemungkinan ketidak teraturan grafik yang diperoleh pada contoh uji dengan menggunakan uji UCS disebabkan adanya tekanan kapiler yang susah untuk diidentifikasi seberapa besar proporsinya.
- Demikian pula dari hasil uji *Direct Shear Test* memberikan hasil sama, terjadi peningkatan nilai kohesi setelah melewati siklus berulang basah-kering namun tidak diperoleh kecenderungan umum mengenai hubungan nilai parameter kuat geser c (kohesi) dan ϕ (sudut geser dalam) dengan jumlah siklus berulang basah-kering.

Untuk contoh tanah lempung, pengujian kuat geser dengan metode geser langsung hasilnya kurang mencerminkan nilai sebenarnya namun masih bisa dipertimbangkan

hasilnya manakala pengujian dilakukan untuk tanah-tanah non *cohesive* seperti tanah lempung yang telah dicampur dengan kapur.

4.7.4 Efek Agregasi (Sementasi) Pada Butiran Mineral Lempung

Agregasi (sementasi) adalah peristiwa terjadinya pengikatan antara butiran partikel yang berakibat pada peningkatan daya ikat masa tanah dan menurunkan *spesifik surface* butiran tanah. Kondisi ini dimungkinkan menjadi penyebab terjadinya peningkatan kuat geser dan penurunan potensi mengembang tanah akibat siklus berulang basah-kering.

Menurut Allam dan Shridaran (1981), perulangan pembasahan dan pengeringan dapat meningkatkan kekuatan tanah akibat adanya ikatan *aluminium oxide* yang timbul sejak awal pembasahan dan meningkatnya kekuatan tanah juga karena adanya kontribusi *rekristalisasi ferri oxide* yang muncul kemudian di tahap siklus-siklus berikutnya.

- Dalam proses sementasi, unsur Al, Fe, Mg dan Ca berfungsi sebagai unsur pengikat dan mempengaruhi *kompresibilitas* tanah. Bila unsur ini dihilangkan dari mineral tanah yaitu dengan menggunakan sejumlah zat kimia, efek sementasi ini akan hilang.
- Allam dan Shridaran membuktikan pengaruh unsur pengikat tersebut dengan mengamati perilaku geser benda uji tanah lempung yang dicampur dengan 250 ml larutan dengan kandungan 0,2 N EDTA (*Disosium Salt of Ethylene-Diamine Tetra Acetic Acid*). Zat kimia tersebut bisa menarik Ca, Fe, Mg dan Al yang berfungsi sebagai unsur pengikat. Terbukti bahwa contoh tanah dengan campuran larutan tersebut tidak mengalami peningkatan kuat geser setelah melewati sejumlah tahap siklus. Mengacu pada hasil uji komposisi kimia tanah lempung Purwodadi yang dilakukan oleh Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Keramik Bandung sebagaimana terlampir dalam Lampiran A diperoleh bahwa terdapat unsur-unsur berpotensi sebagai pengikat sebagaimana perkiraan Allam dan Shridaran (1981).

- Pengaruh penambahan kapur kurang dari 6% pada tanah lempung ekspansif memberikan efek sementasi bersifat sementara. (Ingles & Metcalf 1972, bahwa penambahan sebesar 6% kapur memberikan hasil optimal pada stabilisasi tanah lempung). Pernyataan ini mendukung adanya hasil uji *Plasticity Index* contoh uji lempung yang telah dicampur dengan 5% kapur setelah melewati tahap awal siklus berulang basah-kering, mengalami kenaikan kembali nilai batas cair dan penurunan kembali pada batas plastisnya.
- Mekanisme stabilisasi lempung dengan kapur, Ingles (1978) menjelaskan lebih lanjut tentang proses agregasi (tahapan proses sebagaimana dijelaskan pada Gambar 2.15.). Bahwa kemantapan suatu agregat dari hasil proses sementasi butiran, sangat dipengaruhi oleh ada tidaknya zat pengikat. Seperti diketahui bahwa dari hasil analisa mineral dan kimia tanah sebagaimana terlampir pada Lampiran A ditemukan adanya unsur-unsur pengikat tersebut seperti Ca , Fe , Mg dan Al.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari studi ini :

1. Tanah lempung yang diamati merupakan tanah ekspansif dengan kandungan mineral lempung *montmorillonit* sebesar 29,66%. Hasil uji indeks, menunjukkan nilai Plastisitas Indeks berkisar (45-60)%, batas susut (10-15)% dan *Activity* sebesar 8. Dari metode Indeks Tunggal, tanah berpotensi mengembang tinggi (Holtz, Gibbs), tanah memiliki derajat mengembang tergolong tinggi (Altmeyer). Dari metode Klasifikasi USBR tanah memiliki derajat mengembang tinggi. Dari hasil pengukuran langsung *Oedometer* diperoleh besar prosentase mengembang maximum sebesar 9,5% pada beban konstan 9,14 KPa dan 0,1% pada beban 40,59 KPa.
2. Penambahan 5% dan 8% kapur pada tanah lempung memberikan pengaruh pada penurunan nilai plastisitas indeks (PI) cukup berarti, dari rata-rata 51,25% (45,85% - 59,97%) pada kondisi asli turun menjadi rata-rata 18,25% (pada 5% campuran kapur) dan 8,76% pada penambahan 8% kapur. Tanah menjadi tidak plastis, hasil dari tes gradasi butir memperkuat fakta tersebut yaitu dengan ditandai hilangnya butiran fraksi lempung pada contoh uji yang dicampur kapur.
3. Temperatur pengeringan contoh uji selama proses siklus berulang basah-kering mempengaruhi Indeks Plastisitas tanah contoh uji lempung, Indeks Plastisitas akan turun dengan meningkatnya temperatur pengeringan. Sehingga untuk memodelkan kondisi pengeringan yang terjadi di lapangan harus menggunakan metode pengeringan alam, atau kalau terpaksa menggunakan oven sebagai alat pengering, temperatur tidak boleh melebihi 30°C. Dalam penelitian ini pengujian

potensi mengembang menggunakan metode kering alam, sedangkan pada pengujian geser menggunakan oven dengan temperatur tidak lebih dari 30°C.

4. Dari jumlah siklus yang dilaksanakan dalam contoh uji non-kapur sebanyak 7 siklus, dengan campuran kapur sebanyak 4 siklus diperoleh bahwa pengaruh perulangan siklus basah-kering rata-rata memberikan efek penurunan pada potensi mengembang pada contoh uji (walaupun terjadi kasuistis pada contoh uji non-kapur siklus ke-4). Penurunan potensi mengembang terjadi untuk dua kondisi yang diamati yaitu persentase mengembang dan tekanan mengembang.
5. Pola grafik hubungan antara persentase mengembang dengan jumlah siklus berulang basah-kering pada semua contoh uji memberikan hasil yang sama. Dimana penurunan persentase mengembang maksimum rata-rata terjadi pada pergantian siklus pertama ke siklus kedua, selanjutnya penurunan persentase mengembang relatif kecil.
6. Penurunan persentase mengembang paling besar terjadi pada benda uji lempung tanpa campuran kapur dengan beban konstan terendah (9,6 KPa) kurang lebih mencapai 50%. Persentase mengembang akan lebih kecil bila beban konstan yang bekerja pada contoh uji relatif lebih besar .
7. Pada contoh uji dengan campuran kapur, penurunan persentase mengembang tidak setajam seperti pada contoh uji lempung non kapur dan kondisi stabil relatif lebih cepat tercapai pada perulangan siklus yang lebih sedikit
8. Hasil yang sama pula diperoleh pada uji tekanan mengembang dengan metode B-ASTM (beban konstan 40,59 KPa) besarnya tekanan mengembang maksimum pada contoh uji lempung non kapur adalah sebesar 180 KPa pada awal siklus dan turun menjadi 60 KPa pada siklus ke-6. Untuk contoh uji 8%-0H dan 5%-

OH masing-masing sebesar 47,5 KPa dan 40 KPa pada siklus pertama selanjutnya nilainya tetap konstan sampai dengan berakhirnya siklus. Tekanan mengembang benda uji lempung bercampur kapur dengan masa peram 3 dan 7 hari tidak teridentifikasi.

9. Dari hasil uji geser, penambahan kapur pada contoh tanah lempung memberikan pengaruh pada peningkatan tegangan runtuh dan penurunan regangan. Peningkatan tegangan runtuh mencapai sebesar (30-50)% pada penambahan 5% kapur dan (50-70)% pada 8% kapur.
10. Sampai dengan perulangan siklus ke 8, peningkatan nilai S_u sangat jelas pada benda uji dengan campuran kapur. Berbeda pada benda uji tanpa campuran kapur, dimana pengaruh perulangan siklus basah-kering belum memberikan pengaruh yang nyata pada peningkatan S_u . Dari uji UCS tersebut menunjukkan bahwa rata-rata pada perulangan siklus ke 4 nilai kuat geser undrained merupakan nilai ter tinggi untuk semua benda uji. Sedangkan dari hasil uji geser langsung, sampai dengan siklus ke-8 nilai parameter kuat geser yang diperoleh sangat bervariasi.
11. Pengaruh siklus berulang basah-kering terhadap nilai Plastisitas Indeks adalah positif untuk benda uji lempung tanpa campuran kapur, yaitu terjadi penurunan nilai PI dengan bertambahnya jumlah siklus berulang basah-kering. Namun sebaliknya pada contoh uji lempung dengan campuran 5% kapur, terjadi kenaikan pada awal-awal siklus dan selanjutnya nilai PI cenderung menurun/konstan.

5.2 Saran

1. Kontrol yang ketat pada kadar air awal benda uji setiap selesai melewati perulangan siklus basah-kering, hal tersebut perlu dilakukan untuk membantu

mengeliminir kesalahan atau penyimpangan yang muncul dalam memberikan kesimpulan atas hasil yang diperoleh.

2. Perlu melakukan pengukuran tebal contoh tanah pada setiap akhir siklus dimana contoh tanah telah kembali pada kondisi kadar air awal, sehingga nilai e_0 pada awal siklus berikutnya dapat ditentukan lebih akurat.
3. Pengamatan persentase mengembang pada contoh uji lempung bercampur dengan kapur perlu dilanjutkan sampai lebih dari 4 siklus, untuk memastikan apakah dengan penambahan kapur 5% dan 8% cukup efektif mengurangi *swelling* akibat perulangan siklus basah-kering.
4. Guna mendapatkan hasil yang lebih teliti pada nilai tekanan mengembang perlu melakukan lebih dari satu metode pengujian pada setiap contoh uji, disarankan menggunakan beban konstan lebih rendah dari yang dipergunakan pada metode B-ASTM.
5. Perilaku mengembang tanah ekspansif sangat tergantung pada kondisi density dan kadar air awal, sehingga perlu dikembangkan bagaimana perilakunya untuk kondisi kadar air awal dan density yang lain.
6. Pengamatan perilaku geser dengan menggunakan metode triaxial CU pada tanah lempung ekspansif perlu dicermati lebih lanjut dengan siklus yang lebih panjang, untuk bisa mendapatkan pola umum kecenderungan kenaikan kuat geser tanah.
7. Khusus untuk uji geser karena penanganan yang berbeda dengan uji mengembang, pada penyiapan benda uji sebaiknya dilakukan uji statistik guna memastikan kesamaan kondisi sebelum pengujian geser dilaksanakan. Dengan

konsekuensi jumlah sampel yang diperlukan sangat banyak (memenuhi standart jumlah sampel untuk uji statistik).

DAFTAR PUSTAKA

1. ADI, PRASETIJO. (1991), *Effect of Placement Condition With and Without Lime on The Swelling Characteristics of Two Expansive Indonesian Clays*, Tesis Magister Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung.
2. AL HAMOUD, A.S. , BASMA, A.A and Al BASHABSHEH, M.A. (1995), *Cyclic Swelling Behavior of Clays*, Journal Geotechnical Engineering July 1995.
3. ALLAM, M. and SRIDHARAN, S. (1981), *Effect of Wetting and Drying on Shear Strength*, Journal of Geotechnical Engineering Div. ASCE, 107 (4), 421-438.
4. AS'AD, SHOLIHIN. (1999), *Studi Perilaku Mengembang dan Kuat Geser Tanah Lempung Ekspansif Akibat Siklus Berulang Basah Kering*, Tesis Magister Bidang Keahlian Rekayasa Geoteknik Program Studi Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.
5. Annual Books of ASTM, American Society for Testing Materials. (1989), Philadelphia.
6. B.V.RANGANATHAM. (1987), "*Basic Studies on Montmorillonite With Soil Admixtures*", 6th Int.Conference on Expansive Soil, Vol.1, New Delhi, India, 31-37.
7. CHEN, F.H. (1975), *Foundation on Expansive Soil, Development in Geotechnical Engineering 12*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
8. CHEN, F.H. and Ma, GS. (1987), *Swelling and Shrinkage Behavior of Expansive Clay*, 6th Int. Conference on Expansive Soils, Vol.I, New Delhi, India, 127-129.

9. DAS. (1983), *Advanced Soil Mechanics*, Mc. Graw Hill, Singapore
10. DAS, BRAJA. M. (1985), *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS Publishers.
11. DAY, ROBERT.W. (1994), *Swell Shrinkage Behavior of Compacted Clays*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.120, No.3 March 1994.ASCE.
12. HOLTZ, W.G. and GIBBS, H.J. (1954), *Engineering Properties of Expansive Clays* Proc, ASCE, Soil Mech. Found.Div.80, (516).
13. HOLTZ, R.D. and KOVACS, W.D. (1981), *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentise Hall Inc. New Jersey, USA.
14. INGLES, O.G. and METCALF, J.B. (1972), *Soil Stabilization Principles and Practise*, Butterworths Pty. Limited, Melbourne.
15. IYER BALU. (1987), *Influence of Procedural Factor on The Swelling Behavior of Soils*, 6th Int. Conference on Expansive Soil. Vol.1 New Delhi, India, 149-154.
16. KIM.H.TAN. (1991), *Dasar-Dasar Kimia Tanah*, Balai Penelitian Perkebunan, Bogor, Gajah Mada University Press, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia.
17. LAMBE, T.W. (1951), *Soil Testing for Engineering*, John Wiley and Sons. Inc, New York.
18. LAMBE, T.W. and WHITMAN, R.V. (1969), *Soil Mechanics*, John Wiley & Sons Inc, New York.
19. MITCHELL, J.K. (1976), *Fundamentals of Soils Behaviour*, John Wiley and Sons.Inc, New York

20. NELSON, JOHN D. and MILLER, DEBORN J. (1992), *Expansive Soil: Problems and Practise in Foundation and Pavement Engineering*, John Wiley and Sons.Inc, New York.
21. POPESCU, M (1980), "*Behavior of Expansive Soils With 9 Scramb Structure*", 4th Int.Conference Expansive Soils, 1980.
22. RAYADI, BENI TAUFIK. (1998), *Pengaruh Derajat Kompaksi Terhadap Penurunan Kekuatan Tanah Ekspansive Akibat Pembasahan*, Tesis Magister Bidang Keahlian Geoteknik Program Studi Pasca Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.
23. R.AA, SOEMITRO, dkk. (2001), "*Prosiding Seminar PIT HATTI: Problem Geotecnic, Perkembangan dan Penanggulangannya*", Nov.2001, Bandung.
24. SAM, FRYDMAN, ISRAELA RAVINA. and TUVIA, EHRENREICH. (1977), *Stabilization of Heavy Clay With Pottasium Chloride*, Journal of South East Asian Society of Soil Engineering, Bangkok, Vol.VIII.
25. SUUD, DESTA. (1991), *Effect of Quick Lime Treatment and Mellowing Duration on Properties of Lippo Cikarang Expansive Soil*, Thesis Magister, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya Program Pasca Sarjana, Institu Teknologi Bandung.
26. SEED, H.B, WOOD WARD, R.J. and LUNDGREN, R. (1962), *Prediction of Swelling Potensial for Compacted Clay*, Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineering, Vol.88, No. SM4, pp.107-131.

27. SKEMTON, A.W. (1953), *The Colloidal Activity of Clays*, Procc. Of The 3rd Internasional Conference of Soil Mechanics and Foundations Engineering, Zurich, Vol.1, pp.57-61.
28. SUBBARAO, K.S. and SATYADAS, G.C. (1987), *Swelling Potencial With Cycles of Swelling and Partial Shrinkage*, 6th Int.Conference on Exponensial Soils, Vol.1 New Delhi, India, 137-142.
29. YOUNGER, J.S. and Cook, J.R. (1995), *Tropical Soils in Indonesia*.