

**LAPORAN  
PENELITIAN DOSEN**



**Perilaku Tanah Clay Shale Yang Telah Lapuk Distabilisasi  
Dengan Semen (Studi Kasus Tanah Clay Shale Cariu  
Jonggol, Jawa Barat)**

**Tim Peneliti**

**Ketua : DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc**

**NIDN : 0316016101**

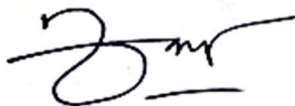
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL  
MEI 2020**

## PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

- 1 Judul Penelitian : **Perilaku Tanah Clay Shale Yang Telah Lapuk Distabilisasi Dengan Semen (Studi Kasus Tanah Clay Shale Cariu Jonggol, Jawa Barat)**
- 2 Ketua Peneliti :
- a. Nama Lengkap : DR.Ir. Idrus M. Alatas M.Sc
- b. Jenis Kelamin : Laki-laki
- c. NIP : 11860032
- d. Disiplin ilmu : Geoteknik (Teknik Sipil)
- e. Pangkat/Golongan : Lektor /III d
- f. Jabatan : Dosen
- g. Fakultas/Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan / Teknik Sipil
- h. Alamat : Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah Jak-Sel.
- i. Telp/Faks/E-mail : 0218410387/hb\_idrus@yahoo.com
- 3 Anggota Peneliti : ---
- 4 Lokasi Penelitian : Cariu, Jonggol, Jawa Barat, Lab. Geoinves Jakarta
- 5 Jumlah biaya : 10.500.000,-

Jakarta, Mei 2020

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
Teknik Sipil**



Ir. Nasir Djalili, MT



**Menyetujui,  
Ketua LP2M – ISTN**



**Ketua Peneliti**



DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
ABSTRAK .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
SURAT PERNYATAAN PENGGANTI SUMPAH .....	iv
SURAT PERNYATAAN DOSEN PEMBIMBING .....	v
SURAT PERSETUJUAN KAPRODI .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2. Pernyataan Masalah .....	3
1.3. Tujuan dan Objek Penelitian .....	4
1.4. Pembatasan Masalah .....	5
1.5. Lingkup Penelitian .....	5
1.6. Kepentingan Penelitian .....	6
1.7. Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Pendahuluan .....	7
2.2. Perilaku <i>Clay Shale</i> .....	7
2.2.1. Perubahan Fisik <i>Clay Shale</i> .....	8
2.2.2. Perubahan sifat fisik <i>clay shale</i> akibat proses pelapukan .....	11
2.3. Kuat Geser Tanah .....	12
2.3.1. Teori Lingkaran Mohr .....	12
2.3.2. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb .....	14
2.4. Uji Laboratorium .....	15

2.4.1. Kadar air .....	15
2.4.2. Penentuan Batas Konsistensi (batas <i>Atterberg</i> ) .....	16
2.4.3. Pemasatan .....	20
2.4.4. Pengujian <i>Triaxial</i> .....	24
2.4.5. <i>Slake Durability</i> .....	24
2.5. Stabilisasi Tanah .....	25
2.5.1. Semen .....	25
2.5.2. Stabilisasi Tanah dengan Semen .....	27

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Pendahuluan .....	30
3.2. Disain dan diagram alur penelitian .....	30
3.3. Persiapan Sampel Uji .....	32
3.4. Prosedur Penelitian Laboratorium .....	33
3.4.1. Uji Kaidah Fisik Tanah ( <i>Index Properties</i> ) .....	33
3.4.2. Pengujian Pemasatan ( <i>Compaction Test</i> ) .....	42
3.4.3. Pengujian Kuat Geser ( <i>Triaxial Test</i> ) .....	45
3.4.4. Pengujian <i>Slake Durability Index</i> .....	47

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1. Umum .....	49
4.2. Properties Tanah <i>Clay Shale</i> .....	49
4.2.1. Penentuan Kadar Air .....	49
4.2.2. Penentuan Berat Jenis .....	50
4.3. Pencampuran % <i>Portland Cement</i> terhadap Konsistensi Tanah	51
4.3.1. % PC terhadap <i>Liquid Limit</i> (LL) .....	51
4.3.2. % PC terhadap <i>Plastic Limit</i> (PL) .....	51
4.3.3. % PC terhadap <i>Plasticity Index</i> (PI) .....	52
4.4. Pemasatan <i>Weathered Clay Shale</i> + <i>Portland Cement</i> .....	54
4.5. Kekuatan Geser <i>Weathered Clay Shale</i> + <i>Portland Cement</i> .....	56
4.5.1. Sudut Geser Dalam $\emptyset$ (°) .....	57
4.5.2. Kohesi (Cu) kN/m <sup>2</sup> .....	57

4.5.3 <i>Shear Strength Ratio</i> ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) .....	58
4.6. Pengaruh % PC terhadap <i>Slake Durability Index</i> (Id-1) .....	58

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan .....	61
5.2. Saran .....	62

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Kegagalan badan jalan apabila permukaan clay shale terbuka setelah dilakukan pemotongan lereng (Alatas, I.M., 2012) .....	2
<b>Gambar 1.2</b>	Keruntuhan lereng yang terus menerus terjadi apabila bidang keruntuhan telah terbentuk pada masa lalu (Irsyam <i>et al.</i> , 2011) .....	3
<b>Gambar 1.3</b>	Perubahan bentuk fisik <i>clay shale</i> dari masa ke masa (Irsya <i>et al.</i> , 2011) .....	4
<b>Gambar 2.1</b>	Perilaku lempung batuan dasar di lapangan (Nandi dan Shakoor, 2008) .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap masa akibat proses pelapukan (Sadisun <i>et al.</i> , 2010) .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Perubahan fisik <i>clay shale</i> dan lainnya akibat pelapukan (Shakoor dan Tej, 2011) .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Perubahan distribusi ukuran butiran akibat sampel yang hancur ( <i>slake</i> ) setelah 1,3,6, dan 9 bulan (Shakoor dan Tej, 2011) .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Perubahan sifat fisik <i>clay shale</i> Semarang-Bawen dan Hambalang terhadap proses pengeringan dan siklus pembasahan pengeringan (Alatas I.M., 2017).....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Sampel silinder untuk pengujian kuat geser tanah .....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Lingkaran Mohr .....	13
<b>Gambar 2.8</b>	Lingkaran Mohr-Coulomb .....	14
<b>Gambar 2.9</b>	Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb ( <i>pole method</i> ) .....	15
<b>Gambar 2.10</b>	Contoh Grafik Kadar Air Optimum (SNI 1742, 2008) .....	16
<b>Gambar 2.11</b>	Diagram batas-batas <i>Atterberg</i> .....	17
<b>Gambar 2.12</b>	Alat casagrande & grafik hasil pengujian (Darwis, 2018) .....	18
<b>Gambar 2.13</b>	Uji batas plastis dengan gulungan tanah $\pm 3.2$ mm (Darwis, 2018) .....	19
<b>Gambar 2.14</b>	Kurva kadar air vs berat volume pada pepadatan .....	23

<b>Gambar 2.15</b> Klasifikasi indeks <i>durability slake</i> (Goodman, 1980) .....	25
<b>Gambar 2.16</b> Spesifikasi persyaratan semen (Ingles dan Metcalf, 1972) .....	26
<b>Gambar 2.17</b> Grafik hubungan antara kadar semen dan kekuatan tanah (Ingles dan Metcalf, 1972) .....	28
<b>Gambar 2.18</b> <i>Effect of soaking on strengteh</i> (Ingles dan Metcalf, 1972) .....	29
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir kerja penelitian stabilisasi <i>clay shale</i> .....	31
<b>Gambar 3.2</b> Lokasi pengambilan sampel <i>clay shale</i> Cariu, Jonggol – Jawa Barat .....	33
<b>Gambar 3.3</b> Pengovenan benda uji .....	34
<b>Gambar 3.4</b> Penimbangan salah satu benda uji setelah dioven .....	35
<b>Gambar 3.5</b> Proses perataan benda uji dalam mangkuk Casagrande .....	36
<b>Gambar 3.6</b> Pembuatan alur benda uji dalam mangkuk Casagrande .....	37
<b>Gambar 3.7</b> Penimbangan benda uji .....	37
<b>Gambar 3.8</b> Penimbangan benda uji (PL) .....	39
<b>Gambar 3.9</b> Picnometer + sampel + air .....	41
<b>Gambar 3.10</b> <i>Clay shale</i> yang telah lapuk (lolos ayakan 8) .....	42
<b>Gambar 3.11</b> Proses penumbukan .....	43
<b>Gambar 3.12</b> Penimbangan hasil pemadatan .....	43
<b>Gambar 3.13</b> Sampel yang telah dibungkus membrane karet .....	46
<b>Gambar 3.14</b> Persiapan alat .....	47
<b>Gambar 3.15</b> Penimbangan sampel + drum .....	48
<b>Gambar 3.16</b> Benda uji siap di oven .....	48
<b>Gambar 4.1</b> Hasil pemadatan tanah <i>clay shale</i> lapuk .....	49
<b>Gambar 4.2</b> Perubahan <i>liquid limit (LL)</i> terhadap penambahan %PC .....	51
<b>Gambar 4.3</b> Perubahan <i>plastic limit (PL)</i> terhadap penambahan %PC .....	52
<b>Gambar 4.4</b> Hasil <i>plasticity index (PI)</i> terhadap penambahan %PC .....	52
<b>Gambar 4.5</b> Perubahan klasifikasi tanah terhadap penambahan %PC, standard USCS .....	53
<b>Gambar 4.6</b> Perubahan kadar air (%) dari sampel uji tanpa dan dengan penambahan %PC .....	55
<b>Gambar 4.7</b> Perubahan berat isi kering (grm/cm <sup>3</sup> ) dari sampel uji tanpa dan dengan penambahan %PC .....	55

<b>Gambar 4.8</b>	Perubahan angka poru dari hasil pemadatan .....	56
<b>Gambar 4.9</b>	Perubahan nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) terhadap %PC .....	57
<b>Gambar 4.10</b>	Perubahan nilai <i>cohesion</i> ( $C_u$ ) terhadap %PC.....	57
<b>Gambar 4.11</b>	Perubahan <i>sheer strength ratio</i> ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) dari hasil pengujian <i>triaxial UU multistate</i> .....	58
<b>Gambar 4.12</b>	Perubahan durabilitas terhadap %PC pada usia 3 hari .....	59



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Nilai indeks plastisitas dan ragam tanah (Darwis, 2018) .....	20
<b>Tabel 2.2</b>	Hubungan antara indeks plastis dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah menurut <i>Atterberg</i> .....	20
<b>Tabel 3.1</b>	Sejumlah sampel dengan variasi kadar air dan prosentase PC .....	32
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil pemadatan tanah <i>clay shale</i> lapuk .....	50
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil pengujian <i>Specific gravity</i> .....	50
<b>Tabel 4.3</b>	Perubahan <i>liquid limit (LL)</i> terhadap penambahan %PC .....	51
<b>Tabel 4.4</b>	Perubahan <i>plastic limit (PL)</i> terhadap penambahan %PC .....	51
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil <i>plasticity index (PI)</i> terhadap penambahan %PC .....	52
<b>Tabel 4.6</b>	Perubahan klasifikasi tanah terhadap penambahan %PC, standard USCS .....	53
<b>Tabel 4.7</b>	Kadar air dan berat isi kering dari sampel uji tanpa dan dengan %PC .....	54
<b>Tabel 4.8</b>	Perubahan angka pori dari hasil pemadatan .....	55
<b>Tabel 4.9</b>	Perubahan parameter kuat geser terhadap penambahan %PC .....	56
<b>Tabel 4.10</b>	Perubahan <i>sheer strength ratio (<math>\Delta\sigma/\sigma_3</math>)</i> dari hasil pengujian <i>triaxial UU multistate</i> %PC .....	56
<b>Tabel 4.11</b>	Hasil uji <i>slake durability index</i> pada <i>fresh clay shale</i> dengan 3 Siklus .....	59
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil uji <i>slake durability index (Id-1)</i> 1 siklus .....	59
<b>Tabel 4.13</b>	Klasifikasi durabilitas 1 cycle .....	60

## KATA PENGANTAR

Dengan mewujudkan rasa syukur kepada Allah swt, alhamdulillah penelitian ini yang berjudul **“Perilaku Tanah Clay Shale Yang Telah Lapuk Distabilisasi Dengan Semen (Studi Kasus Tanah Clay Shale Cariu Jonggol, Jawa Barat)”** selesai kami kerjakan dan di susun dalam laporan penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari seri penelitian yang menyangkut penelitian tentang clay shale yang sedang kami intensifkan untuk diteliti dalam 6 tahun belakangan ini. Kami bersyukur bahwa ini dalam penelitian ini didapat suatu yang sangat bermanfaat dalam melanjutkan seri penelitian clay shale selanjutnya,

Kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terus menerus mensupport kami dalam hal penelitian ini. Terutama kepada rekan kerja kami yang mendukung dan sangat membantu dalam mensukseskan penelitian ini.

Kami sadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, namun adalah suatu titik awal yang sangat baik untuk mengembangkannya dimasa depan. Untuk itu kami berharap masukkannya dari rekan rekan seprofesi untuk menyumbang saran agar dapat menyempurnakan penelitian ini berkembang dimasa depan.

Semogan Allah swt selalu memberikan kekuatan kepada kita semua untuk terus menjalankan penelitian yang bermanfaat untuk perkembangan teknologi dimasa depan.

Peneliti

DR Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

## ABSTRAK

*Clay Shale* adalah batuan elastik sedimen halus yang terdiri dari campuran lumpur yang mempunyai kepingan mineral lempung dan serpihan kecil (lanau berukuran butiran) mineral lain. *Clay Shale* merupakan jenis tanah ekspansif yang akan mengalami pengembangan atau peningkatan volume apabila berkontak dengan air. *Clay shale* pada kondisi tertutup sangat keras namun akan berkurang drastis durabilitas dan kuat gesernya bila terbuka (adanya kontak dengan air dan udara) karena mengalami degradasi. Masalah yang diangkat berkaitan dengan perilaku *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya apabila distabilisasi dengan semen. *Clay shale* sangat tidak stabil pada lereng yang datar dan terlebih di kemiringan. Hal ini memunculkan banyak masalah geoteknik seperti longsohnya beberapa segmen badan jalan di ruas tol Cipularang dan lereng di ruas tol Semarang Bawen, dimana timbunan badan jalan berada di atas material *clay shale*. Konstruksi yang berada di atas *clay shale* banyak mengalami masalah seperti kegagalan daya dukung pondasi, kelongsoran lereng dan lain-lain. Biasanya para ahli geoteknik akan mengadakan penelitian lebih mendetail bila ingin membangun struktur bangunan di atas tanah *clay shale*. Perbaikan tanah diperlukan untuk meningkatkan durabilitas dan kuat geser tanah *clay shale*.

Hasil penelitian ini diharapkan akan menjadi acuan dilapangan untuk digunakan dalam perbaikan/stabilisasi tanah *clay shale* secara umum. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian kuat geser dan durabilitas pada tanah *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya dengan menggunakan variasi campuran semen 0%PC, 5%PC, 10%PC, 15%PC dan 20%PC dan masing – masing variasi tersebut ditambahkan dengan kadar air 3% ( $W_n < W_{opt}$ ), 8% ( $W_n = W_{opt}$ ) dan 13% ( $W_n > W_{opt}$ ). Pengujian dilakukan pada setiap variasi sampel. Mencari durabilitas dengan melakukan pengujian *Slake Durability* dengan 1 siklus putaran, dan untuk mencari kuat geser tanah digunakan Uji Triaksial UU Multistate.

**Kata Kunci :** *clay shale, stabilisasi tanah clay shale, slake durability index, triaxial UU multistate*

# BAB I

## PENDAHULUAN

*Clay shale* adalah batuan elastik sedimen halus yang terdiri dari campuran lumpur yang mempunyai kepingan mineral lempung dan serpihan kecil (lanau berukuran butiran) mineral lain, terutama kuarsa dan kalsit. *Clay shale* mempunyai ciri-ciri berupa patahan menanjang berbentuk lamina tipis atau lapisan berlapis dengan ketelaba kurang dari 1 cm yang disebut '*fissility*' (Blatt dan Robaert, 1996). Ciri '*fissility*' ini tidak terdapat pada batu lumpur lain yang berkomposisi sama. Sepertiga hingga duapertiga kadar batu lumpur adalah butiran lanau berukuran lebih kecil daripada 0,06 mm. Sedangkan kurang dari sepertiga kadar batu lempung adalah butiran lanau. Batuan dengan ukuran butiran yang sama tetapi dengan sedikit lempung atau lebih dua pertiga kadar butiran lanau disebut sebagai batu lanau.

Perilaku rekayasa utama *clay shale* sukar dipahami karena akan menjadi lempung lunak (lumpur) apabila terkena sinar matahari, udara, dan air dalam masa yang singkat. Namun lapisan *clay shale* yang dilindungi dengan lapisan tanah yang cukup tebal mempunyai kekuatan geser yang sangat baik. Perubahan sifat *clay shale* yang masih sulit dipahami ini mendorong penelitian dilakukan terhadap *clay shale* yang mengalami proses pelapukan dan penurunan kekuatan dalam pekerjaan galian.

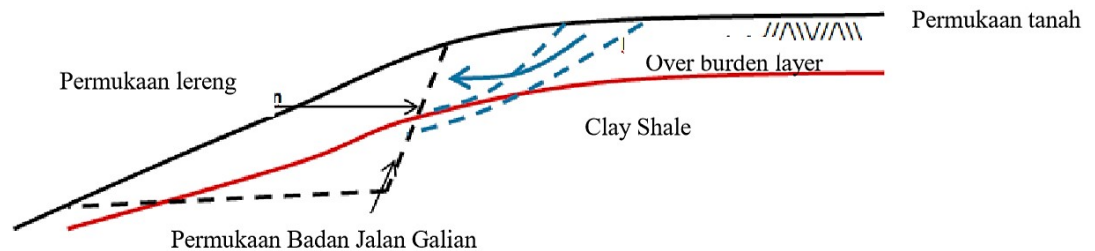
### 1.1. Latar Belakang Penelitian

Beberapa kasus kerusakan infrastruktur bangunan akibat keruntuhan lereng di Indonesia berasal dari kelemahan struktur tanah *clay shale*. Keruntuhan lereng progresif telah diketahui dalam kejadian tanah runtuh seperti di jalan tol Cipularang (Irsyam et al., 2007), Pusat Pendidikan Olah raga Hambalang Sentul Bogor (Alatas, 2010) dan jalan tol Unggaran-Bawen, Jawa Tengah (Hinawan, 2011). Kekurangan data penelitian yang terperinci terhadap jenis tanah ini membuat para *engineer* membuat kekeliruan dalam rekayasa struktur bangunannya.

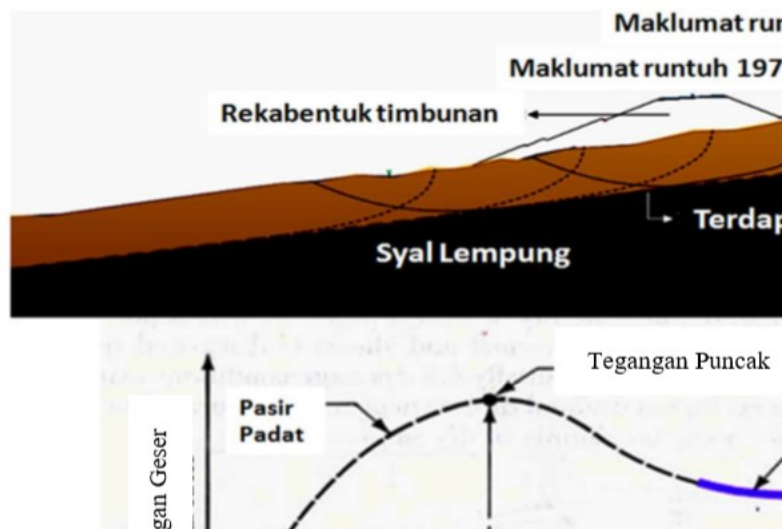
Beberapa kasus kegagalan lainnya banyak terjadi di bangunan infrastruktur jalan, terutama kegagalan yang disebabkan oleh *subgrade* yang mempunyai potensi *swelling* yang cukup besar. Lempung yang memiliki potensi *swelling* yang cukup besar adalah sejenis *clay shale* yang sudah lapuk seluruhnya, karena lempung jenis ini memiliki kandungan minerologi yang sama dengan *clay shale*, seperti *clay shale* di Semarang-Bawen dengan lempung ekspansif disebelah hilirnya di kota Semarang dan disebelah timurnya di daerah Purwadadi.

Penyebab kegagalan pada gambar 1.1 dan gambar 1.2 dapat menggambarkan latar belakang permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Kelemahan perencanaan badan jalan di tanah *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya (*full weathered clay shale*) menyebabkan gagalnya perkerasan jalan berasal dari kesalahan dalam memperkirakan perilaku tanah tersebut dalam menerima daya dukung dan *swelling*.
2. Proses pelapukan *clay shale* bergantung kepada mineral utama dalam *clay shale*, dan bagaimana proses pelapukan itu terjadi
3. Belum diketahui secara pasti peningkatan nilai kuat geser (*triaxial*) jika *clay shale* yang sudah lapuk seluruhnya diperbaiki sifatnya dengan pemberian *portland cement* (PC).
4. Belum diketahui secara pasti keausan tanah (SDI) jika *clay shale* yang sudah lapuk seluruhnya diperbaiki sifatnya dengan pemberian *portland cement* (PC).



**Gambar 1.1** Kegagalan badan jalan apabila permukaan *clay shale* terbuka setelah dilakukan pemotongan lereng (Alatas, I.M., 2012)



**Gambar 1.2** Keruntuhan lereng yang terus menerus terjadi apabila bidang keruntuhan telah terbentuk pada masa lalu (Irsyam et al., 2011)

*Clay shale* sering dijumpai dalam struktur tanah di Indonesia khususnya di Jawa Barat, Jawa Tengah dan di daerah lain di Indonesia. Tanah jenis ini memiliki kekuatan geser yang tinggi pada kedalaman tertentu walaupun dibebani oleh timbunan di atasnya. Namun kekuatan gesernya akan cepat menurun apabila terbuka terhadap atmosfer dan hidrosfir. Dalam keadaan tanah sudah lapuk seluruhnya dan memiliki kandungan air yang cukup besar, maka dapat dikategorikan dalam tanah lempung lunak yang memiliki potensi *swelling* yang cukup besar.

Perilaku kekuatan geser tanah menurun secara drastis apabila tanah tersebut terganggu, terlapuk (Gartung, 1986), dan kehilangan kekuatan (Irsyam et al., 2011). Jika diuji di laboratorium, parameter kekuatan gesernya berubah dengan signifikan bila dibandingkan dengan keadaan asalnya didalam tanah. Hal ini sangat berbeda dengan jenis lempung yang lain dimana pengeringan dan pembasahan tanah tidak memberikan penurunan kekuatan geser yang signifikan.

## 1.2. Pernyataan Masalah

Apabila terjadi proses pengeringan dan pembasahan pada *clay shale*, maka *clay shale* akan menjadi lebih lemah. Ini terjadi karena proses pelapukan melalui pengeringan dan pembasahan telah menyebabkan penurunan kekuatan geser *clay shale* yang berasal dari pelapukan sifat fisiknya tersebut. Dalam gambar 1.3,

perubahan bentuk fisik *clay shale* yang melalui proses pengeringan dan pembasahan terlihat semakin terlapukkan dan kekuatan gesernya semakin berkurang.



**Gambar 1.3** Perubahan bentuk fisik *clay shale* dari masa ke masa (Irsyam et al., 2011)

Kebanyakan penelitian *clay shale* yang lalu yang dibahas dalam Bab 2 menggunakan sampel terganggu untuk mendapatkan kekuatan geser pada tegangan puncak dan keausan tanah *clay shale*. Sampel – sampel tersebut diuji melalui uji *triaxial UU multistage* dan *slake durability test*. Sehubungan itu, penelitian yang dilakukan mendapatkan sifat-sifat *clay shale* secara holistik ini menggunakan hipopenelitian bahwa disain terdahulu telah menggunakan metode normal atas sifat-sifat *clay shale*. Oleh karenanya, melalui penelitian ini parameter *clay shale* dapat dilihat secara terperinci. Parameter – parameter yang diperoleh melalui metode yang telah dirumuskan secara khusus dapat memberikan nilai sebenarnya untuk disain lereng pada masa yang akan datang. Diharapkan agar dapat mengatasi masalah *engineer* dalam disain lereng yang dipengaruhi oleh *clay shale*.

### **1.3. Tujuan dan Objek Penelitian**

Penelitian ini dijalankan dengan tujuan untuk mengkaji *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya, yaitu setelah *clay shale* lapuk seluruhnya kemudian diperbaiki dengan menambahkan prosentase *portland cement* (PC) dengan kondisi

kadar air awal yang berbeda sebelum dipadatkan. Setelah dipadatkan dilihat perilaku pelapukannya.

Hipotesis dalam penelitian ini adalah “dengan dilakukannya stabilisasi tanah *clay shale* yang sudah lapuk seluruhnya menggunakan semen dan penambahan kadar air tertentu dapat meningkatkan durabilitas dan kuat geser tanah”.

Tujuan penelitian dicapai melalui objektif berikut :

1. Menentukan pengaruh *portland cement* yang dicampur pada *clay shale* yang sudah lapuk seluruhnya terhadap perubahan nilai sudut geser dalam dan nilai kohesi.
2. Menentukan penambahan kadar air yang digunakan pada *clay shale* yang sudah lapuk seluruhnya terhadap perubahan nilai kohesi.
3. Menentukan pengaruh *portland cement* dan kadar air yang paling optimum terhadap peningkatan *durability*.

#### **1.4. Pembatasan Masalah**

Pembatasan masalah dalam penulisan ini adalah :

1. Hanya melakukan pengujian pada tanah *clay shale* di Cariu, Jonggol
2. Uji laboratorium yang dilakukan meliputi pemadatan, uji *triaxial UU multistage* dan uji *slake durability indeks*.
3. Jenis semen yang digunakan adalah *portland cement* tipe 1

#### **1.5. Lingkup Penelitian**

Untuk mencapai objektif (1), pengaruh pemakaian *portland cement* yang dicampurkan pada *clay shale* yang sudah melapuk seluruhnya terhadap perbedaan sudut geser dalam. Perbedaan dapat dilihat secara grafis akibat pengaruh penambahan *portland cement*.

Kemudian dalam objektif (2), pengaruh pemakaian *portland cement* dan variasi kadar air yang dicampurkan pada *clay shale* yang sudah melapuk seluruhnya terhadap perbedaan kohesi. Perbedaan dapat dilihat secara grafis akibat pengaruh penambahan *portland cement*.

Selanjutnya dalam objektif (3), penentuan kuantitatif ditentukan dari pemakaian *portland cement* yang efisien dan mampu meningkatkan *durability clay shale* yang telah lapuk.



## **1.6. Kepentingan Penelitian**

Penelitian ini sangat bermanfaat untuk melihat pengaruh penambahan *portland cement* terhadap peningkatan nilai kuat geser tanah (stabilitas tanah) yang telah lapuk seluruhnya yang akan digunakan sebagai badan jalan. Selain itu didapatkan juga bagaimana pengaruh penambahan *portland cement* terhadap keausan tanah *clay shale*.

## **1.7. Sistematika Penulisan**

Penyajian materi penulisan ini akan diuraikan dalam kerangka penulisan sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini meliputi pembahasan tentang latar belakang, pernyataan masalah, tujuan dan objektif penelitian, lingkup penelitian dan kepentingan penelitian

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang penelitian literatur berkaitan dengan *clay shale*, pemadatan, kuat geser tanah, uji laboratorium karakteristik tanah dan *triaxial UU multistage*, serta stabilisasi tanah dengan *clay shale*.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menyajikan diagram alir penelitian dan penjelasan tentang metode uji laboratorium yang akan dilakukan. Pengaruh prosentase penambahan *portland cement* pada kadar air tertentu terhadap nilai kuat geser dan keausan tanah *clay shale*.

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang hasil uji properties tanah asli, uji properties tanah *clay shale* yang sudah lapuk seluruhnya dengan penambahan *portland cement*, perubahan nilai kuat geser, perubahan nilai keausan tanah dan hubungan antara kuat geser dan keausan tanah.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

Bab ini menyampaikan penelitian literatur dari beberapa peneliti terdahulu yang menghubungkan perilaku dan kekuatan geser *clay shale* dan ketahanan *clay shale* yang sudah lapuk bila distabilisasi dengan bahan tertentu dalam hal ini menggunakan semen.

Beberapa penelitian kekuatan geser *clay shale* yang lalu telah menunjukkan hasil berbagai jenis uji di laboratorium pada tegangan puncak dan tegangan sisa. Penelitian mengenai kekuatan geser ini sangat penting dalam pembahasan dan validasi hasil penelitian uji yang diperoleh.

Penelitian terdahulu mengenai uji kekuatan geser dengan sistem bertahap sangat penting untuk menentukan kohesi dan sudut geser dalam *clay shale*. Uji triaksial dengan sistem bertahap (*triaxial UU multistage*) diaplikasi untuk menentukan kekuatan geser sisa tanpa pelepasan tegangan dan dengan pelepasan tegangan. Dalam setiap uji *triaxial UU multistage*, gambar sampel yang runtuh diambil untuk dibahas pada bab seterusnya.

Parameter yang diperolehi dari kekuatan geser tersebut diperlukan dalam penentuan faktor keamanan lereng yang sangat penting dalam rekayasa geoteknik. Hal ini menyebabkan munculnya pembahasan tentang penentuan faktor keamanan dengan metode kesetimbangan batas serta metode unsur terhingga dalam beberapa literatur. Penelitian ini sangat penting terutamanya dalam kasus keruntuhan lereng dan untuk itu analisis balik dibuat dalam menentukan kekuatan geser semasa terjadinya keruntuhan lereng.

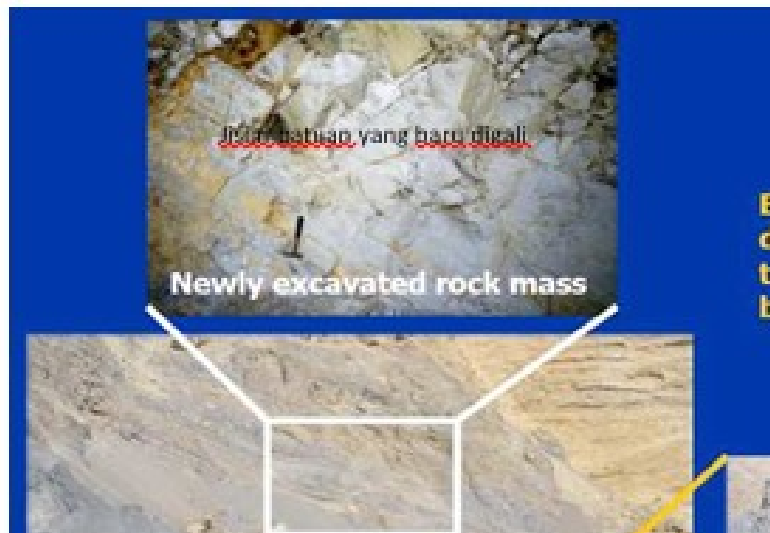
#### 2.2 Perilaku *Clay Shale*

Banyak penelitian telah dilakukan mengenai keruntuhan lereng melalui penelitian lapangan ataupun penelitian di laboratorium, contohnya keruntuhan lereng di hulu empangan San Luis California yang disokong oleh tanah lempung kaku dan kering. Dalam penelitian tersebut ditunjukkan bahwa kekuatan geser tanah lempung menurun dengan cepat pada kekuatan melemah penuh (*fully*

*softened*) ketika tanah lempung basah (Timothy *et al.*, 1991). Manakala pada penelitian tanah lempung yang dikenakan beban berulang, kekuatan menurun secara bertahap daripada melemah sepenuhnya kepada nilai sisa. Tanah lempung yang sangat terkukuh (*overconsolidated*) biasanya bersifat stabil dan memiliki kekuatan geser bandingan yang tinggi dalam keadaan asalnya. Perubahan kimia semasa proses pelapukan mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser (Skempton, 1977). Ini bergantung pada kekuatan pelapukan, yaitu zon lemah akan berkembang pada lereng yang berpotensi menjadi tidak stabil. Di zon yang paling tinggi kekuatannya, gerakan kecil mulai terbentuk dan mengakibatkan pengurangan progresif dari kekuatan geser yang menyebabkan ketidakstabilan pada lereng (Skempton, 1977).

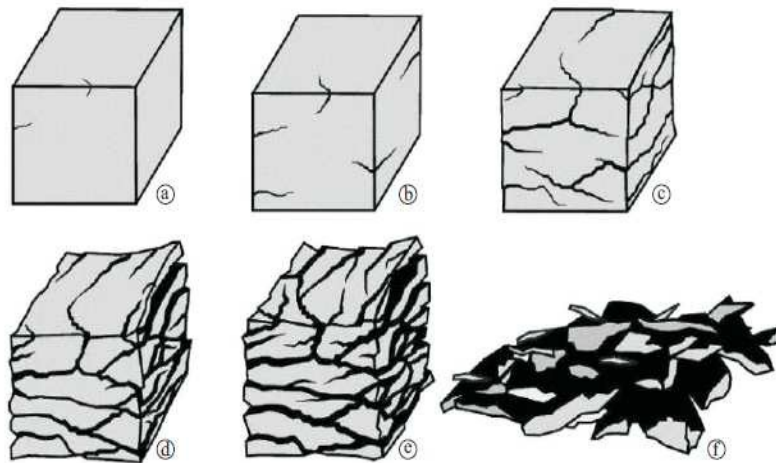
### 2.2.1 Perubahan Fisik *Clay Shale*

Perilaku rekayasa *clay shale* adalah suatu perihal yang sangat rumit. Jika *clay shale* terkena cahaya matahari, udara dan air, maka dalam waktu yang singkat akan terlapukkan dan berubah menjadi lempung lunak. Dari penelitian terdahulu (Shakoor dan Tej, 2011), *clay shale* adalah sebagian jenis lempung batuan dasar (*clay-bearing rocks*), batu lempung, batu lumpur dan batu lanau (Nandi dan Shakoor, 2008) seperti dalam Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Perilaku lempung-batuan dasar di lapangan (Nandi dan Shakoor, 2008)

Secara umumnya pelapukan dapat didefinisikan sebagai proses perubahan batuan yang terjadi di bawah pengaruh atmosfer dan hidrosfir. Perubahan tersebut boleh dalam bentuk disintegritas fisik dan penguraian kimia. Di kawasan iklim tropika, proses ini lebih sering terjadi berbanding keadaan iklim lainnya (Sadisun *et al.*, 2006). Gambar 2.3 di bawah ini adalah suatu ilustrasi proses kehancuran *clay shale* akibat pelapukan (Sadisun *et al.*, 2010).



**Gambar 2.2** Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap masa akibat proses pelapukan (Sadisun *et al.*, 2010)

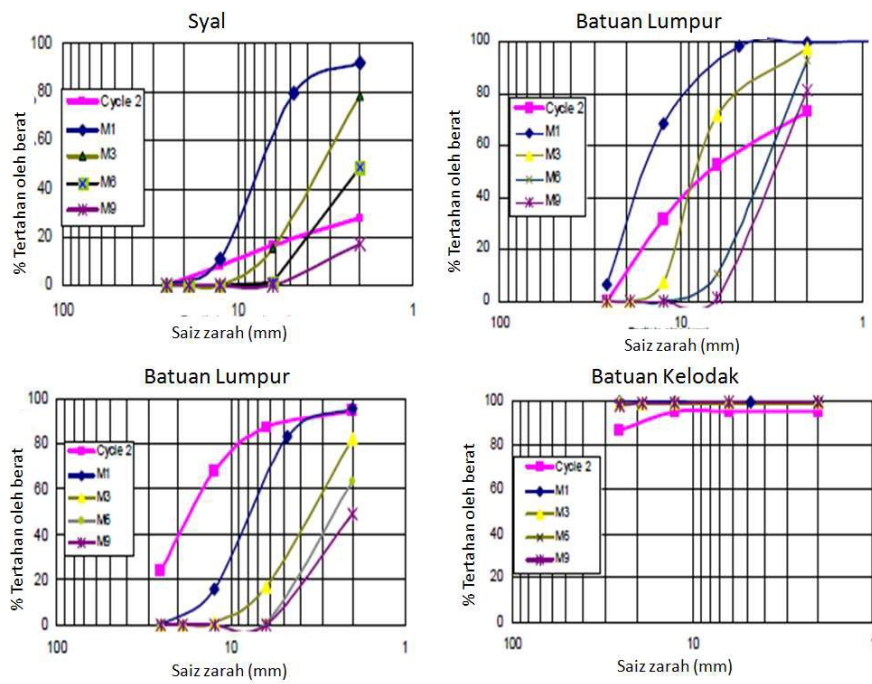
Terdapat parameter dari dua uji yang seharusnya diketahui untuk jenis tanah ini, yang tidak diperlukan bagi tanah lempung lain yaitu:

- a. Indeks ketahananlasakan (*slake durability index*)
- b. Ratio disintegritas (*disintegration ratio*)

Uji indeks ketahananlasakan ini dilakukan di laboratorium hingga lima siklus (ASTM D 4644-87, 1989) dan hasil penelitian empat jenis batuan lempung yang dilakukan pelapukan dalam beberapa masa perubahan distribusi ukuran butiran (*grain size distribution*) terjadi dari masa ke semasa disebabkan oleh proses tersebut (Erguler dan Shakoor, 2009; Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015).



**Gambar 2.3** Perubahan fisik *clay shale* dan lainnya akibat pelapukan (Shakoor dan Tej, 2011)



**Gambar 2.4** Perubahan distribusi ukuran butiran akibat sampel yang hancur (*slake*) setelah 1, 3, 6, dan 9 bulan (Shakoor dan Tej, 2011)

### 2.2.2 Perubahan Sifat Fisik *Clay Shale* Akibat Proses Pelapukan

Perubahan yang sangat signifikan akibat proses pelapukan ialah perubahan fisik *clay shale*. Perubahan fisik *clay shale* akibat pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan diamati dengan perubahan dari distribusi ukuran butiran. Hal ini dilakukan agar pelapukan yang terjadi dapat diukur secara kuantitatif dengan melakukan uji distribusi ukuran butiran.

Untuk mengetahui pengaruh pengeringan terhadap pelapukan *clay shale*, uji distribusi ukuran butiran dibuat bagi setiap 8 hari pengeringan. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan uji distribusi ukuran butiran dibuat dengan perubahan jumlah pembasahan pada setiap 8 hari. Pembasahan adalah 1 kali dalam 8 hari, 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan 3 kali pembasahan dalam 8 hari.

Untuk mengetahui secara kuantitatif pengaruh pelapukan dari dua proses tersebut diatas, maka ditentukan nilai disintegritas ( $D_R$ ) sebagai parameter yang sangat kentara untuk mengukur secara kuantitatif ciri-ciri pengepungan (*slaking characteristic*) *clay shale* karena kejadian pelapukan (Erguler dan Shakoor, 2009; Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015). Ini adalah untuk mengetahui perubahan rasio disintegritas terhadap masa pengeringan dan siklus pembasahan. Perincian pengaruh kuantitatif perendaman terhadap perubahan rasio disintegritas pada siklus pembasahan dan pengeringan diperoleh hingga masa 80 hari.

Perubahan sistem klasifikasi ketahananlasakan akibat pelapukan dengan proses pengeringan dan pembasahan pengeringan juga ditentukan berdasarkan atas rasio disintegritas ( $D_R$ ) yang terjadi. Sistem klasifikasi ketahananlasakan *clay shale* berlandaskan kepada standar dari *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM, 2007).



**Gambar 2.5** Perubahan sifat fisik *clay shale* Semarang-Bawen dan Hambalang terhadap proses pengeringan dan siklus pembasahan-pengeringan (Alatas I.M., 2017).

### 2.3. Kuat Geser Tanah

Kekuatan tanah (*soil strength*) meliputi beberapa aspek, yaitu :

- Kuat geser (*shear strength*)
- Daya dukung (*bearing capacity*)
- Tekanan tanah lateral (*earth lateral pressure*)
- Stabilitas lereng (*slope stability*)

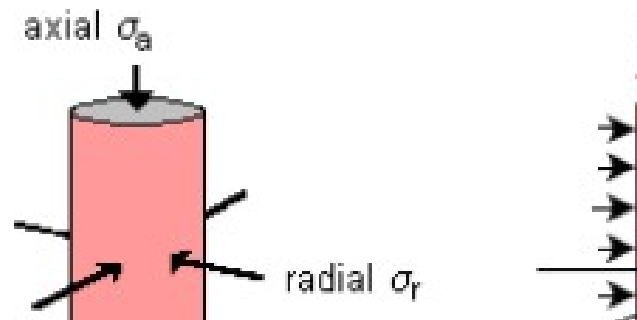
Kekuatan geser tanah adalah kekuatan material atau komponen material terhadap jenis beban atau kegagalan struktur dimana material atau komponennya gagal dalam geser. Beban geser adalah gaya yang cenderung menghasilkan kegagalan geser pada material sepanjang bidang yang sejajar dengan arah gaya. Secara umum kekuatan geser tanah diartikan sebagai kemampuan tanah melawan tegangan geser yang timbul didalam tanah. Kekuatan geser tanah didefinisikan oleh Duncan dan Wright(2005) sebagai tegangan geser maksimum yang dapat bertahan dari tanah.

#### 2.3.1. Teori Lingkaran Mohr

Berdasarkan pengertian kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan, maka bila tanah mengalami pembebanan, beban tersebut akan ditahan oleh :

- Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak bergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser
- Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Untuk mengetahui nilai dari kedua parameter diatas, dilakukan pengujian terhadap tanahnya dengan menggunakan sampel berbentuk silinder dengan tegangan radial dan tegangan aksial bekerja pada bidang utama. Bidang vertikal biasanya merupakan bidang utama minor sedangkan bidang horizontal adalah bidang utama major. Tegangan radial ( $\sigma_r$ ) adalah tegangan utama minor ( $\sigma_3$ ), dan tegangan aksial ( $\sigma_a$ ) adalah tegangan utama major ( $\sigma_1$ ).



**Gambar 2.6.** Sampel silinder untuk pengujian kuat geser tanah

Untuk memvisualisasikan tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada bidang runtuh didalam sampel tanah dibuat representasi grafis dari tegangan yang disebut 'lingkaran Mohr'. Mohr (1910) menyatakan bahwa kondisi keruntuhan suatu bahan akan terjadi akibat adanya kombinasi antara kondisi kritis dari tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya.

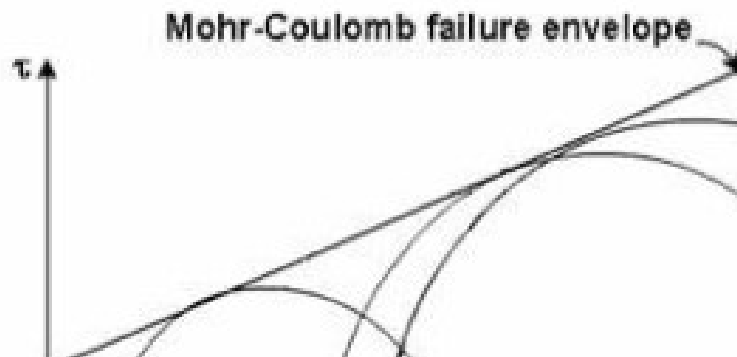


**Gambar 2.7** Lingkaran Mohr



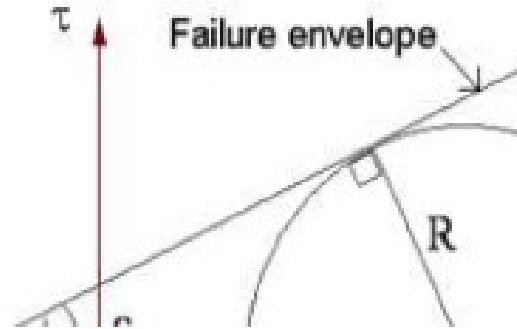
### 2.3.2. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Ketika sampel tanah runtuh maka tegangan geser pada bidang keruntuhan akan menentukan kekuatan geser tanah. Dengan asumsi bahwa ada bidang kegagalan dan mungkin akibat tekanan utama (tegangan geser), dan akan diukur di laboratorium dengan melakukan uji *triaxial UU multistage*. Kemudian lingkaran Mohr dari tegangan pada kegagalan sampel dapat ditarik dengan menggunakan nilai tegangan utama yang dihasilkan dari pengujian tersebut. Dari beberapa pengujian yang dilakukan sampai terjadi kegagalan, dapat digambarkan serangkaian lingkaran Mohr (dengan penggambaran hanya bagian atasnya). Selanjutnya dapat dibuat garis tangensial dari sejumlah lingkaran Mohr yang disebut selimut keruntuhan (*failure envelope*) Mohr-Coulomb



**Gambar 2.8** Lingkaran Mohr-Coulomb

Jika kondisi tegangan untuk sampel tanah lainnya ditunjukkan oleh lingkaran Mohr yang terletak dibawah selimut keruntuhan, maka setiap bidang dalam sampel mengalami tegangan geser yang lebih kecil dari kekuatan geser sampel. Dengan demikian titik singgung dari selimut keruntuhan akan menjadi penentu dalam kemiringan bidang keruntuhan.



**Gambar 2.9** Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (*pole method*)

Persamaan umum kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb adalah :

$$\tau_f = c + \sigma_f \cdot \tan \phi \quad (2.1)$$

Dimana :

$\tau_f$  = tegangan geser pada bidang kegagalan

$c$  = kohesi tanah

$\sigma_f$  = tegangan normal pada bidang kegagalan

$\phi$  = sudut gesekan dalam tanah.

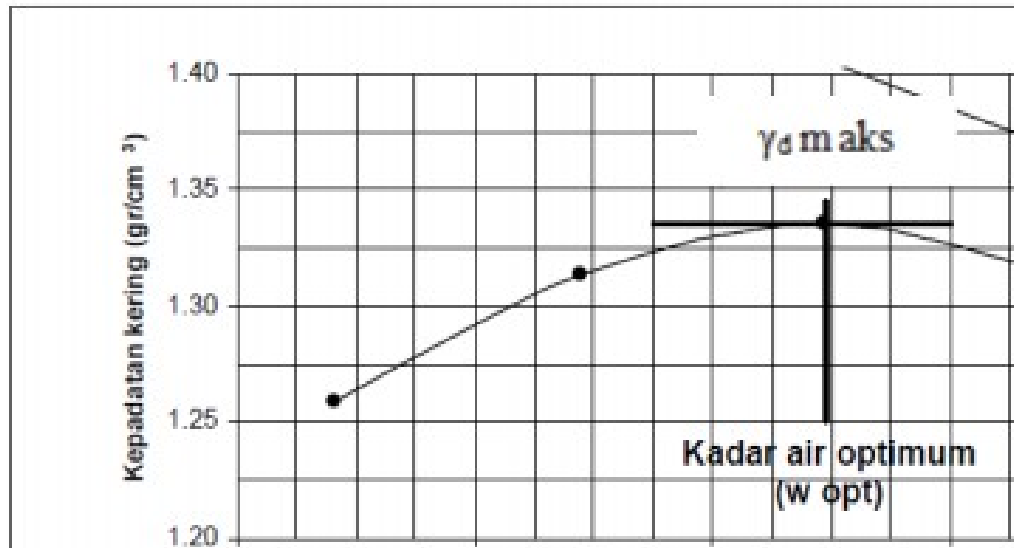
## 2.4. Uji Laboratorium

### 2.4.1. Kadar Air

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran mineral-mineral padat yang tidak tersementasi satu sama lainnya serta terletak di atas batuan dasar. Ikatan antar butiran relatif lemah disebabkan karena adanya ruang (rongga) diantara partikel-partikel butiran tanah. Ruang tersebut dapat berisi air, udara maupun keduanya.

Apabila tanah sudah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya. Air hanya dapat dihilangkan sama sekali dari tanah apabila dilakukan dengan tindakan khusus untuk maksud tersebut, misalnya dengan memanaskan didalam oven. Penyelidikan tanah yang memadai merupakan suatu pekerjaan pendahuluan yang sangat penting pada perencanaan sebuah proyek. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengujian kadar air pada tanah. Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antar berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran ( $W_s$ ) dalam tanah tersebut dan dinyatakan dalam persen. Cara penetapan kadar air dapat dilakukan dengan sejumlah tanah basah yang dikeringkan dalam oven

dengan suhu 100°C - 110°C untuk waktu tertentu. Air yang hilang karena pengeringan merupakan sejumlah air yang terkandung dalam tanah tersebut.



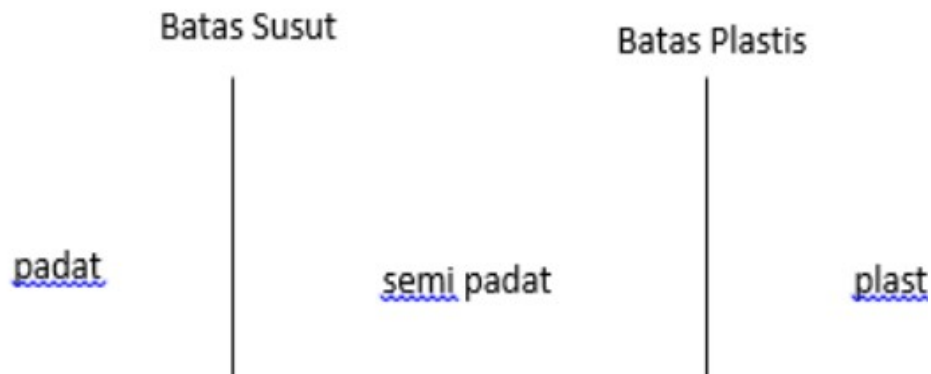
**Gambar 2.10** Contoh grafik kadar air optimum (SNI 1742, 2008)

#### 2.4.2. Penentuan Batas Konsistensi (Batas Atterberg)

(Das, 1985) Kadar air, dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas – batas ini dikenal juga sebagai batas – batas *Atterberg* (*Atterberg limits*).

Plastisitas tanah menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk (*shape change*) pada volume yang konstan tanpa terjadi retak-retak atau remuk pada tanah tersebut.

Konsistensi tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air, yang mana tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, dan padat. Konsistensi adalah kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Konsistensi ini tergantung pada gaya tarik antar partikel lempung di dalam tanah



**Gambar 2.11 Diagram batas – batas *Atterberg***  
(Darwis, 2018)

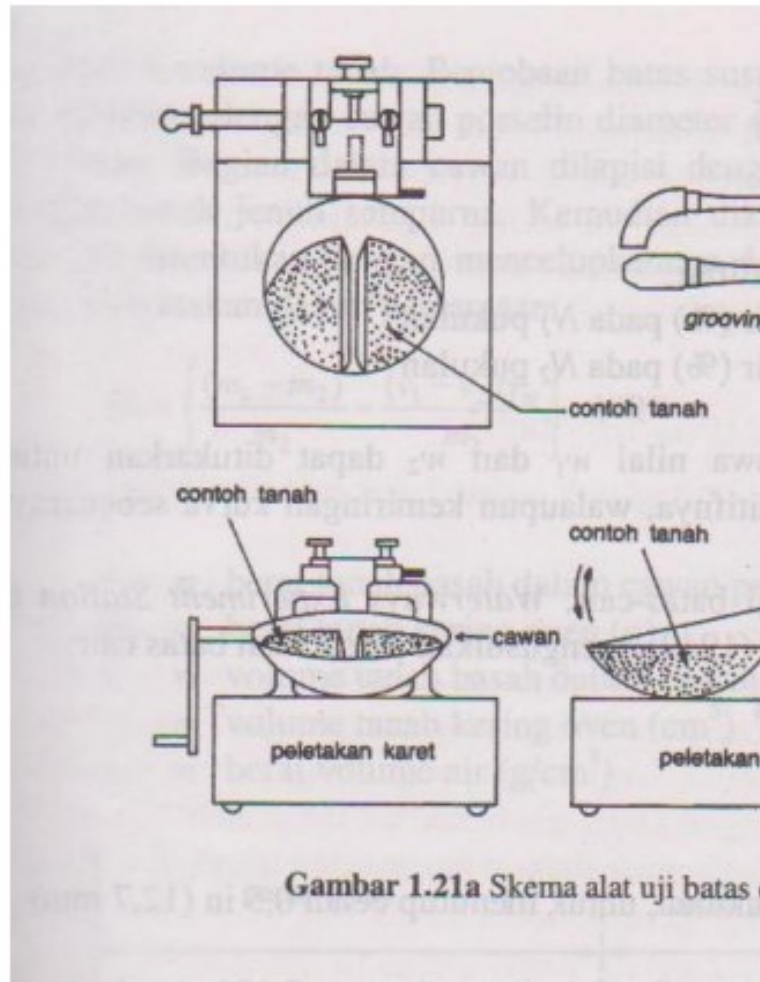
Batas- batas *Atterberg* terdiri atas ; batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

**a. Batas Cair (*Liquid Limit*)**

Batas cair (*liquid limit*), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

Pengujian batas cair dilakukan dengan uji *Casagrande* (1948), yang mana contoh tanah dimasukkan kedalam cawan *Casagrande* kemudian permukaannya diratakan, dan dialur (*grooving*) tepat ditengah. Selanjutnya dengan alat penggetar cawan tersebut diketuk-ketukan pada landasanya dengan tinggi jatuh 1 cm sebanyak 25 ketukan. Bila alur selebar 12,7 mm yang berada di tengah tertutup sampai batasan 25 ketukan, maka kadar air tanah pada saat itu merupakan “batas cair”.

Karena sulitnya membuat percobaan yang memungkinkan alur tertutup tepat pada ketukan 25 kali, maka perlu dilakukan percobaan berulang-ulang dengan mengambil nilai ketukan antara 15 sampai 35 ketukan saat alur tertutup. Dari data tersebut dibuat grafik semilog, kemudian dicari berapa nilai kadar air pada ketukan ke -25.



**Gambar 2.12** Alat *Casagrande* & grafik hasil pengujian  
(Darwis, 2018)

#### b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (*plastic limit*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Kadar air tanah yang digulung dalam kondisi tersebut merupakan nilai “batas plastis” tanah.



**Gambar 2.13** Uji batas plastis dengan gulungan tanah  $\pm 3.2$  mm  
(Darwis, 2018)

**c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)**

Batas susut (*shrinkage limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya (Hardiyatmo, 1992).

**d. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)**

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dengan batas plastis pada tanah.

$$PI = LL - PL$$

Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah, jika nilai PI tinggi maka tanah mengandung banyak lempung, dan jika nilai PI rendah maka tanah mengandung banyak lanau. Ciri dan sifat dari tanah lanau adalah dengan kadar air yang berkurang sedikit saja tanah akan menjadi kering. Batas-batas konsistensi digunakan untuk mengkarakterisasi perilaku tanah lempung dan lanau ketika kadar air berubah. Klasifikasi lempung dan lanau terutama berdasarkan pada batas konsistensi. Oleh *Atterberg* diberikan batasan nilai indeks plastisitas dengan sifat – sifat, ragam tanah dan kohesifitasnya, sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Nilai indeks plastisitas dan ragam tanah  
(Darwis, 2018)

PI	Sifat	Ragam Tanah
0	Non Plastis	Pasir
< 7	Plastisitas rendah	Lanau
		Lempung

Hubungan antara indeks plastisitas dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah digambarkan dalam tabel 2.2

**Tabel 2.2** Hubungan antara indeks plastis dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah menurut *Atterberg*

PI	TINGKAT PLASTISITAS
0	Tidak plastis / Non PI
$0 < PI < 7$	Plastisitas rendah
$7 < PI < 17$	Plastisitas sedang

(Alfred R. Jumikis)

#### 2.4.3. Pematatan

Material tanah bukan hanya dimanfaatkan sebagai lapisan pendukung konstruksi, tetapi juga tidak jarang digunakan secara langsung sebagai bahan konstruksi. Tanah yang dimanfaatkan sebagai pendukung konstruksi seperti pada *subgrade* jalan, lapisan tanah dasar pondasi untuk berbagai jenis konstruksi, dan lain-lain. Sedangkan tanah yang digunakan secara langsung sebagai bahan konstruksi seperti backfill dinding penahan, *subbase* jalan, material bending tipe urugan, material tanggul/pematang, dan lain sebagainya.

Apabila kondisi tanah kurang baik, maka perlu dilakukan perbaikan, dan metode pematatan adalah salah satu cara perbaikan tanah yang sering dilakukan,

baik untuk tanah yang digunakan sebagai material bangunan maupun tanah yang dimanfaatkan sebagai lapisan dasar pendukung pondasi.

Peristiwa bertambahnya berat volume kering pada tanah akibat beban dinamis disebut “pemadatan”. Akibat beban dinamis butir-butir tanah akan merapat satu sama lain, sehingga mengakibatkan berkurangnya rongga udara didalam tanah. Jadi pemadatan adalah penerapan energi mekanis terhadap tanah sehingga dapat memperbaiki susunan partikelnya, dan mengurangi angka pori tanah.

Maksud dari pemadatan tanah adalah untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada, terutama pada pekerjaan urugan atau reklamasi seperti pada konstruksi tanggul, *subgrade* jalan, landasan pacu, bendungan tanah, dinding tanah yang diperkuat, dan lain sebagainya. Pemadatan juga biasanya digunakan untuk menyiapkan lahan tempat material (*stock field*) selama pelaksanaan konstruksi.

Pada dasarnya pemadatan tanah merupakan salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya dukung dan kekuatan geser, serta memperbaiki sifat-sifat fisis pada tanah. Tujuan dari pemadatan tanah antara lain:

- a. Meningkatkan daya dukung tanah, dimana pemadatan dapat mengakibatkan meningkatnya berat volume pada tanah, sehingga akan memperbesar daya dukung tanah.
- b. Meningkatkan kekuatan geser tanah, dimana peningkatan berat volume tanah akan meningkatkan tegangan tanah, dan menurunkan angka pori tanah sehingga menurunkan pula tekanan pori pada tanah.
- c. Mengurangi permeabilitas tanah, dimana dengan penurunan angka pori akan menurunkan debit air yang mampu menembus masa tanah.
- d. Mengurangi kompresibilitas tanah, dimana pemadatan tanah akan membuat perubahan angka pori sebelum dan sesudah bekerjanya beban, sehingga koefisien pemampatan akan menurun.
- e. Mengurangi perubahan volume pada tanah sebagai akibat perubahan kadar air tanah, dimana dengan pori yang mengecil akan menjadikan perubahan angka pori yang kecil pula.

Kepadatan tanah dapat diukur dengan nilai berat volume kering yang dapat dicapai ( $\gamma_d$ ). Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas pemadatan di



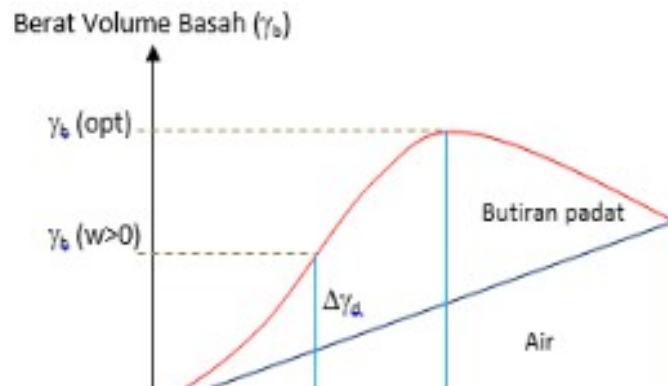
lapangan antara lain :

- Jenis tanah yang dipadatkan
- Cara pemadatan
- Mesin pemadat
- Jumlah lintasan/frekuensi pemadatan.

Tanah granular lebih mudah dipadatkan dibandingkan tanah bergradasi halus. Tanah lanau juga akan memberikan hasil pemadatan yang cukup baik, namun tanah lanau sulit dipadatkan dalam kondisi basah, karena permeabilitasnya yang rendah. Tanah lempung membutuhkan metode khusus untuk pemadatannya, dan hanya akan memberikan hasil optimal bila metode yang diterapkan sesuai dengan sifat dan kondisi lempungnya. Pada umumnya semua jenis tanah lempung sangat sulit dipadatkan dalam kondisi basah, apalagi kondisi jenuh air.

Pada pemadatan, beban yang digunakan adalah beban dinamis, dan proses bertambahnya berat volume kering pada tanah adalah akibat dari merapatnya partikel tanah, yang diikuti pengurangan volume udara dengan volume air tetap. Pada saat air ditambahkan pada proses pemadatan, air akan melunakkan partikel-partikel tanah, sehingga partikel tanah akan menggelincir dan bergerak pada posisi yang lebih rapat. Oleh karena itu pekerjaan pemadatan biasanya dilakukan dengan penambahan air secara bertahap, hingga kadar air mencapai nilai optimum ( $W_{opt}$ )

Pada proses pemadatan terlihat berat volume kering bertambah seiring dengan penambahan kadar air. Pada kadar air nol ( $W=0$ ), berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ), akan sama dengan berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ). Apabila kadar air ditambahkan secara berangsur-angsur dan pemadatan tetap dilakukan dengan konsiten, maka berat butiran tanah per satuan volume juga akan bertambah seperti pada gambar.



**Gambar 2.14** Kurva kadar air vs berat volume pada pemadatan

Pada kadar air melampaui kadar air tertentu, terlihat bahwa kenaikan kadar air justru akan mengurangi berat volume kering pada tanah. Nilai kadar air tersebut dinamakan “kadar air optimum”. Menurunnya nilai berat volume kering setelah kadar air optimum terlampaui, disebabkan karena air yang di tambahkan bukan lagi berfungsi melunakkan partikel tanah tapi justru mengisi rongga yang seharusnya diisi oleh butiran padat. Hal ini akan menyebabkan partikel tanah menjadi renggang kembali, karena volume pori meningkat akibat peningkatan tekanan air pori didalam tanah.

Pengujian pemadatan tanah dilaboratorium dimaksudkan untuk mengetahui kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) pada material yang akan dipadatkan, dan untuk mengetahui parameter tanah, sehingga dapat dilakukan perhitungan tingkat perbaikan kinerja tanah sesuai tujuan yang hendak dicapai setelah tanah mengalami pemadatan seperti peningkatan daya dukung, kuat geser dan lain sebagainya. Pada dasarnya uji pemadatan diperlukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dengan berat volume, yang dibutuhkan untuk mengevaluasi persyaratan kepadatan tanah. Pengujian laboratorium yang biasa dilakukan sebagai prosedur standar salam uji pemadatan adalah :

- Uji pemadatan *Proctor standard*
- Uji pemadatan *Proctor modified*
- Uji pemadatan yang bersifat lokal, seperti *Indian standard*, *Japan standard* dan lain sebagainya.

#### **2.4.4. Pengujian *Triaxial***

Tujuan percobaan adalah untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam dari suatu tanah.

Ada tiga macam percobaan triaxial :

- a. *Unconsolidated Undrained*
- b. *Consolidated Undrained*
- c. *Consolidated Drained*

Dalam hal ini percobaan yang kita lakukan adalah *Unconsolidated Undrained (triaxial UU multistage)* atau disebut *quick test* yang merujuk pada SNI 4813:2015. Benda uji mula-mula dibebani beban dengan tegangan sel, kemudian dibebani dengan tegangan normal, melalui penerapan tegangan deviator sampai mencapai keruntuhan. Pada penerapan ini tegangan deviator selama pergeserannya, tidak diijinkan air keluar dari benda uji. Jadi selama pengujian, katup drainase ditutup. Karena pada pengujiannya air tidak diijinkan keluar, beban normal tidak ditransferkan ke butiran tanahnya. Keadaan tanpa drainase ini menyebabkan adanya kelebihan tekanan pori dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanahnya.

#### **2.4.5. *Slake Durability***

Uji *slake durability* adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk melihat pengaruh pelapukan terhadap batuan. Namun mekanisme yang terlibat didalam uji *slake durability* belum benar-benar dipahami. Mekanisme pergerakan batuan didalam aparatus telah dimengerti, namun efek dari pelapukan masih belum diketahui. Franklin dan Chandra mengindikasikan bahwa mekanisme yang terdapat dalam uji durabilitas adalah akibat adanya pertukaran ion dan tekanan kapiler. Dengan durasi tes yang hanya berlangsung selama 10 menit, proses pembasahan mungkin hanya terjadi dibeberapa bagian batuan, terutama di permukaan, tapi dengan kecepatan rotasi dan ketinggian air maka hampir seluruh bagian batuan menjadi basah.

Saat batuan menjadi lebih jenuh, porositas batuan meningkat, dimana menyebabkan tekanan kapiler meningkat pada sampel dan menimbulkan retakan. Karena meningkatnya kadar air didalam pori, terbentuklah retakan pada batuan yang mengakibatkan batuan mengalami pelapukan. Namun di dalam uji *slake*

*durability*, batuan tidak hanya mendapat perlakuan basah dan kering, namun juga mekanisme yang diakibatkan rotasi drum juga ikut terlibat. Pengaruh rotasi drum masih belum diketahui. Jadi tujuan utama dari uji *slake durability* hanyalah untuk menentukan indeks durabilitas *slake* tanpa mengetahui mekanisme apa saja yang bekerja pada batuan.

Golongan	Indeks durabilitas slake siklus 1 (%)	Indeks durabilitas slake siklus 2 (%)
Durabilitas sangat tinggi	>99	>98
Durabilitas tinggi	98 ± 99	95 ± 98
Durabilitas menengah tinggi	95 ± 98	85 ± 95
Durabilitas menengah	85 ± 95	60 ± 85
Durabilitas rendah	60 ± 85	30 ± 60
Durabilitas sangat rendah	< 60	< 30

**Gambar 2.15** Klasifikasi indeks *durability slake* (Goodman, 1980)

## 2.5. Stabilisasi Tanah

Upaya perbaikan tanah yang bermasalah salah satunya dilakukan dengan melakukan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tanah dan meningkatkan ketahanan terhadap kadar air yang dikandungnya (Sherwood, 1993). Stabilisasi tanah diukur dari perubahan karakteristik teknis tanah antara lain kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air (Hardiyatmo, 2010).

### 2.5.1. Semen

Semen merupakan bahan pozolanik yang sifatnya dapat mengikat serta dapat mengeras bila bereaksi dengan air. Reaksi semen dan air akan membentuk suatu material yang kuat dan keras yang disebut *hydraulic cement*. Material *portland cement* sebagian besarnya terdiri dari kapur (CaO), silikat (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Distribusi ukuran butiran *portland cement* adalah antara 0 – 100 mikron dengan diameter rata-rata 20 mikron. Untuk butiran yang lebih besar dari ini semen tidak dapat berhidrasi secara lengkap.

Butiran semen berukuran 10 mikron mungkin memerlukan tiga bulan untuk selesai berhidrasi. Oleh Karena itu semen yang lebih halus akan lebih menguntungkan. Kekuatan yang lebih tinggi dari stabilisasi tanah menggunakan *portland cement* dapat dihasilkan dari semen yang lebih halus (Hartosukma, 2005).

Cement Type	Minimum C Stren
	kgf/cm <sup>2</sup>
Portland cement <sup>[2]</sup>	
A – ordinary	386.7
B – high early strength	527.3
C – low heat cement <sup>[3]</sup>	316.4
Masonry cement <sup>[4]</sup>	63.3

- [1] Sand mortar cubes tested after 24 hours in moist s
- [2] Initial set shall develop in not less than one hour an 12 hours.
- [3] The fineness index of Type C cement shall be 4200 cm<sup>2</sup>/g. The heat of hydration shall not exee

**Gambar 2.16** Spesifikasi persyaratan semen (Ingles dan Metcalf, 1972)

Semen yang umumnya digunakan dalam konstruksi adalah semen tipe I. Namun masih terdapat empat jenis semen lainnya yang digunakan dalam kondisi khusus. Jenis-jenis semen tersebut adalah (McCormac, 2004) :

- a. Semen tipe I , yaitu semen serba guna yang digunakan pada pekerjaan konstruksi biasa
- b. Semen tipe II, yaitu semen modifikasi yang mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah daripada semen tipe I dan memiliki ketahanan terhaap sulfat yang cukup tinggi.
- c. Semen tipe III, yaitu semen dengan kekuatan awal yang tinggi yang dalam 24 jam akan menghasilkan beton dengan kekuatan sekitar dua kali semen tipe I. Semen jenis ini memiliki panas hidrasi yang jauh lebih tinggi
- d. Semen tipe IV, yaitu semen dengan panas hidrasi rendah yang

menghasilkan beton yang melepaskan panas dengan sangat lambat

- e. Semen tipe V, yaitu semen yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Faktor air semen (FAS) merupakan perbandingan antara berat air dan berat semen dalam suatu campuran. Banyaknya air yang digunakan selama proses hidrasi semen akan mempengaruhi kekuatannya. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi semen hanya sekitar 25% dari berat semennya. Penambahan jumlah air lebih dari ini justru akan mengurangi kekuatannya setelah mengeras (Tjokrodinuljo,1996).

Faktor air semen yang rendah akan menyebabkan air yang berada di antara butiran semen sedikit sehingga jarak antar butir-butiran semen menjadi lebih pendek dan angka pori lebih kecil. Akibatnya batuan semen mencapai kepadatan yang tinggi dan kuat tekan yang besar. Sebaliknya penambahan air yang banyak menyebabkan jarak antar partikel semen semakin jauh sehingga batuan semen memiliki angka pori yang besar. Akibatnya kepadatan batuan semen menurun dan kuat tekannya berkurang.

### **2.5.2. Stabilisasi Tanah dengan Semen**

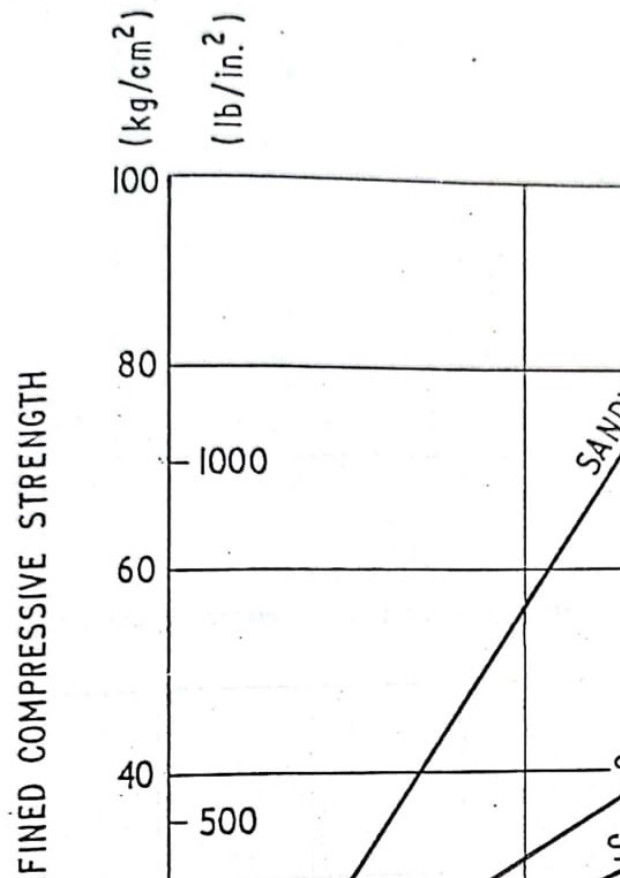
Metode stabilisasi tanah telah digunakan untuk mengatasi dan memecahkan berbagai macam masalah kondisi tanah dan memperbaiki sifat rekayasa yang diinginkan dari tanah yang ada. Secara umum, perbaikan atau stabilisasi tanah dapat diartikan sebagai proses yang dilakukan untuk mencapai peningkatan sifat geoteknik dari tanah pada suatu lokasi (Nicholson, 2015).

Tujuan dari stabilisasi tanah pada dasarnya adalah untuk mengubah sifat alami dari tanah dan atau mengontrol perilaku geotekniknya. Diantara sifat-sifat tanah yang biasanya diperbaiki adalah (Nicholson, 2015) :

- a. Mengurangi kompresibilitas untuk menghindari penurunan
- b. Meningkatkan kekuatan untuk meningkatkan stabilitas, daya dukung dan daya tahan
- c. Mengurangi permeabilitas untuk membatasi aliran air tanah
- d. Meningkatkan permeabilitas untuk memungkinkan drainase

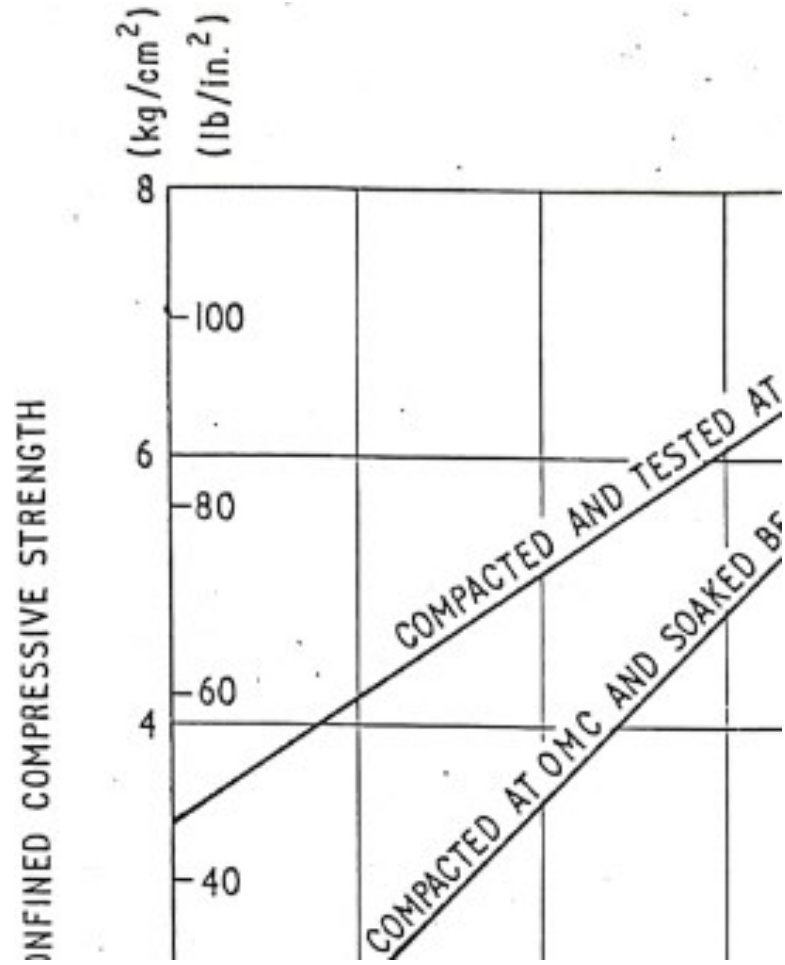
e. Mengurangi potensi likuifaksi akibat gempa

Pengaruh dari penambahan *portland cement* terhadap peningkatan kekuatan tanah pada berbagai jenis tanah yang dicuring selama 7 hari pada suhu 25°C ditunjukkan pada gambar 2.17 (Ingles dan Metcalf, 1972)



**Gambar 2.17** Grafik hubungan antara kadar semen dan kekuatan tanah (Ingles dan Metcalf, 1972)

Pengaruh dari pengeraman terhadap benda uji tanah *clay shale* yang telah dicampur semen terlihat pada gambar 2.18



**Gambar 2.18** *Effect of soaking on strength* (Ingles dan Metcalf, 1972)



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

Bab ini menyampaikan penelitian literatur dari beberapa peneliti terdahulu yang menghubungkan perilaku dan kekuatan geser *clay shale* dan ketahanan *clay shale* yang sudah lapuk bila distabilisasi dengan bahan tertentu dalam hal ini menggunakan semen.

Beberapa penelitian kekuatan geser *clay shale* yang lalu telah menunjukkan hasil berbagai jenis uji di laboratorium pada tegangan puncak dan tegangan sisa. Penelitian mengenai kekuatan geser ini sangat penting dalam pembahasan dan validasi hasil penelitian uji yang diperoleh.

Penelitian terdahulu mengenai uji kekuatan geser dengan sistem bertahap sangat penting untuk menentukan kohesi dan sudut geser dalam *clay shale*. Uji triaksial dengan sistem bertahap (*triaxial UU multistage*) diaplikasi untuk menentukan kekuatan geser sisa tanpa pelepasan tegangan dan dengan pelepasan tegangan. Dalam setiap uji *triaxial UU multistage*, gambar sampel yang runtuh diambil untuk dibahas pada bab seterusnya.

Parameter yang diperolehi dari kekuatan geser tersebut diperlukan dalam penentuan faktor keamanan lereng yang sangat penting dalam rekayasa geoteknik. Hal ini menyebabkan munculnya pembahasan tentang penentuan faktor keamanan dengan metode kesetimbangan batas serta metode unsur terhingga dalam beberapa literatur. Penelitian ini sangat penting terutamanya dalam kasus keruntuhan lereng dan untuk itu analisis balik dibuat dalam menentukan kekuatan geser semasa terjadinya keruntuhan lereng.

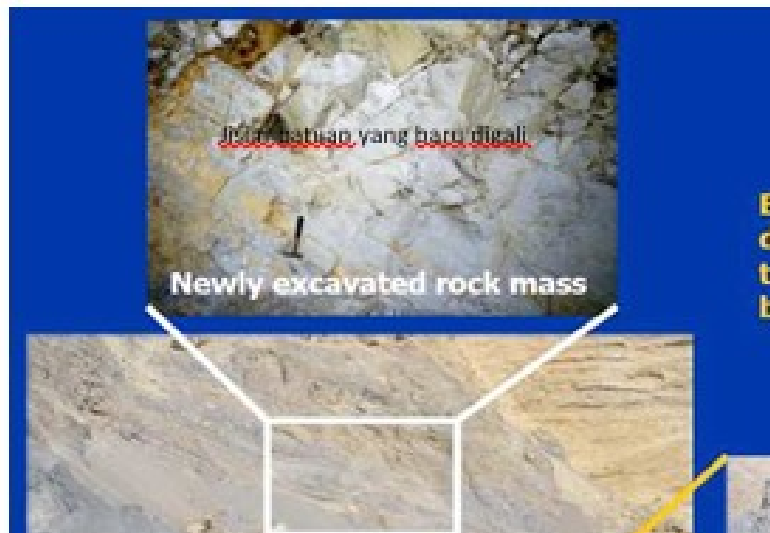
#### 2.2 Perilaku *Clay Shale*

Banyak penelitian telah dilakukan mengenai keruntuhan lereng melalui penelitian lapangan ataupun penelitian di laboratorium, contohnya keruntuhan lereng di hulu empangan San Luis California yang disokong oleh tanah lempung kaku dan kering. Dalam penelitian tersebut ditunjukkan bahwa kekuatan geser tanah lempung menurun dengan cepat pada kekuatan melemah penuh (*fully*

*softened*) ketika tanah lempung basah (Timothy *et al.*, 1991). Manakala pada penelitian tanah lempung yang dikenakan beban berulang, kekuatan menurun secara bertahap daripada melemah sepenuhnya kepada nilai sisa. Tanah lempung yang sangat terkukuh (*overconsolidated*) biasanya bersifat stabil dan memiliki kekuatan geser bandingan yang tinggi dalam keadaan asalnya. Perubahan kimia semasa proses pelapukan mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser (Skempton, 1977). Ini bergantung pada kekuatan pelapukan, yaitu zon lemah akan berkembang pada lereng yang berpotensi menjadi tidak stabil. Di zon yang paling tinggi kekuatannya, gerakan kecil mulai terbentuk dan mengakibatkan pengurangan progresif dari kekuatan geser yang menyebabkan ketidakstabilan pada lereng (Skempton, 1977).

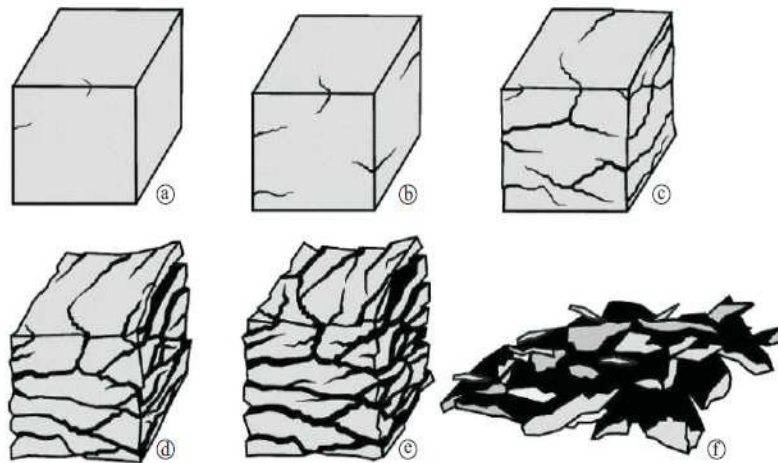
### 2.2.1 Perubahan Fisik *Clay Shale*

Perilaku rekayasa *clay shale* adalah suatu perihal yang sangat rumit. Jika *clay shale* terkena cahaya matahari, udara dan air, maka dalam waktu yang singkat akan terlapukkan dan berubah menjadi lempung lunak. Dari penelitian terdahulu (Shakoor dan Tej, 2011), *clay shale* adalah sebagian jenis lempung batuan dasar (*clay-bearing rocks*), batu lempung, batu lumpur dan batu lanau (Nandi dan Shakoor, 2008) seperti dalam Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Perilaku lempung-batuan dasar di lapangan (Nandi dan Shakoor, 2008)

Secara umumnya pelapukan dapat didefinisikan sebagai proses perubahan batuan yang terjadi di bawah pengaruh atmosfer dan hidrosfir. Perubahan tersebut boleh dalam bentuk disintegritas fisik dan penguraian kimia. Di kawasan iklim tropika, proses ini lebih sering terjadi berbanding keadaan iklim lainnya (Sadisun *et al.*, 2006). Gambar 2.3 di bawah ini adalah suatu ilustrasi proses kehancuran *clay shale* akibat pelapukan (Sadisun *et al.*, 2010).



**Gambar 2.2** Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap masa akibat proses pelapukan (Sadisun *et al.*, 2010)

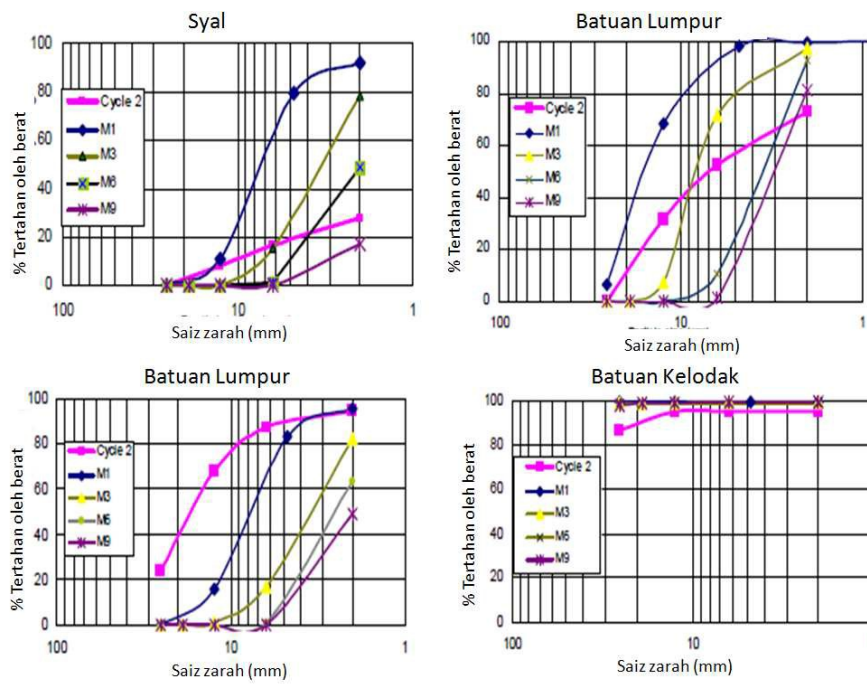
Terdapat parameter dari dua uji yang seharusnya diketahui untuk jenis tanah ini, yang tidak diperlukan bagi tanah lempung lain yaitu:

- a. Indeks ketahananlasakan (*slake durability index*)
- b. Ratio disintegritas (*disintegration ratio*)

Uji indeks ketahananlasakan ini dilakukan di laboratorium hingga lima siklus (ASTM D 4644-87, 1989) dan hasil penelitian empat jenis batuan lempung yang dilakukan pelapukan dalam beberapa masa perubahan distribusi ukuran butiran (*grain size distribution*) terjadi dari masa ke semasa disebabkan oleh proses tersebut (Erguler dan Shakoor, 2009; Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015).



**Gambar 2.3** Perubahan fisik *clay shale* dan lainnya akibat pelapukan (Shakoor dan Tej, 2011)



**Gambar 2.4** Perubahan distribusi ukuran butiran akibat sampel yang hancur (*slake*) setelah 1, 3, 6, dan 9 bulan (Shakoor dan Tej, 2011)

### 2.2.2 Perubahan Sifat Fisik *Clay Shale* Akibat Proses Pelapukan

Perubahan yang sangat signifikan akibat proses pelapukan ialah perubahan fisik *clay shale*. Perubahan fisik *clay shale* akibat pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan diamati dengan perubahan dari distribusi ukuran butiran. Hal ini dilakukan agar pelapukan yang terjadi dapat diukur secara kuantitatif dengan melakukan uji distribusi ukuran butiran.

Untuk mengetahui pengaruh pengeringan terhadap pelapukan *clay shale*, uji distribusi ukuran butiran dibuat bagi setiap 8 hari pengeringan. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan uji distribusi ukuran butiran dibuat dengan perubahan jumlah pembasahan pada setiap 8 hari. Pembasahan adalah 1 kali dalam 8 hari, 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan 3 kali pembasahan dalam 8 hari.

Untuk mengetahui secara kuantitatif pengaruh pelapukan dari dua proses tersebut diatas, maka ditentukan nilai disintegritas ( $D_R$ ) sebagai parameter yang sangat kentara untuk mengukur secara kuantitatif ciri-ciri pengepungan (*slaking characteristic*) *clay shale* karena kejadian pelapukan (Erguler dan Shakoor, 2009; Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015). Ini adalah untuk mengetahui perubahan rasio disintegritas terhadap masa pengeringan dan siklus pembasahan. Perincian pengaruh kuantitatif perendaman terhadap perubahan rasio disintegritas pada siklus pembasahan dan pengeringan diperoleh hingga masa 80 hari.

Perubahan sistem klasifikasi ketahananlasakan akibat pelapukan dengan proses pengeringan dan pembasahan pengeringan juga ditentukan berdasarkan atas rasio disintegritas ( $D_R$ ) yang terjadi. Sistem klasifikasi ketahananlasakan *clay shale* berlandaskan kepada standar dari *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM, 2007).



**Gambar 2.5** Perubahan sifat fisik *clay shale* Semarang-Bawen dan Hambalang terhadap proses pengeringan dan siklus pembasahan-pengeringan (Alatas I.M., 2017).

### 2.3. Kuat Geser Tanah

Kekuatan tanah (*soil strength*) meliputi beberapa aspek, yaitu :

- Kuat geser (*shear strength*)
- Daya dukung (*bearing capacity*)
- Tekanan tanah lateral (*earth lateral pressure*)
- Stabilitas lereng (*slope stability*)

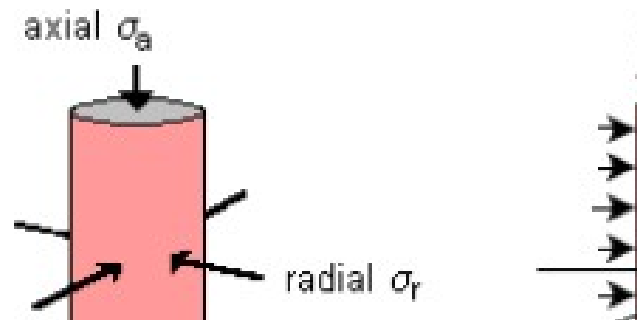
Kekuatan geser tanah adalah kekuatan material atau komponen material terhadap jenis beban atau kegagalan struktur dimana material atau komponennya gagal dalam geser. Beban geser adalah gaya yang cenderung menghasilkan kegagalan geser pada material sepanjang bidang yang sejajar dengan arah gaya. Secara umum kekuatan geser tanah diartikan sebagai kemampuan tanah melawan tegangan geser yang timbul didalam tanah. Kekuatan geser tanah didefinisikan oleh Duncan dan Wright(2005) sebagai tegangan geser maksimum yang dapat bertahan dari tanah.

#### 2.3.1. Teori Lingkaran Mohr

Berdasarkan pengertian kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan, maka bila tanah mengalami pembebanan, beban tersebut akan ditahan oleh :

- Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak bergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser
- Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Untuk mengetahui nilai dari kedua parameter diatas, dilakukan pengujian terhadap tanahnya dengan menggunakan sampel berbentuk silinder dengan tegangan radial dan tegangan aksial bekerja pada bidang utama. Bidang vertikal biasanya merupakan bidang utama minor sedangkan bidang horizontal adalah bidang utama major. Tegangan radial ( $\sigma_r$ ) adalah tegangan utama minor ( $\sigma_3$ ), dan tegangan aksial ( $\sigma_a$ ) adalah tegangan utama major ( $\sigma_1$ ).



**Gambar 2.6.** Sampel silinder untuk pengujian kuat geser tanah

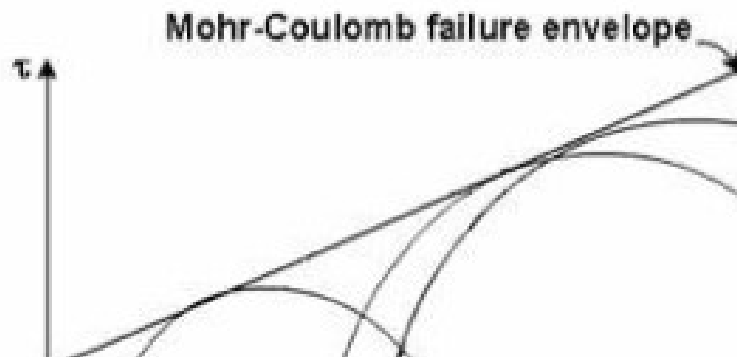
Untuk memvisualisasikan tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada bidang runtuh didalam sampel tanah dibuat representasi grafis dari tegangan yang disebut 'lingkaran Mohr'. Mohr (1910) menyatakan bahwa kondisi keruntuhan suatu bahan akan terjadi akibat adanya kombinasi antara kondisi kritis dari tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya.



**Gambar 2.7** Lingkaran Mohr

### 2.3.2. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

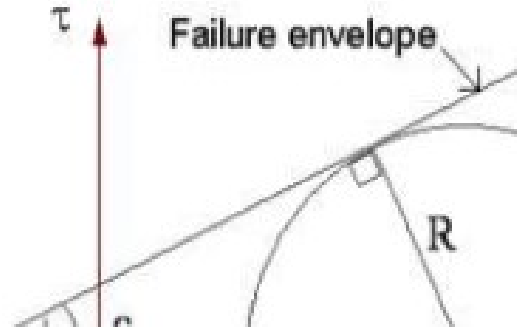
Ketika sampel tanah runtuh maka tegangan geser pada bidang keruntuhan akan menentukan kekuatan geser tanah. Dengan asumsi bahwa ada bidang kegagalan dan mungkin akibat tekanan utama (tegangan geser), dan akan diukur di laboratorium dengan melakukan uji *triaxial UU multistage*. Kemudian lingkaran Mohr dari tegangan pada kegagalan sampel dapat ditarik dengan menggunakan nilai tegangan utama yang dihasilkan dari pengujian tersebut. Dari beberapa pengujian yang dilakukan sampai terjadi kegagalan, dapat digambarkan serangkaian lingkaran Mohr (dengan penggambaran hanya bagian atasnya). Selanjutnya dapat dibuat garis tangensial dari sejumlah lingkaran Mohr yang disebut selimut keruntuhan (*failure envelope*) Mohr-Coulomb



**Gambar 2.8** Lingkaran Mohr-Coulomb

Jika kondisi tegangan untuk sampel tanah lainnya ditunjukkan oleh lingkaran Mohr yang terletak dibawah selimut keruntuhan, maka setiap bidang dalam sampel mengalami tegangan geser yang lebih kecil dari kekuatan geser sampel. Dengan demikian titik singgung dari selimut keruntuhan akan menjadi penentu dalam kemiringan bidang keruntuhan.





**Gambar 2.9** Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (*pole method*)

Persamaan umum kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb adalah :

$$\tau_f = c + \sigma_f \cdot \tan \phi \quad (2.1)$$

Dimana :

$\tau_f$  = tegangan geser pada bidang kegagalan

$c$  = kohesi tanah

$\sigma_f$  = tegangan normal pada bidang kegagalan

$\phi$  = sudut gesekan dalam tanah.

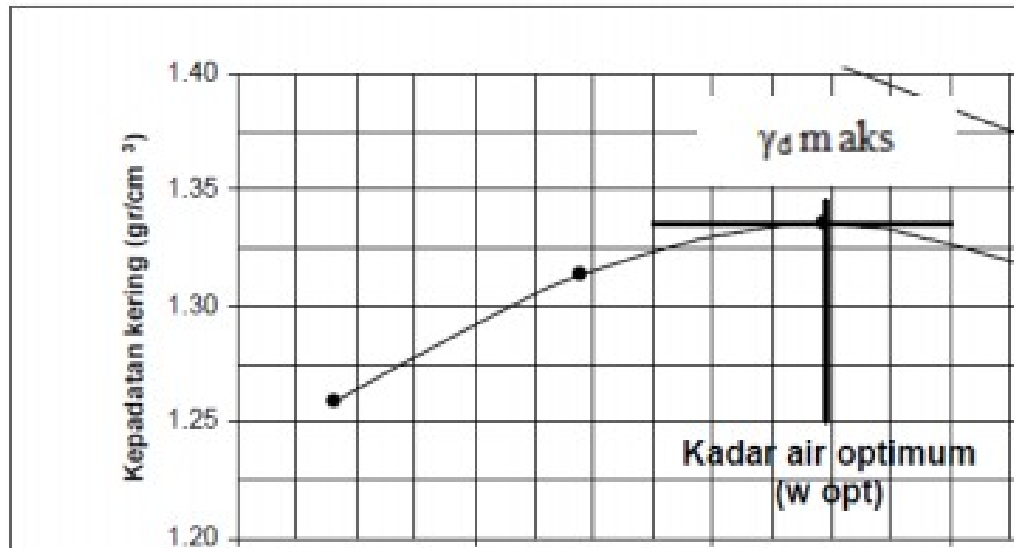
## 2.4. Uji Laboratorium

### 2.4.1. Kadar Air

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran mineral-mineral padat yang tidak tersementasi satu sama lainnya serta terletak di atas batuan dasar. Ikatan antar butiran relatif lemah disebabkan karena adanya ruang (rongga) diantara partikel-partikel butiran tanah. Ruang tersebut dapat berisi air, udara maupun keduanya.

Apabila tanah sudah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya. Air hanya dapat dihilangkan sama sekali dari tanah apabila dilakukan dengan tindakan khusus untuk maksud tersebut, misalnya dengan memanaskan didalam oven. Penyelidikan tanah yang memadai merupakan suatu pekerjaan pendahuluan yang sangat penting pada perencanaan sebuah proyek. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengujian kadar air pada tanah. Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antar berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran ( $W_s$ ) dalam tanah tersebut dan dinyatakan dalam persen. Cara penetapan kadar air dapat dilakukan dengan sejumlah tanah basah yang dikeringkan dalam oven

dengan suhu 100°C - 110°C untuk waktu tertentu. Air yang hilang karena pengeringan merupakan sejumlah air yang terkandung dalam tanah tersebut.



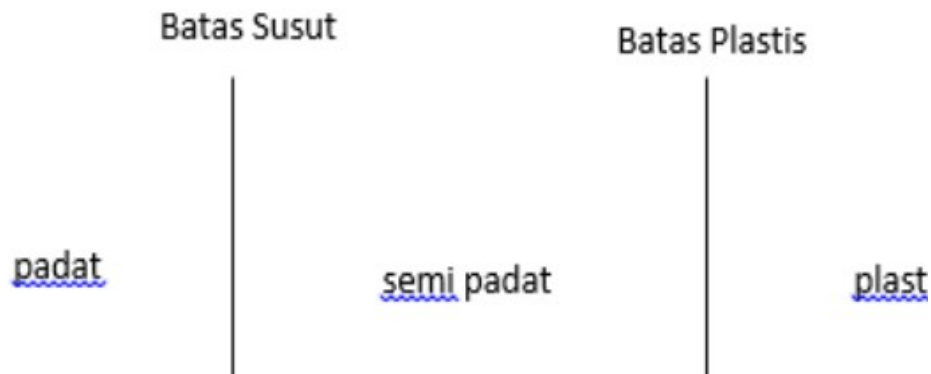
**Gambar 2.10** Contoh grafik kadar air optimum (SNI 1742, 2008)

#### 2.4.2. Penentuan Batas Konsistensi (Batas Atterberg)

(Das, 1985) Kadar air, dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas – batas ini dikenal juga sebagai batas – batas *Atterberg* (*Atterberg limits*).

Plastisitas tanah menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk (*shape change*) pada volume yang konstan tanpa terjadi retak-retak atau remuk pada tanah tersebut.

Konsistensi tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air, yang mana tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, dan padat. Konsistensi adalah kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Konsistensi ini tergantung pada gaya tarik antar partikel lempung di dalam tanah



**Gambar 2.11 Diagram batas – batas Atterberg**  
(Darwis, 2018)

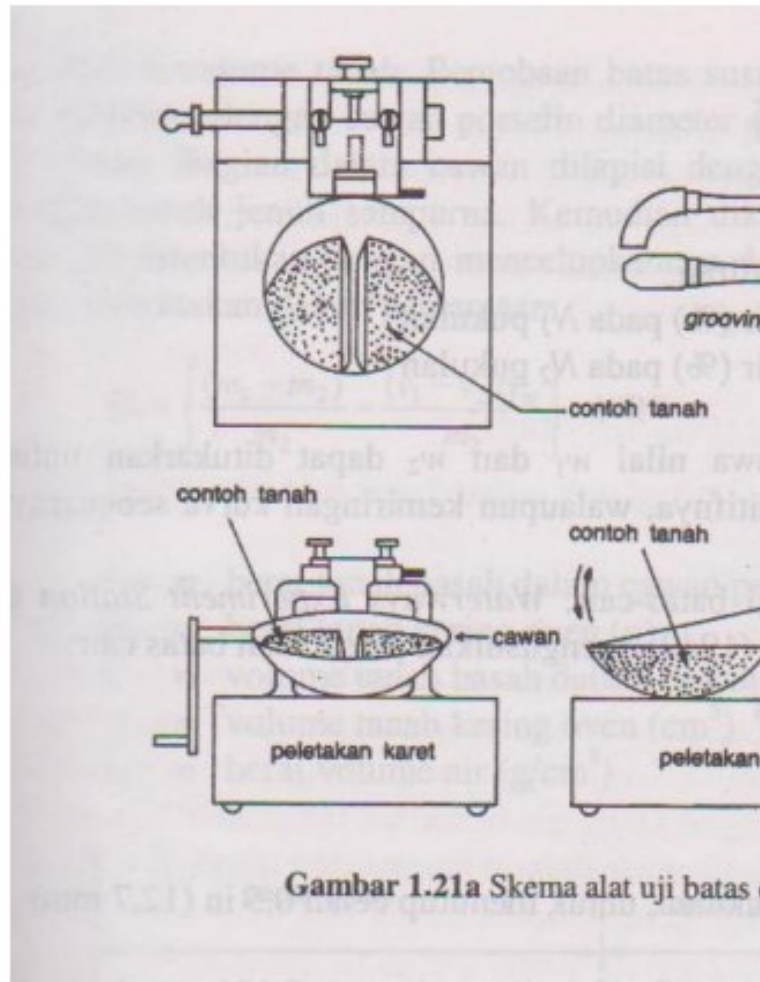
Batas- batas *Atterberg* terdiri atas ; batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

**a. Batas Cair (*Liquid Limit*)**

Batas cair (*liquid limit*), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

Pengujian batas cair dilakukan dengan uji *Casagrande* (1948), yang mana contoh tanah dimasukkan kedalam cawan *Casagrande* kemudian permukaannya diratakan, dan dialur (*grooving*) tepat ditengah. Selanjutnya dengan alat penggetar cawan tersebut diketuk-ketukan pada landasanya dengan tinggi jatuh 1 cm sebanyak 25 ketukan. Bila alur selebar 12,7 mm yang berada di tengah tertutup sampai batasan 25 ketukan, maka kadar air tanah pada saat itu merupakan “batas cair”.

Karena sulitnya membuat percobaan yang memungkinkan alur tertutup tepat pada ketukan 25 kali, maka perlu dilakukan percobaan berulang-ulang dengan mengambil nilai ketukan antara 15 sampai 35 ketukan saat alur tertutup. Dari data tersebut dibuat grafik semilog, kemudian dicari berapa nilai kadar air pada ketukan ke -25.



**Gambar 2.12** Alat *Casagrande* & grafik hasil pengujian  
(Darwis, 2018)

**b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)**

Batas plastis (*plastic limit*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika di gulung. Kadar air tanah yang digulung dalam kondisi tersebut merupakan nilai “batas plastis” tanah.



**Gambar 2.13** Uji batas plastis dengan gulungan tanah  $\pm 3.2$  mm  
(Darwis, 2018)

**c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)**

Batas susut (*shrinkage limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya (Hardiyatmo, 1992).

**d. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)**

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dengan batas plastis pada tanah.

$$PI = LL - PL$$

Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah, jika nilai PI tinggi maka tanah mengandung banyak lempung, dan jika nilai PI rendah maka tanah mengandung banyak lanau. Ciri dan sifat dari tanah lanau adalah dengan kadar air yang berkurang sedikit saja tanah akan menjadi kering. Batas-batas konsistensi digunakan untuk mengkarakterisasi perilaku tanah lempung dan lanau ketika kadar air berubah. Klasifikasi lempung dan lanau terutama berdasarkan pada batas konsistensi. Oleh *Atterberg* diberikan batasan nilai indeks plastisitas dengan sifat – sifat, ragam tanah dan kohesifitasnya, sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Nilai indeks plastisitas dan ragam tanah  
(Darwis, 2018)

PI	Sifat	Ragam Tanah
0	Non Plastis	Pasir
< 7	Plastisitas rendah	Lanau
		Lempung

Hubungan antara indeks plastisitas dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah digambarkan dalam tabel 2.2

**Tabel 2.2** Hubungan antara indeks plastis dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah menurut *Atterberg*

PI	TINGKAT PLASTISITAS
0	Tidak plastis / Non PI
$0 < PI < 7$	Plastisitas rendah
$7 < PI < 17$	Plastisitas sedang

(Alfred R. Jumikis)

### 2.4.3. Pematatan

Material tanah bukan hanya dimanfaatkan sebagai lapisan pendukung konstruksi, tetapi juga tidak jarang digunakan secara langsung sebagai bahan konstruksi. Tanah yang dimanfaatkan sebagai pendukung konstruksi seperti pada *subgrade* jalan, lapisan tanah dasar pondasi untuk berbagai jenis konstruksi, dan lain-lain. Sedangkan tanah yang digunakan secara langsung sebagai bahan konstruksi seperti backfill dinding penahan, *subbase* jalan, material bending tipe urugan, material tanggul/pematang, dan lain sebagainya.

Apabila kondisi tanah kurang baik, maka perlu dilakukan perbaikan, dan metode pematatan adalah salah satu cara perbaikan tanah yang sering dilakukan,

baik untuk tanah yang digunakan sebagai material bangunan maupun tanah yang dimanfaatkan sebagai lapisan dasar pendukung pondasi.

Peristiwa bertambahnya berat volume kering pada tanah akibat beban dinamis disebut “pemadatan”. Akibat beban dinamis butir-butir tanah akan merapat satu sama lain, sehingga mengakibatkan berkurangnya rongga udara didalam tanah. Jadi pemadatan adalah penerapan energi mekanis terhadap tanah sehingga dapat memperbaiki susunan partikelnya, dan mengurangi angka pori tanah.

Maksud dari pemadatan tanah adalah untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada, terutama pada pekerjaan urugan atau reklamasi seperti pada konstruksi tanggul, *subgrade* jalan, landasan pacu, bendungan tanah, dinding tanah yang diperkuat, dan lain sebagainya. Pemadatan juga biasanya digunakan untuk menyiapkan lahan tempat material (*stock field*) selama pelaksanaan konstruksi.

Pada dasarnya pemadatan tanah merupakan salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya dukung dan kekuatan geser, serta memperbaiki sifat-sifat fisis pada tanah. Tujuan dari pemadatan tanah antara lain:

- a. Meningkatkan daya dukung tanah, dimana pemadatan dapat mengakibatkan meningkatnya berat volume pada tanah, sehingga akan memperbesar daya dukung tanah.
- b. Meningkatkan kekuatan geser tanah, dimana peningkatan berat volume tanah akan meningkatkan tegangan tanah, dan menurunkan angka pori tanah sehingga menurunkan pula tekanan pori pada tanah.
- c. Mengurangi permeabilitas tanah, dimana dengan penurunan angka pori akan menurunkan debit air yang mampu menembus masa tanah.
- d. Mengurangi kompresibilitas tanah, dimana pemadatan tanah akan membuat perubahan angka pori sebelum dan sesudah bekerjanya beban, sehingga koefisien pemampatan akan menurun.
- e. Mengurangi perubahan volume pada tanah sebagai akibat perubahan kadar air tanah, dimana dengan pori yang mengecil akan menjadikan perubahan angka pori yang kecil pula.

Kepadatan tanah dapat diukur dengan nilai berat volume kering yang dapat dicapai ( $\gamma_d$ ). Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas pemadatan di

lapangan antara lain :

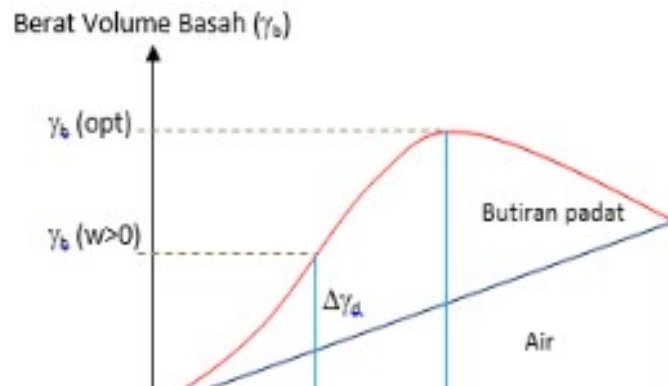
- Jenis tanah yang dipadatkan
- Cara pemadatan
- Mesin pemadat
- Jumlah lintasan/frekuensi pemadatan.

Tanah granular lebih mudah dipadatkan dibandingkan tanah bergradasi halus. Tanah lanau juga akan memberikan hasil pemadatan yang cukup baik, namun tanah lanau sulit dipadatkan dalam kondisi basah, karena permeabilitasnya yang rendah. Tanah lempung membutuhkan metode khusus untuk pemadatan, dan hanya akan memberikan hasil optimal bila metode yang diterapkan sesuai dengan sifat dan kondisi lempungnya. Pada umumnya semua jenis tanah lempung sangat sulit dipadatkan dalam kondisi basah, apalagi kondisi jenuh air.

Pada pemadatan, beban yang digunakan adalah beban dinamis, dan proses bertambahnya berat volume kering pada tanah adalah akibat dari merapatnya partikel tanah, yang diikuti pengurangan volume udara dengan volume air tetap. Pada saat air ditambahkan pada proses pemadatan, air akan melunakkan partikel-partikel tanah, sehingga partikel tanah akan menggelincir dan bergerak pada posisi yang lebih rapat. Oleh karena itu pekerjaan pemadatan biasanya dilakukan dengan penambahan air secara bertahap, hingga kadar air mencapai nilai optimum ( $W_{opt}$ )

Pada proses pemadatan terlihat berat volume kering bertambah seiring dengan penambahan kadar air. Pada kadar air nol ( $W=0$ ), berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ), akan sama dengan berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ). Apabila kadar air ditambahkan secara berangsur-angsur dan pemadatan tetap dilakukan dengan konsiten, maka berat butiran tanah per satuan volume juga akan bertambah seperti pada gambar.





**Gambar 2.14** Kurva kadar air vs berat volume pada pemadatan

Pada kadar air melampaui kadar air tertentu, terlihat bahwa kenaikan kadar air justru akan mengurangi berat volume kering pada tanah. Nilai kadar air tersebut dinamakan “kadar air optimum”. Menurunnya nilai berat volume kering setelah kadar air optimum terlampaui, disebabkan karena air yang di tambahkan bukan lagi berfungsi melunakkan partikel tanah tapi justru mengisi rongga yang seharusnya diisi oleh butiran padat. Hal ini akan menyebabkan partikel tanah menjadi renggang kembali, karena volume pori meningkat akibat peningkatan tekanan air pori didalam tanah.

Pengujian pemadatan tanah dilaboratorium dimaksudkan untuk mengetahui kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) pada material yang akan dipadatkan, dan untuk mengetahui parameter tanah, sehingga dapat dilakukan perhitungan tingkat perbaikan kinerja tanah sesuai tujuan yang hendak dicapai setelah tanah mengalami pemadatan seperti peningkatan daya dukung, kuat geser dan lain sebagainya. Pada dasarnya uji pemadatan diperlukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dengan berat volume, yang dibutuhkan untuk mengevaluasi persyaratan kepadatan tanah. Pengujian laboratorium yang biasa dilakukan sebagai prosedur standar salam uji pemadatan adalah :

- Uji pemadatan *Proctor standard*
- Uji pemadatan *Proctor modified*
- Uji pemadatan yang bersifat lokal, seperti *Indian standard*, *Japan standard* dan lain sebagainya.

#### 2.4.4. Pengujian *Triaxial*

Tujuan percobaan adalah untuk mendapatkan nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam dari suatu tanah.

Ada tiga macam percobaan triaxial :

- a. *Unconsolidated Undrained*
- b. *Consolidated Undrained*
- c. *Consolidated Drained*

Dalam hal ini percobaan yang kita lakukan adalah *Unconsolidated Undrained (triaxial UU multistage)* atau disebut *quick test* yang merujuk pada SNI 4813:2015. Benda uji mula-mula dibebani beban dengan tegangan sel, kemudian dibebani dengan tegangan normal, melalui penerapan tegangan deviator sampai mencapai keruntuhan. Pada penerapan ini tegangan deviator selama pergeserannya, tidak diijinkan air keluar dari benda uji. Jadi selama pengujian, katup drainase ditutup. Karena pada pengujiannya air tidak diijinkan keluar, beban normal tidak ditransferkan ke butiran tanahnya. Keadaan tanpa drainase ini menyebabkan adanya kelebihan tekanan pori dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanahnya.

#### 2.4.5. *Slake Durability*

Uji *slake durability* adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk melihat pengaruh pelapukan terhadap batuan. Namun mekanisme yang terlibat didalam uji *slake durability* belum benar-benar dipahami. Mekanisme pergerakan batuan didalam aparatus telah dimengerti, namun efek dari pelapukan masih belum diketahui. Franklin dan Chandra mengindikasikan bahwa mekanisme yang terdapat dalam uji durabilitas adalah akibat adanya pertukaran ion dan tekanan kapiler. Dengan durasi tes yang hanya berlangsung selama 10 menit, proses pembasahan mungkin hanya terjadi dibeberapa bagian batuan, terutama di permukaan, tapi dengan kecepatan rotasi dan ketinggian air maka hampir seluruh bagian batuan menjadi basah.

Saat batuan menjadi lebih jenuh, porositas batuan meningkat, dimana menyebabkan tekanan kapiler meningkat pada sampel dan menimbulkan retakan. Karena meningkatnya kadar air didalam pori, terbentuklah retakan pada batuan yang mengakibatkan batuan mengalami pelapukan. Namun di dalam uji *slake*

*durability*, batuan tidak hanya mendapat perlakuan basah dan kering, namun juga mekanisme yang diakibatkan rotasi drum juga ikut terlibat. Pengaruh rotasi drum masih belum diketahui. Jadi tujuan utama dari uji *slake durability* hanyalah untuk menentukan indeks durabilitas *slake* tanpa mengetahui mekanisme apa saja yang bekerja pada batuan.

Golongan	Indeks durabilitas slake siklus 1 (%)	Indeks durabilitas slake siklus 2 (%)
Durabilitas sangat tinggi	>99	>98
Durabilitas tinggi	98 ± 99	95 ± 98
Durabilitas menengah tinggi	95 ± 98	85 ± 95
Durabilitas menengah	85 ± 95	60 ± 85
Durabilitas rendah	60 ± 85	30 ± 60
Durabilitas sangat rendah	< 60	< 30

**Gambar 2.15** Klasifikasi indeks *durability slake* (Goodman, 1980)

## 2.5. Stabilisasi Tanah

Upaya perbaikan tanah yang bermasalah salah satunya dilakukan dengan melakukan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tanah dan meningkatkan ketahanan terhadap kadar air yang dikandungnya (Sherwood, 1993). Stabilisasi tanah diukur dari perubahan karakteristik teknis tanah antara lain kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air (Hardiyatmo, 2010).

### 2.5.1. Semen

Semen merupakan bahan pozolanik yang sifatnya dapat mengikat serta dapat mengeras bila bereaksi dengan air. Reaksi semen dan air akan membentuk suatu material yang kuat dan keras yang disebut *hydraulic cement*. Material *portland cement* sebagian besarnya terdiri dari kapur (CaO), silikat (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Distribusi ukuran butiran *portland cement* adalah antara 0 – 100 mikron dengan diameter rata-rata 20 mikron. Untuk butiran yang lebih besar dari ini semen tidak dapat berhidrasi secara lengkap.

Butiran semen berukuran 10 mikron mungkin memerlukan tiga bulan untuk selesai berhidrasi. Oleh Karena itu semen yang lebih halus akan lebih menguntungkan. Kekuatan yang lebih tinggi dari stabilisasi tanah menggunakan *portland cement* dapat dihasilkan dari semen yang lebih halus (Hartosukma, 2005).

Cement Type	Minimum C Stren
	kgf/cm <sup>2</sup>
Portland cement <sup>[2]</sup>	
A – ordinary	386.7
B – high early strength	527.3
C – low heat cement <sup>[3]</sup>	316.4
Masonry cement <sup>[4]</sup>	63.3

- [1] Sand mortar cubes tested after 24 hours in moist s
- [2] Initial set shall develop in not less than one hour an 12 hours.
- [3] The fineness index of Type C cement shall be 4200 cm<sup>2</sup>/g. The heat of hydration shall not exee

**Gambar 2.16** Spesifikasi persyaratan semen (Ingles dan Metcalf, 1972)

Semen yang umumnya digunakan dalam konstruksi adalah semen tipe I. Namun masih terdapat empat jenis semen lainnya yang digunakan dalam kondisi khusus. Jenis-jenis semen tersebut adalah (McCormac, 2004) :

- a. Semen tipe I , yaitu semen serba guna yang digunakan pada pekerjaan konstruksi biasa
- b. Semen tipe II, yaitu semen modifikasi yang mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah daripada semen tipe I dan memiliki ketahanan terhaap sulfat yang cukup tinggi.
- c. Semen tipe III, yaitu semen dengan kekuatan awal yang tinggi yang dalam 24 jam akan menghasilkan beton dengan kekuatan sekitar dua kali semen tipe I. Semen jenis ini memiliki panas hidrasi yang jauh lebih tinggi
- d. Semen tipe IV, yaitu semen dengan panas hidrasi rendah yang

menghasilkan beton yang melepaskan panas dengan sangat lambat

- e. Semen tipe V, yaitu semen yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Faktor air semen (FAS) merupakan perbandingan antara berat air dan berat semen dalam suatu campuran. Banyaknya air yang digunakan selama proses hidrasi semen akan mempengaruhi kekuatannya. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi semen hanya sekitar 25% dari berat semennya. Penambahan jumlah air lebih dari ini justru akan mengurangi kekuatannya setelah mengeras (Tjokrodinuljo,1996).

Faktor air semen yang rendah akan menyebabkan air yang berada di antara butiran semen sedikit sehingga jarak antar butir-butiran semen menjadi lebih pendek dan angka pori lebih kecil. Akibatnya batuan semen mencapai kepadatan yang tinggi dan kuat tekan yang besar. Sebaliknya penambahan air yang banyak menyebabkan jarak antar partikel semen semakin jauh sehingga batuan semen memiliki angka pori yang besar. Akibatnya kepadatan batuan semen menurun dan kuat tekannya berkurang.

### **2.5.2. Stabilisasi Tanah dengan Semen**

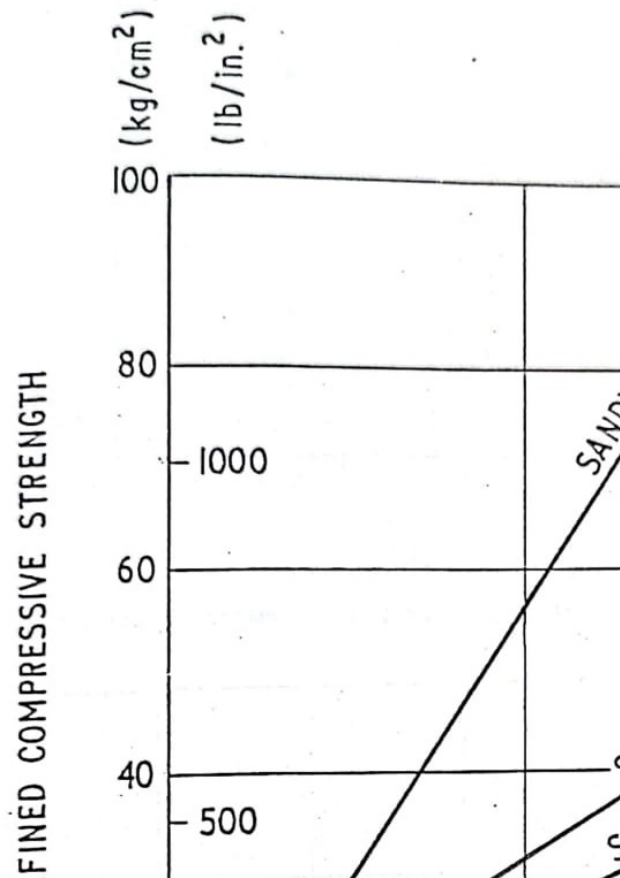
Metode stabilisasi tanah telah digunakan untuk mengatasi dan memecahkan berbagai macam masalah kondisi tanah dan memperbaiki sifat rekayasa yang diinginkan dari tanah yang ada. Secara umum, perbaikan atau stabilisasi tanah dapat diartikan sebagai proses yang dilakukan untuk mencapai peningkatan sifat geoteknik dari tanah pada suatu lokasi (Nicholson, 2015).

Tujuan dari stabilisasi tanah pada dasarnya adalah untuk mengubah sifat alami dari tanah dan atau mengontrol perilaku geotekniknya. Diantara sifat-sifat tanah yang biasanya diperbaiki adalah (Nicholson, 2015) :

- a. Mengurangi kompresibilitas untuk menghindari penurunan
- b. Meningkatkan kekuatan untuk meningkatkan stabilitas, daya dukung dan daya tahan
- c. Mengurangi permeabilitas untuk membatasi aliran air tanah
- d. Meningkatkan permeabilitas untuk memungkinkan drainase

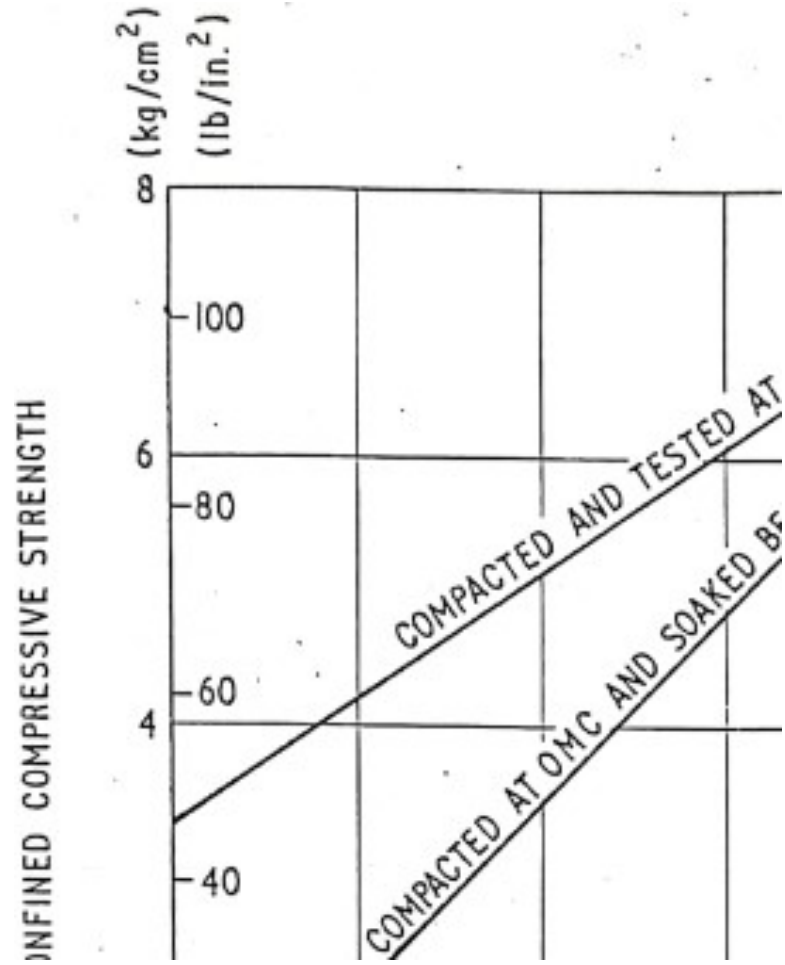
e. Mengurangi potensi likuifaksi akibat gempa

Pengaruh dari penambahan *portland cement* terhadap peningkatan kekuatan tanah pada berbagai jenis tanah yang dicuring selama 7 hari pada suhu 25°C ditunjukkan pada gambar 2.17 (Ingles dan Metcalf, 1972)



**Gambar 2.17** Grafik hubungan antara kadar semen dan kekuatan tanah (Ingles dan Metcalf, 1972)

Pengaruh dari pengeraman terhadap benda uji tanah *clay shale* yang telah dicampur semen terlihat pada gambar 2.18



**Gambar 2.18** *Effect of soaking on strength* (Ingles dan Metcalf, 1972)

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Pendahuluan

Penelitian ini mengambil contoh *clay shale* dari Cariu – Jonggol, dimana pada lokasi pengambilan sampel ini terdapat peternakan penggemukan sapi. Peternakan ini masih dalam tahap perluasan, dan bangunan ini berada di atas tanah *clay shale*. Atas kondisi ini peneliti mencoba mengambil sampel *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya untuk dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian stabilisasi tanah dengan menambahkan prosentase *portland cement* dan dilakukan pengujian *triaxial UU multistate* serta *slake durability index*.

#### 3.2 Disain dan Diagram Alur Penelitian

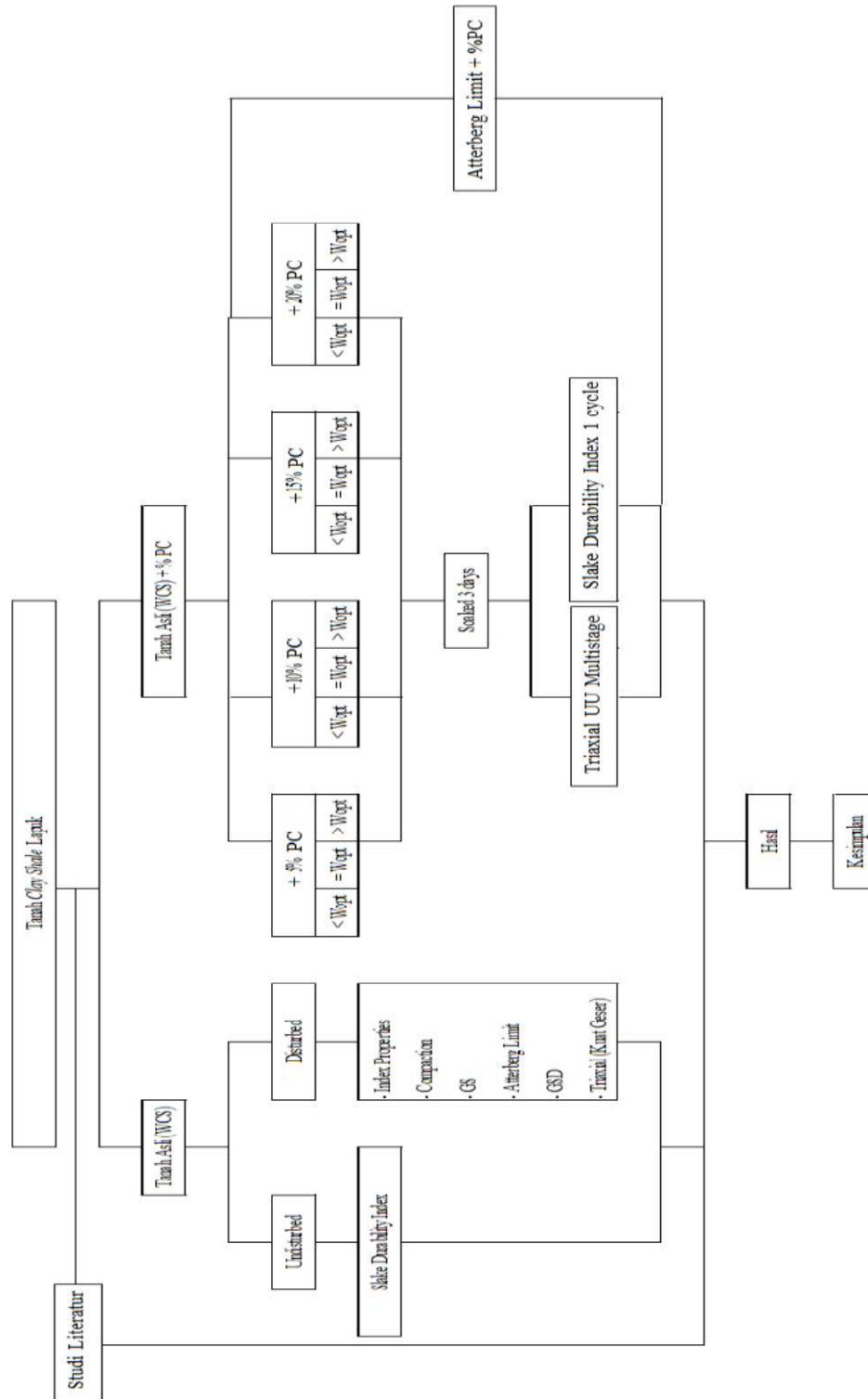
Untuk mendapatkan suatu hasil penelitian yang diharapkan dapat menjawab tujuan penelitian di Bab I, maka digambarkan dalam diagram alir. Penelitian dimulai dengan pengambilan sampel tanah *clay shale* dari Cariu, Jonggol, baik yang masih berupa *fresh clay shale* maupun yang sudah lapuk dan kemudian dibawa ke laboratorium untuk dites. Sampel tanah *fresh clay shale* digunakan untuk diuji *slake durability index* sebagai bahan referensi nilai durabilitas tanah *clay shale*.

Penelitian utama dilakukan terhadap tanah *clay shale* yang sudah lapuk, pertama-tama dilakukan uji properties tanah dan kemudian dilakukan pemadatan untuk mendapatkan kadar air optimum, dan selanjutnya dilakukan uji *triaxial UU multistate*. Dari kadar air optimum yang sudah didapatkan, untuk penelitian lebih lanjut diambil 3 variasi kadar air yaitu pencampuran dengan kadar air optimum, pencampuran dengan kadar air lebih kecil dari optimum, dan pencampuran dengan kadar air lebih besar dari optimum.

Dari tiga variasi kadar air tersebut tanah *clay shale* yang sudah lapuk dicampur (distabilisasi) dengan semen (*portland cement*) sebesar 5%, 10, 15% dan 20%. Variasi benda uji yang telah dipadatkan kemudian dilakukan uji *triaxial UU multistate* dan uji *slake durability index* 1 siklus. Dari data hasil uji *triaxial*



UU multistate dan *slake durability index* tersebut akan dilakukan analisa dan pembahasan pada Bab IV.



Gambar 3.1 Diagram alir kerja penelitian stabilisasi *clay shale*

### 3.3 Persiapan Sampel Uji

Sampel uji dipersiapkan dari pengujian pemadatan laboratorium *clay shale* yang telah melapuk seluruhnya dicampur dengan variasi prosentase *portland cement*. Variasi *portland cement* masing – masing diberikan sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% PC terhadap berat kering *clay shale*. Setiap campuran *portland cement* dan *clay shale* masing – masing diambil 3 (tiga) sampel. Pertama sampel dengan kadar air lebih kecil dari kadar air optimum (  $<W_{opt}$  ), kedua sampel dengan kadar air optimum (  $W_{opt}$  ) dan ketiga sampel dengan kadar air lebih besar dari kadar air optimum (  $>W_{opt}$  ). Sampel dipersiapkan sebanyak 15 sampel. Yang terdiri dari sampel 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% *portland cement*, dan masing – masing prosentase PC tersebut dengan dengan kadar air 3% (lebih kecil dari  $w_{optimum}$ ), 8% (sama dengan  $w_{optimum}$ ) dan 13% (lebih besar dari  $w_{optimum}$ ). Tabel 3.1 adalah ihtisar dari persiapan sampel *clay shale* dengan variasi prosentase PC dan variasi kadar air. Penempatan sampel uji pada persiapan pengerman selama 3 hari sebelum dilakukan pengujian *triaxial UU multistate* dan *slake durability index*. Gambar 3.2 memperlihatkan persiapan sampel dalam nampan yang akan dieramkan untuk kemudian di uji. Sampel – sampel tersebut dibagi menjadi 2 kelompok, dimana kelompok pertama adalah untuk tujuan pengujian mencari kuat geser (*triaxial UU multistate test*). Dan sampel kelompok kedua adalah sampel untuk tujuan pengujian mencari durabilitas (*slake durability index*).

**Tabel 3.1** Sejumlah sampel dengan variasi kondisi kadar air dan prosentase PC

Penambahan air terhadap sampel	Prosentase penambahan <i>portland cement</i>				
	0%	5%	10%	15%	20%
3% ( $W_n < W_{opt}$ )	v	v	v	v	v
8% ( $W_n = W_{opt}$ )	v	v	v	v	v
13% ( $W_n > W_{opt}$ )	v	v	v	v	v

### 3.4 Prosedur Penelitian Laboratorium

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian material *clay shale* yang akan diupayakan stabilisasi nya menggunakan *portland cement*. Lempung serpih ini diperoleh dari Cariu, Jonggol – Jawa Barat. Lokasinya berada tepat di peternakan penggemukan sapi, *clay shale* diambil dalam kondisi yang terganggu (*disturbed*) dimana sampel uji ini telah terekspose oleh udara luar.



**Gambar 3.2** Lokasi pengambilan sampel *clay shale* Cariu, Jonggol – Jawa Barat

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan di laboratorium *Geoinves Soil Mechanics Laboratory*. Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM. Pengujian – pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini diantara lain adalah :

#### 3.4.1. Uji Kaidah Fisik Tanah (*Index Properties*)

Untuk mengetahui karakteristik suatu sampel perlu dilakukan serangkaian pengujian *index properties*. Dimana dalam pengujian yang akan dilakukan, pengujian *index properties* dilakukan untuk lempung serpih (*clay shale*) dan *portland cement*. Rangkaian uji *index properties* adalah sebagai berikut :

**a. Pengujian Kadar Air (*Water Content*)**

## 1) Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam material uji.

## 2) Standar yang digunakan

Standar yang digunakan adalah standar ASTM D-2216-1998

## 3) Alat yang digunakan

- a) Oven listrik yang dilengkapi dengan pengaturan suhu
- b) Cawan/kontainer
- c) Timbangan digital

## 4) Prosedur Pengujian

## a) Persiapan alat uji

- (1) Cawan di bersihkan
- (2) Timbangan di bersihkan dan dikalibrasi
- (3) Sampel uji di persiapkan

## b) Pelaksanaan pengujian

- (1) Cawan bernomor dalam keadaan bersih dan kering ditimbang  
beratnya :  $W_1 = \dots\text{gr}$
- (2) Kemudian cawan tersebut di isi material uji, kemudian segera ditimbang kembali. Maka di peroleh berat material + cawan :  
 $W_2 = \dots\text{gr}$
- (3) Setelah diketahui berat cawan yang sudah berisi material, cawan tersebut dimasukan kedalam oven listrik dengan suhu  $\pm 105^\circ$  selama 24 jam



**Gambar 3.3** Pengovenan benda uji

- (4) Setelah dioven, cawan berisi material uji didiamkan beberapa saat  $\pm 20$  menit
- (5) Bila cawan berisi itu sudah dingin maka cawan tersebut ditimbang kembali, sehingga diperoleh berat material uji yang kering + cawan :  $W_3 = \dots \text{gr}$



**Gambar 3.4** Penimbangan salah satu benda uji setelah di oven

- (6) Percobaan dilakukan dan dicatat hasilnya dalam format yang tersedia.

5) Perhitungan

$$w = \frac{(w_2 - w_1) - (w_3 - w_1)}{w_3 - w_1} \times 100 \% \text{ atau } w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Dimana :

$w$  = kadar air (%)

$W_1$  = berat cawan

$W_2$  = berat tanah basah + cawan

$W_3$  = berat tanah kering + cawan

$W_w$  = berat air =  $W_2 - W_1 - W_s$

$W_s$  = berat butir =  $W_3 - W_1$

### b. Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

*Casagrande* adalah alat untuk menentukan batas cair pada pengujian ini. Material uji yang telah dicampur dengan air ditempatkan kedalam cawan dan didalamnya dibuat alur dengan memakai alat spatel (*grooving tool*). Engkel alat diputar hingga cawan dinaikan dan dijatuhkan pada dasar alat, dan banyaknya pukulan dihitung sampai kedua tepi alur tersebut berhimpit. Adapun tujuan dan alat yang digunakan serta prosedur percobaannya adalah :

- 1) Tujuan  
Untuk mengetahui batas cair suatu material diperlukan alat uji yang disebut alat *Casagrande*, sehingga dapat digunakan untuk menentukan sifat dan klasifikasi tanah.
- 2) Standar yang digunakan  
ASTM : D-4318-00
- 3) Alat yang digunakan
  - a) Ayakan No. 200 dengan lubang 0,075 mm
  - b) Cawan/mangkuk besar
  - c) Pisau pengaduk/spatula
  - d) Alat *Casagrande*
  - e) Oven listrik
- 4) Prosedur percobaan
  - a) Letakan 100 gr material uji yang melalui ayakan no. 200 kedalam cawan pengaduk
  - b) Dengan menggunakan spatula, aduklah material tersebut dengan menambahkan air suling hingga homogen serta jenuh.
  - c) Setelah menjadi campuran merata, ambil sebagian sampel tersebut dan letakan di dalam mangkuk *Casagrande*. Sampel itu diratakan sedemikian rupa hingga sejajar dengan dasar alat, bagian yang tebal  $\pm 10$  mm



**Gambar 3.5** Proses perataan benda uji dalam mangkuk *Casagrande*

- d) Membuat alur dengan cara membagi dua sampel dalam mangkuk itu dengan menggunakan colet melalui garis tengah pemegang mangkuk dan harus simetris. Pada waktu membuat alur posisi alur/colet harus tegak lurus dengan permukaan mangkuk.



**Gambar 3.6** Pembuatan alur benda uji dalam mangkuk *Casagrande*

- e) Alat pemutar *Casagrande* diputar sehingga mangkuk naik/turun dengan kecepatan 2 putaran per detik dengan tinggi jatuh  $\pm 10$  mm. Pemutaran dilakukan terus sampai dasar alur sampel bersinggungan sepanjang kira-kira 1,25 cm dan catat jumlah pukulannya sampai kedua sisi sampel yang dibelah tadi berhimpit kembali.
- f) Ambil sampel dan masukan ke dalam cawan untuk menentukan kadar airnya sesuai dengan metode pengujian kadar air tanah.



**Gambar 3.7** Penimbangan benda uji

- g) Kembalikan sisa benda uji ke dalam mangkuk pengaduk, dan alat *Casagrande* di bersihkan. Sampel tersebut diaduk kembali dengan merubah kadar airnya, hal yang seperti dijelaskan dilakukan kembali hingga 2-3 kali berturut – turut dengan variasi kadar air yang berbeda, sehingga akan diperoleh perbedaan jumlah putaran sebesar 8-10 putaran.
- 5) Penentuan Batas Cair
- a) Untuk mendapatkan hasil dari uji ini, material yang dijadikan sampel harus di cek kadar airnya. Cara menentukan kadar air sama dengan perhitungan kadar air alami seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.
  - b) Hasil-hasil percobaan tersebut digambar pada grafik, garis mendatar merupakan jumlah pukulan dengan skala log, dan garis tegak menunjukkan kadar air dalam skala linier.
  - c) Buatlah garis lurus melalui titik-titik itu. Jika ternyata titik-titik yang diperoleh tidak terletak pada garis lurus, maka buatlah garis lurus melalui titik-titik berat tersebut. Tentukan besarnya kadar air pada jumlah putaran 25 dan kadar air inilah yang merupakan batas cair (*liquid limit*) dari sampel tersebut.
  - d) Untuk memperoleh hasil yang teliti, maka jumlah putaran diambil 2 titik diatas 25 putaran dan 2 titik dibawah 25 putaran, sehingga diperoleh 4 titik.

**c. Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*)**

- 1) Tujuan  
Untuk mengetahui batas plastis suatu sampel uji, yaitu batas antara keadaan plastis dan semi plastis
- 2) Standar yang digunakan  
ASTM : D-4318-00
- 3) Alat yang digunakan
  - a) Ayakan No. 200
  - b) Mangkuk/cawan
  - c) Colet/pisau



- d) Timbangan
  - e) Plat kaca setebal 5 mm
  - f) Oven listrik
- 4) Prosedur pengujian
- a) Material yang melalui ayakan No. 200 atau digunakan untuk uji batas cair diambil sebagian, diberi air dan diaduk merata keseluruhan.
  - b) Setelah kadar air cukup merata, buatlah bola-bola dari sampel seberat 8 gram, kemudian bola-bola tersebut digulung di atas plat kaca.
  - c) Penggulungan dilakukan terus sampai sampel membentuk batang dengan berdiameter 3 mm. Jika pada waktu penggulungan sampel rentan sebelum mencapai 3 mm sudah retak, maka sampel tersebut disatukan kembali dan diberi air sedikit sebelum digulung kembali. Jika dalam penggulungan sampel bisa mencapai lebih kecil dari 3 mm tanpa menunjukkan gejala apa pun, maka sampel tersebut bisa dibiarkan beberapa saat dulu di udara agar kadar airnya berkurang sedikit.
  - d) Pengadukan dan penggulungan dilakukan terus menerus sampai retakan terjadi saat gulungan mencapai 3 mm
  - e) Apabila batas gulungan sudah tercapai, periksa kadar air batang sampel tersebut dengan berat sampel uji untuk kadar air 5 gram.



**Gambar 3.8** Penimbangan benda uji (PL)

## 5) Analisis perhitungan

Kadar air rata-rata ditentukan menurut pengujian kadar air sampel uji. Kadar air yang didapat adalah merupakan batas plastis dari sampel tersebut.

**d. Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)**

## 1) Tujuan

Untuk mengetahui berat jenis sampel uji. Berat jenis tanah digunakan pada hubungan fungsional antara fase udara, air, dan butiran dalam tanah dan oleh karenanya diperlukan untuk perhitungan – perhitungan parameter indeks tanah (*index properties*)

## 2) Standar pengujian

ASTM : D-854-02 Piknometer

## 3) Alat-alat yang digunakan

- a) Botol piknomotor
- b) Aquades
- c) Timbangan dengan ketelitian 0,01 g
- d) Termometer
- e) Alat pemanas berupa kompor listrik
- f) Oven
- g) *Evaporating dish* dan mangkok porselin
- h) Pipet
- i) Alat pengaduk batang dari gelas

## 4) Prosedur pengujian

- a) Dilakukan kalibrasi terhadap piknometer, yaitu dengan melakukan :
  - (1) Piknometer yang kosong dan bersih ditimbang ( $W_1$ ), kemudian diisi aquades sampai batas kalibrasi (*calibration mark*)
  - (2) Keringkan bagian luar piknometer dan juga didaerah tutupnya.
  - (3) Piknometer dan aquades ditimbang ( $W_4$ ) dan diukur suhunya.  
Harus diperhatikan bahwa pembagian suhu harus merata.
- b) Ambil contoh sampel seberat  $\pm 50$  gr. Untuk sampel kering langsung dimasukkan ke dalam piknometer lalu ditimbang ( $W_2$ )

- c) Piknometer yang berisi tanah ditambahkan aquades sampai mencapai 2/3 bagian, lalu diaduk sampai homogen.



**Gambar 3.9** Piknometer + Sampel + Air

- d) Piknometer yang berisi contoh tanah ini dipanaskan di atas kompor listrik selama  $\pm 10$  menit supaya gelembung udaranya keluar.
- e) Sesudah itu piknometer diangkat dari kompor dan didiamkan sampai suhunya sesuai dengan suhu ruangan  $\pm 25^{\circ}$
- f) Piknometer diambil, bagian luar dikeringkan, ditambah air hingga batas kalibrasi dan ditimbang ( $W_3$ )
- g) Percobaan diatas dilakukan tiga kali sehingga didapatkan 3 harga  $G_s$  yang kemudian dirata-ratakan.
- 5) Analisa perhitungan

Tahap-tahap perhitungan dalam pengujian ini adalah :

- a) Berat jenis sampel pada suhu  $T^{\circ}C$  dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$G_s = \frac{W_2 - W_3}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.2)$$

Dimana :

$G_s$  = berat jenis

$W_1$  = berat piknometer

$W_2$  = berat piknometer dan sampel kering

$W_3$  = berat piknometer, sampel dan air

$W_4$  = berat piknometer dan air

- b) Apabila hasil kedua berada lebih dari 0,03 pemeriksaan harus diulang

### 3.4.2. Pengujian Pemadatan (*Compaction test*)

Percobaan pemadatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah percobaan pemadatan *modified proctor*

a. Tujuan

Untuk menentukan hubungan antara kadar air dan berat isi kering. Dari kadar air dan berat isi kering yang diperoleh dari hasil-hasil percobaan ini akan didapatkan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum.

b. Standar yang digunakan

ASTM : D-698

c. Alat-alat yang digunakan

1. Alat kompaksi

- *Mold* dengan tinggi 4.5", diameter 4", volume 1/30 cu-ft
- *Collar* dengan tinggi 2.5", diameter 4"
- *Hammer* dengan berat 10 lb, diameter 2", tinggi jatuh 18"

2. *Sprayer* untuk menyemprot air ke tanah

3. Ayakan No. 4

4. Pisau, *scoop*, palu karet

5. Timbangan ketelitian 0.1 atau 0.01 g

6. Oven

7. Cawan

d. Prosedur pengujian

- 1) Siapkan contoh sampel yang akan diuji 200g, dimana sampel lepas ayakan No.8, hasil ayakan dipergunakan.



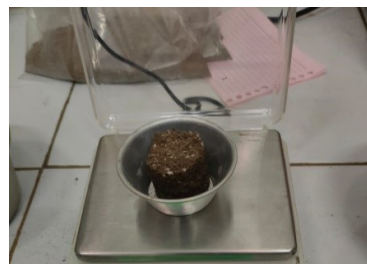
**Gambar 3.10** *Clay shale* yang telah lapuk (lolos ayakan 8)

- 2) Sampel hasil ayakan sebanyak 200g tuang air dengan prosentase tertentu untuk mendapatkan hasil contoh tanah dengan kebasahan merata sehingga bisa dikepal tapi masih mudah lepas (hancur)
- 3) *Mold* yang akan dipergunakan dibersihkan, ditimbang beratnya dan diukur volumenya (biasanya volume *mold* = 1/30 cu-ft). Isikan contoh sampel kedalam *mold* setelah 1"-2" (modified).
- 4) Tumbuk dengan *hammer* sebanyak 10 kali pada tempat yang berlainan. *Hammer* yang dipergunakan disesuaikan dengan cara percobaan
- 5) Isikan lagi untuk lapis berikutnya dan tumbuk sebanyak 10 kali.



**Gambar 3.11** Proses penumbukan

- 6) Pengisian diteruskan sampai 5 lapis untuk *modified*. Pada penumbukan lapisan terakhir, harus dipergunakan sambungan tabung (*collar*) pada *mold* agar pada waktu penumbukan *hammer* tidak melesat keluar.
- 7) Buka sambungan tabung di atasnya dan ratakan permukaannya dengan pisau
- 8) *Mold* dan contoh tanah ditimbang
- 9) Sampel dikeluarkan dari dalam *mold*, letakan pada cawan untuk kemudian di timbang dan di oven selama 24 jam.



**Gambar 3.12** Penimbangan hasil pemadatan

- 10) Setelah 24 jam di oven, cawan + sampel kering ditimbang  
 11) Percobaan dilakukan sebanyak 6 kali dengan setiap kali menambah kadar airnya sehingga dapat dibuat grafik berat isi kering terhadap kadar air

e. Analisa perhitungan

1. Berat isi kering ( $\gamma_d$ ) dapat dihitung dengan rumus :

$$\gamma_d = \frac{W}{V(1+w)} \quad (3.3)$$

Dimana :

$W$  = berat total tanah kompaksi bahan dalam  *mold*

$V$  = volume  *mold*

$w$  = kadar air tanah kompaksi

2. Untuk menggambarkan *Zero Air Voids Curve* dihitung dengan memakai rumus :

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot Y_w}{1 + \frac{w \cdot G_s}{S_r}} \quad (3.4)$$

Dimana :

$G_s$  = berat jenis tanah

$Y_w$  = berat volume air

$w$  = kadar air

$S_r$  = derajat kejenuhan (100%)

Garis ZAV adalah hubungan antara berat isi kering dengan kadar air bila derajat kejenuhan 100%, yaitu bila pori tanah sama sekali tidak mengandung udara. Grafik ini berguna sebagai petunjuk pada waktu menggambarkan grafik *compaction* tersebut akan selalu berada dibawah garis ZAV biasanya tidak lurus tetapi agak cekung keatas.

Hasil percobaan pemadatan biasanya dinyatakan sebagai grafik hubungan antara berat isi kering dengan kadar air.

Kadar air optimum didapatkan dengan cara sebagai berikut :

Dari 6 contoh dengan kadar air berbeda-beda kita dapat menghitung  $\gamma_d$  masing-masing. Setelah itu digambarkan dalam skala biasa  $w$  (%) sebagai absis dan  $\gamma_d$  sebagai ordinat sehingga akan diperoleh lengkung kompaksi.

3. Dari hasil percobaan tersebut dapat dibuat kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi kering sampel, dan dari kedua

kurva tersebut akan diperoleh kadar air optimum (*optimum moisture content*) dan berat isi kering maksimum (*maximum dry density*).

### 3.4.3. Pengujian Kuat Geser (*Triaxial test*)

Percobaan *triaxial test* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah percobaan *triaxial test UU multistate* :

a. Maksud dan tujuan pengujian

Maksud uji *triaxial UU multistate* adalah untuk mengetahui kekuatan geser tanah; yaitu  $c$  (kohesi) dan  $\phi$  (sudut geser dalam), dalam tegangan total ataupun efektif yang mendekati keadaan aslinya di lapangan. Tujuannya adalah untuk digunakan dalam analisis kestabilan jangka pendek (*short term stability analysis*)

b. Standar Pengujian

Standar yang digunakan adalah standar ASTM D-2850 dan ASTM D-4767

c. Perlengkapan uji *triaxial UU multistate*

1. Alat *triaxial*
2. Membran karet
3. Batu pori
4. O-ring
5. *Strecher*
6. *Piston Plugger*
7. *Ring silinder*
8. Jangka sorong
9. Oven
10. Timbangan dengan ketelitian 0.1 gr
11. Cawan

d. Kecepatan pengujian ditentukan sebesar 1% regangan per menit untuk sampel plastis dan 0.3% regangan per menit untuk sampel non-plastis (*brittle*).

e. Tahapan pengujian (dengan penjenjahan)

1. Sampel diambil menggunakan *ring silinder* yang memiliki diameter 38 mm dan tinggi 76 mm.
2. Keluarkan sampel tanah menggunakan *piston plunger*

3. Ukur dimensi sampel menggunakan jangka sorong
4. Timbang berat sampel
5. Pasang batu pori diatas *base cap triaxial*, kemudian letakan sampel diatasnya dan terakhir pasang batu pori dibagian atas sampel
6. Dengan menggunakan *stretcher*, selubungi sampel tanah menggunakan membran karet



**Gambar 3.13** Sampel yang telah dibungkus membran karet

7. Pasang *top cap triaxial* di atas sampel, dan selubungi dengan membran karet
8. Pasang O-ring dibagian *base cap* dan *top cap*
9. Letakan *axial load piston* pada *top cap spesimen*, pastikan *top cap* dan *axial piston load* sejajar. Selama proses ini, harap perhatikan jangan sampai penempatan *axial piston load* memberikan beban lebih dari 0,5% dari perkiraan beban runtuh.
10. Sel *triaxial* diisi dengan air destilasi hingga penuh, dan pastikan tidak ada gelembung udara di dalam sel *triaxial*
11. Berikan tekanan *cell* awal sebesar  $0,4 \text{ kg/cm}^2$  dengan kondisi katup CP, PWP dan BP tertutup dan jaga hingga tekanan konstan.
12. Kemudian buka katup CP dan PWP, dan tunggu hingga tekanan air pori konstan
13. Perhatikan tekanan *cell*, jaga tekanan tetap konstan
14. Setelah tekanan air pori konstan, tingkatkan tekanan *cell* menjadi  $1,0 \text{ kg/cm}^2$  dengan kondisi katup CP dan BP tertutup. Jaga agar tekanan *Cell* tetap konstan



15. Perhatikan tekanan *cell*, jaga tekanan tetap konstan
16. Setelah tekanan air pori konstan, tingkatkan tekanan *cell* menjadi 1,6 kg/cm<sup>2</sup> dengan kondisi katup CP dan BP tertutup. Jaga agar tekanan *Cell* tetap konstan
17. Kemudian buka katup CP, dan biarkan hingga tekanan air pori konstan

#### 3.4.4. Pengujian *Slake Durability Index*

Uji *slake durability* adalah pengujian yang bertujuan untuk melihat pengaruh pelapukan terhadap batuan. Dengan durasi tes yang hanya berlangsung selama 10 menit, proses pembasahan mungkin hanya terjadi di beberapa bagian batuan, terutama di bagian permukaan. Tapi dengan kecepatan rotasi dan ketinggian air maka hampir seluruh bagian batuan menjadi basah.

##### 1) Alat dan Bahan

Alat :

- a. *Slake durability apparatus*
- b. Neraca ohaus
- c. Stopwatch
- d. Oven

Bahan : Benda uji

##### 2) Prosedur Kerja

- a. Sampel diletakkan di dalam alat yang terdiri dari dua set drum dengan panjang 100 mm dan 140 mm.



**Gambar 3.14** Persiapan alat

- b. Dua drum akan berotasi di air yang ketinggiannya sekitar 20 mm dibawah sumbu drum.

- c. Rotasi dijalankan oleh mesin yang dapat memutar drum dengan kecepatan 20 rpm selama 10 menit.
- d. Sebelum dilakukan pengujian slake durability, benda uji di timbang terlebih dahulu bersama dengan drum.



**Gambar 3.15** Penimbangan sampel + drum

- e. Setelah dilakukan *slaking* selama 10 menit, sampel kemudian dikeringkan di dalam oven bersama dengan drum. Temperatur oven yang digunakan  $\pm 100^{\circ}\text{C}$  dengan durasi 2 – 6 jam.



**Gambar 3.16** Benda uji siap di oven

- f. Setelah selesai di oven kemudian benda uji didiamkan beberapa menit hingga sampel dan drum dingin.
- g. Terakhir ukur masa sampel yang telah dingin bersama dengan drum untuk memperoleh indeks durabilitas.

### 3) Hasil Perhitungan

Perhitungan durabilitas dapat dihitung sebagai berikut :

$$(W_2 - W_d) / W_o \times 100\% \quad (3.4)$$

Dimana :

$W_2 =$  Weight of oven dried sample + Drum after rotated (1st Cycle)

$W_d =$  Weight of oven drum

$W_o =$  Weight of sample

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

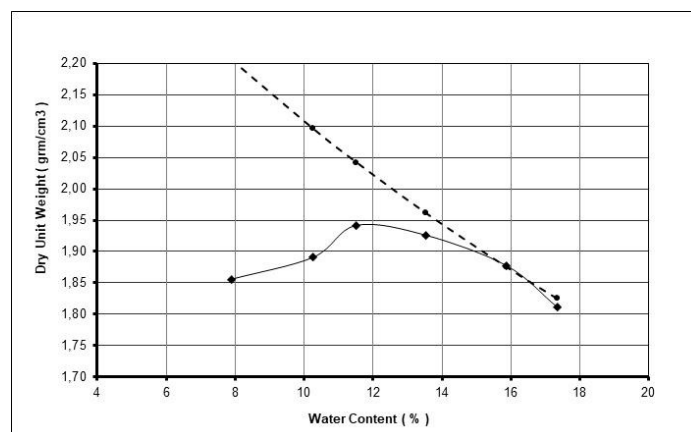
#### 4.1. Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil pengujian *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya distabilisasi menggunakan *portland cement* dengan campuran tertentu pada kadar air  $W_n < W_{opt}$ ,  $W_n = W_{opt}$  dan  $W_n > W_{opt}$ . Yang kemudian dicari properties tanahnya dan sebelum dilakukan pengujian *Triaxial UU Multistate* dan *Slake Durability* sampel di soaked selama 3 hari. Sampel tanah *clay shale* yang digunakan adalah tanah *clay shale* dari daerah Cariu – Jonggol.

#### 4.2. Properties Tanah *Clay Shale*

Pengujian ini menggunakan *Weatered Clay Shale* yang telah lapuk diambil dari lokasi Peternakan Penggemukan Sapi, Cariu – Jonggol. Uji laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik tanah. Uji laboratorium meliputi : Penentuan Kadar Air Tanas Asli ( $W_n$ ), Penentuan Berat Jenis (*Spesific Gravity, GS*), Penentuan Konsistensi Tanah (*Atterberg Limits*), *Sieve Analysis* dan *Hydrometer Analysis (Grained Size Distribution)*, *Shear Strenthby Triaxial UU Multistate Test*.

##### 4.2.1 Penentuan Kadar Air



Gambar 4.1 Hasil pemadatan tanah *clay shale* lapuk

**Tabel 4.1** Hasil pemadatan tanah *clay shale* lapuk

Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (grm/cm <sup>3</sup> )	Gs	2,67
		$\gamma_d$ Sr=100%	Void Ratio e
7,88	1,86	2,21	0,44
10,26	1,89	2,10	0,41
<b>11,52</b>	<b>1,94</b>	<b>2,04</b>	<b>0,37</b>
13,54	1,93	1,96	0,39
15,87	1,88	1,88	0,42
17,34	1,81	1,83	0,47

Dari grafik diatas terlihat  $W_{opt}$  pada pengujian 6 sampel 0%PC diperoleh kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) sebesar **11,52%** dan berat isi kering max ( $\gamma_d$  max) sebesar **1,94gr/cm<sup>3</sup>**. Ketika kadar air melebihi 11,52% berat isi kering semakin menurun.  $W_{opt}$  disekitar 0% PC ini yang akan kita pakai untuk campuran variasi semen berikutnya. Dengan penambahan 2 variasi kadar air, yang pertama  $W_n < 5\%W_{opt}$  dan yang kedua  $W_n > 5\%W_{opt}$ .

#### 4.2.2 Penentuan Berat Jenis

**Tabel 4.2** Hasil pengujian *Spesific Gravity*

Description	Test 1	Test 2
Method of air removal	Heating	Heating
Temperature, °C	28°	28°
No. of pycno + cup [gram]	62	57
Wt. of Pycno + cup [gram]	46,787	62,404
Wt. of Pycno + cup + soil [gram]	56,374	72,380
Wt. of Pycno + cup + water [gram]	144,365	161,248
Wt. of Pycno + cup + water + soil [gram]	150,364	167,478
Specific Gravity, Gs	2,672	2,663
Average of Specific Gravity, Gs	2,668	

Dari 2 sampel pengujian *Spesific Gravity* di dapat nilai rata – rata *Spesific Gravity (Gs)* sebesar 2,67

### 4.3 Pencampuran % *Portland Cemen* Terhadap Konsistensi Tanah

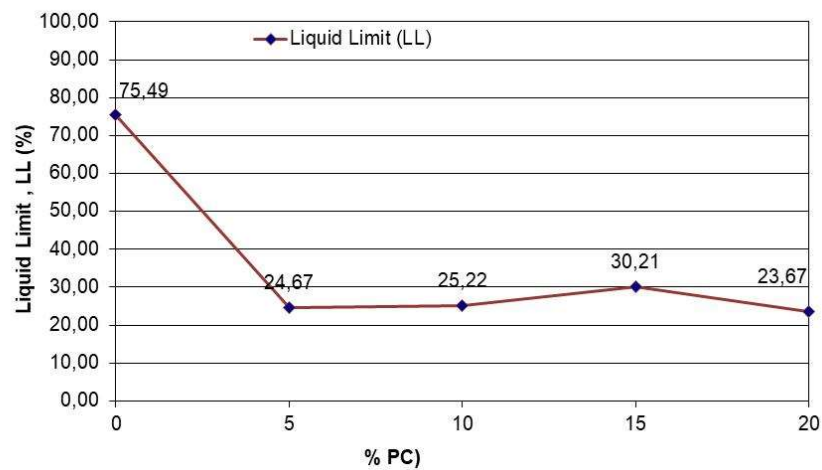
Pengujian ini dilakukan dengan variasi 0%PC, 5%PC, 10%PC, 15%PC dan 20%PC.

#### 4.3.1 % PC Terhadap *Liquid Limit (LL)*

Berdasarkan grafik dibawah ini dapat dilihat penurunan nilai *Liquid Limit (LL)* sebesar 59,99% dengan penambahan 15%PC.

**Tabel 4.3** Perubahan *Liquid Limit (LL)* terhadap penambahan %PC

No	Deskripsi	<i>Weatered Clay Shale (WCS)</i>	WCS + 5%PC	WCS + 10%PC	WCS + 15%PC	WCS + 20%PC
1	<i>Liquid Limit, LL %</i>	75,49	24,67	25,22	30,21	23,67



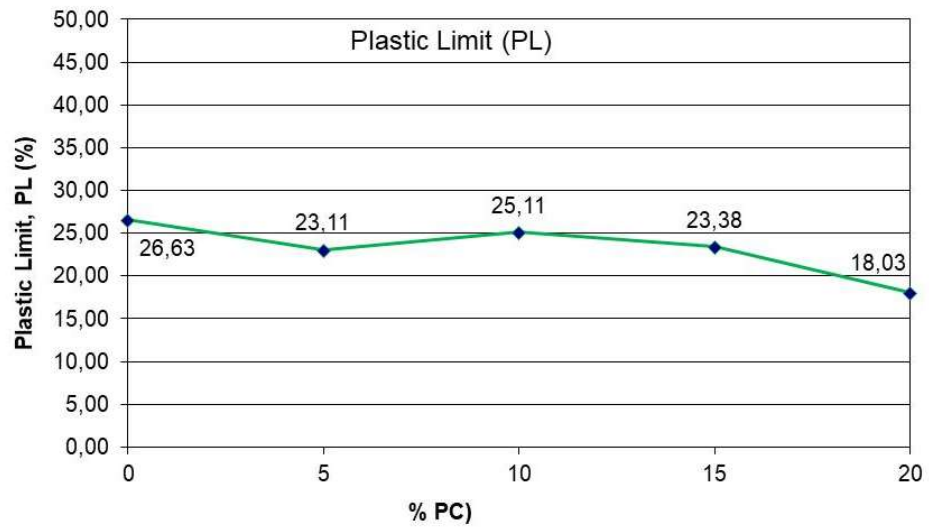
**Gambar 4.2** Perubahan *Liquid Limit (LL)* terhadap penambahan %PC

#### 4.3.2 % PC Terhadap *Plastic Limit (PL)*

Berdasarkan grafik dibawah ini dapat dilihat penurunan nilai *Plastic Limit* sebesar 5,70% dengan penambahan 10%PC.

**Tabel 4.4** Perubahan *Plastic Limit (PL)* terhadap penambahan %PC

No	Deskripsi	<i>Weatered Clay Shale (WCS)</i>	WCS + 5%PC	WCS + 10%PC	WCS + 15%PC	WCS + 20%PC
1	<i>Plastic Limit, PL %</i>	26,63	23,11	25,11	23,38	18,03



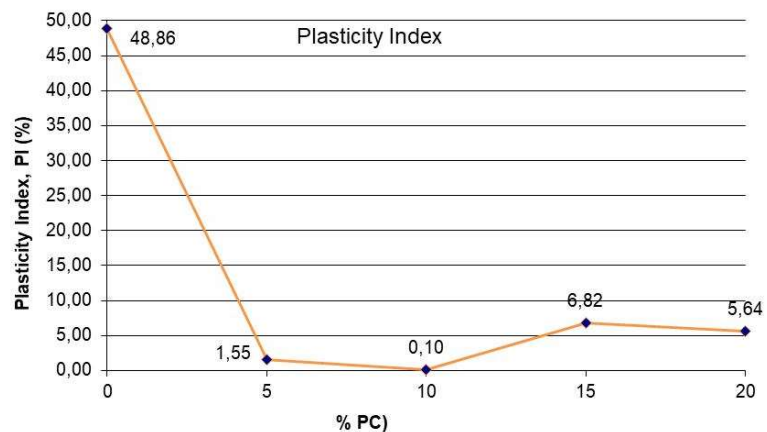
**Gambar 4.3** Perubahan *Plastic Limit (PL)* terhadap penambahan %PC

#### 4.3.3 % PC Terhadap *Plasticity Index (PI)*

Pada grafik dibawah ini terlihat dengan 10%PC pada *weathered clay shale* menurunkan nilai indeks plastisitas dari tanah asli sebesar 99,79%. Sehingga tanah *clay shale* yang sudah lapuk seluruhnya diberikan %PC dengan jumlah tertentu menjadikannya jenis tanah Lanau dengan tingkat plastisitas rendah.

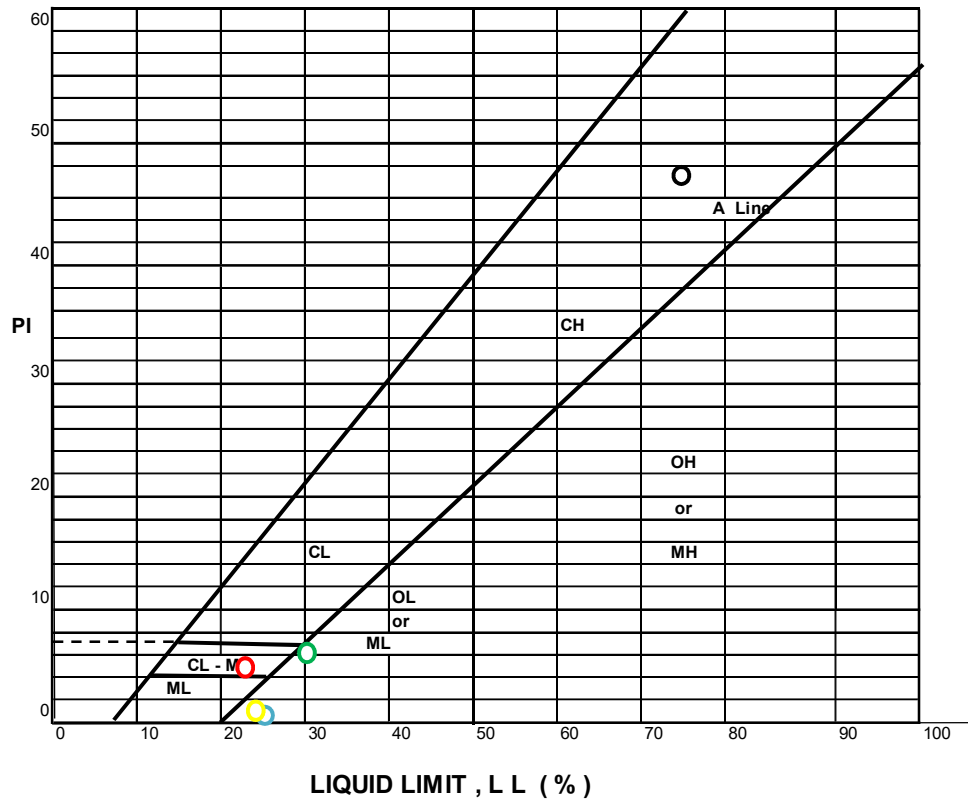
**Tabel 4.5** Hasil *Plasticity Index (PI)* terhadap penambahan %PC

No	Deskripsi	<i>Weatered Clay Shale (WCS)</i>	WCS + 5%PC	WCS + 10%PC	WCS + 15%PC	WCS + 20%PC
1	<i>Plasticity Index, PI %</i>	48,86	1,55	0,10	6,82	5,64



**Gambar 4.4** Hasil *Plasticity index (PI)* terhadap penambahan %PC

## PLASTICITY CHART



SOIL CLASSIFICATION USING UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM

**OH or MH**

**Gambar 4.5** Perubahan klasifikasi tanah terhadap penambahan %PC, standard USCS

**Tabel 4.6** Perubahan klasifikasi tanah terhadap penambahan %PC, standard USCS.

%PC	LIQUID LIMIT, LL (%)	PLASTICITY INDEX, PI (%)	Keterangan Tanda	Klasifikasi
0	75,49	48,86	○	CH
5	24,67	1,55	○	ML
10	25,22	0,10	○	ML
15	30,21	6,82	○	CL
20	23,67	5,64	○	CL

Berdasarkan USCS tanah *clay shale* memiliki klasifikasi lempung dengan plastisitas tinggi, dengan pemakaian *Portland Cement* dapat menurunkan plastisitas tanah *clay shale* dari tinggi ( $LL > 50$ ) kerendah ( $LL < 50$ ) sehingga klasifikasi tanah tersebut dari lempung dengan plastisitas tinggi (CH) menjadi lempung dengan plastisitas rendah (CL) atau lanau dengan plastisitas rendah (MH).

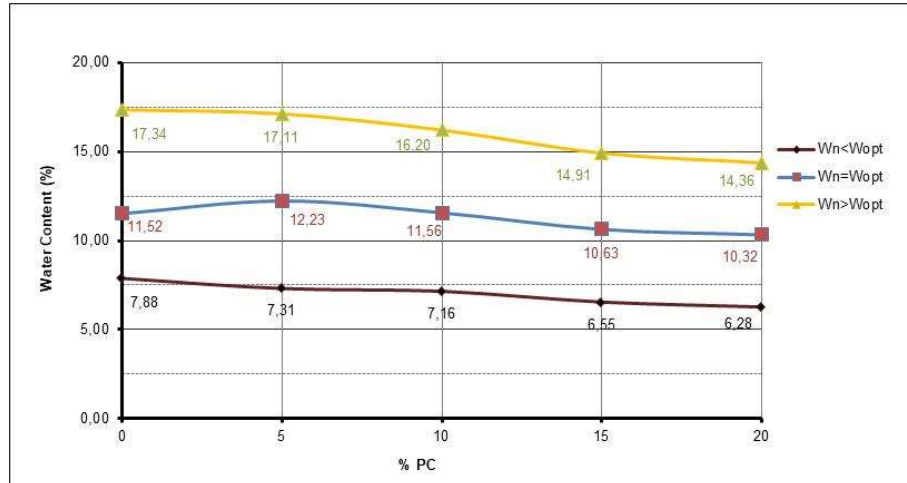
#### 4.4 Pematatan *Weathered Clay Shale* + *Portland Cemen*

Pada pengujian ini *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya dicampur dengan variasi *portland cement*. Variasi *portland cement* masing – masing diberikan sebesar 0%PC, 5%PC, 15% PC dan 20%PC terhadap berat kering *clay shale*. Setiap campuran *portland cement* dan *clay shale* masing – masing diambil 3 (tiga) sampel. Sampel pertama dengan kadar air lebih kecil dari kadar air optimum ( $W_n < W_{opt}$ ), sampel kedua dengan kadar air optimum ( $W_n = W_{opt}$ ) dan sampel ketiga dengan kadar air lebih besar dari kadar air optimum ( $W_n > W_{opt}$ ). Dari hasil pengujian di laboratorium seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 dapat dijelaskan bahwa nilai *Water Content* ( $W_n$ ) mengalami perubahan yang berbeda. Perubahan yang terjadi pada setiap variasi campuran tidak mengalami perubahan yang signifikan.

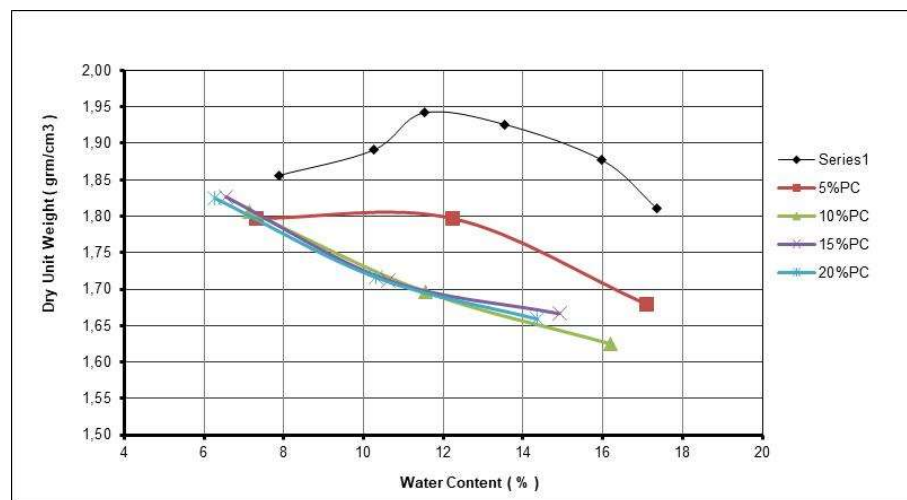
**Tabel 4.7** Kadar air dan berat isi kering dari sampel uji tanpa dan dengan %PC

% semen	Kadar Air (%)			Dry unit Weight (gr/cm <sup>3</sup> )		
	< wopt	wopt	>wopt	< wopt	wopt	>wopt
0	7,88	11,52	17,34	1,856	1,942	1,812
5	7,31	12,23	17,11	1,797	1,797	1,679
10	7,16	11,56	16,20	1,806	1,696	1,625
15	6,55	10,63	14,91	1,826	1,712	1,666
20	6,28	10,32	14,36	1,825	1,716	1,659





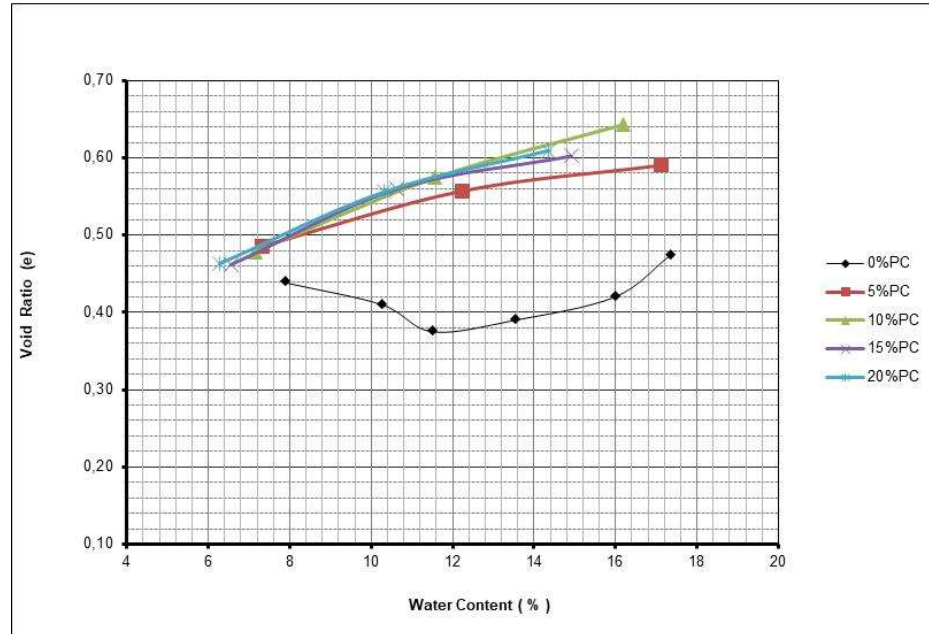
**Gambar 4.6** Perubahan Kadar air (%) dari sampel uji tanpa dan dengan penambahan %PC



**Gambar 4.7** Perubahan berat isi kering (grm/cm<sup>3</sup>) dari sampel uji tanpa dan dengan penambahan %PC

**Tabel 4.8** Perubahan angka pori dari hasil pematidatan

% semen	Void Ratio (e)		
	< wopt	wopt	> wopt
0	0,44	0,37	0,47
5	0,49	0,56	0,59
10	0,48	0,57	0,64
15	0,46	0,56	0,60
20	0,46	0,56	0,61



**Gambar 4.8** Perubahan angka pori dari hasil pemadatan

#### 4.5 Kekuatan Geser *Weathered Clay Shale + Portland Cemen*

Hasil Uji *Triaxial UU Multistage* terangkum dalam table berikut ini :

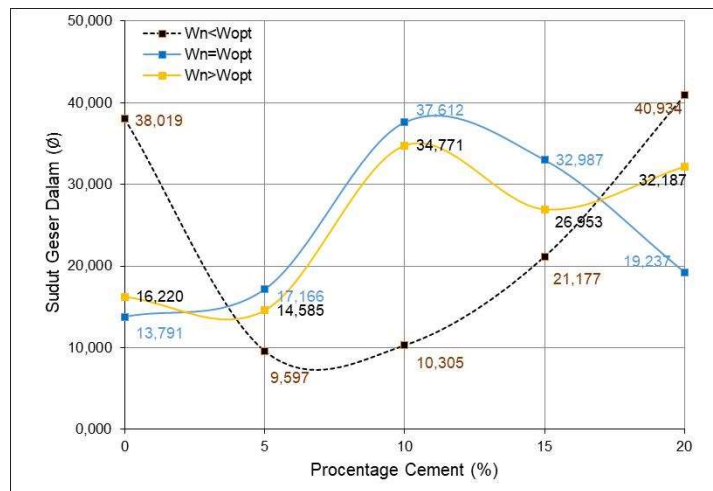
**Tabel 4.9** Perubahan parameter kuat geser terhadap penambahan %PC

% semen	Koehsi (Cu) kN/M <sup>2</sup>			Sudut geser dalam ( $\phi$ ) degree		
	< wopt	wopt	>wopt	< wopt	wopt	>wopt
0	30,00	55,00	40,00	38,019	13,791	16,220
5	22,00	56,00	75,67	9,597	17,166	14,585
10	20,00	69,67	121,67	10,305	37,612	34,771
15	80,00	28,00	136,67	21,177	32,987	26,953
20	23,00	109,00	141,00	40,934	19,237	32,187

**Tabel 4.10** Perubahan *sheer strength ratio* ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) dari hasil pengujian *triaxial UU multistate*

% semen	Sheer Strength Ratio		
	< wopt	wopt	>wopt
0	4,88	2,51	2,23
5	1,11	3,02	3,47
10	2,35	7,16	9,17
15	4,36	3,72	8,13
20	5,12	5,19	9,42

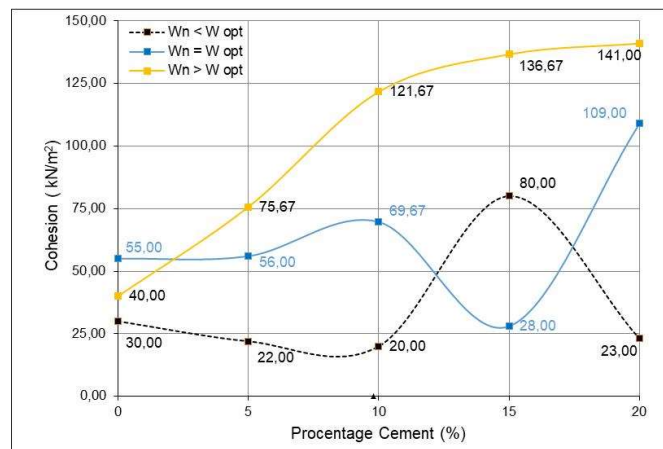
#### 4.5.1 Sudut Geser Dalam $\phi$ (°)



**Gambar 4.9** Perubahan nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) terhadap %PC

Pada penambahan 20%PC meningkatkan nilai Sudut Geser Dalam sebesar 7,67% pada kadar air  $W_n < W_{opt}$ , sedangkan pada penambahan 10% PC peningkatan nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) meningkat sebesar 172,73% pada kadar air  $W_n = W_{opt}$  dan meningkat sebesar 114,37% pada kadar air  $W_n > W_{opt}$ . Hal ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai sudut geser dalam terbesar terjadi pada variasi 10%PC dengan kadar air  $W_n = W_{opt}$ .

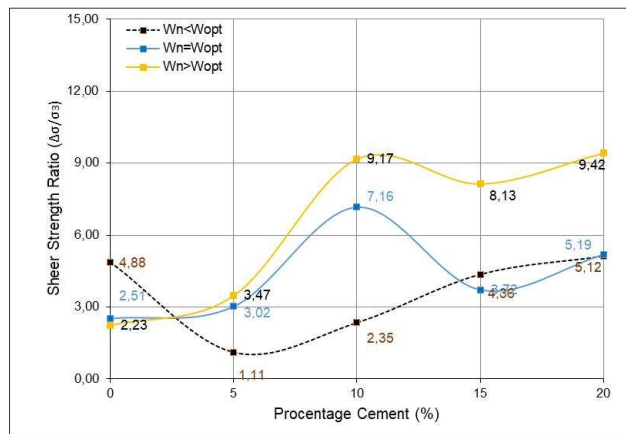
#### 4.5.2 Kohesi ( $C_u$ ) kN/m<sup>2</sup>



**Gambar 4.10** Perubahan nilai *cohesion* ( $C_u$ ) terhadap %PC

Pada penambahan 15%PC meningkatkan nilai *cohesion* ( $C_u$ ) sebesar 166,67% pada kadar air  $W_n < W_{opt}$ , sedangkan pada penambahan 20% PC peningkatan nilai *cohesion* ( $C_u$ ) meningkat sebesar 98,18% pada kadar air  $W_n = W_{opt}$  dan meningkat sebesar 252,50% pada kadar air  $W_n > W_{opt}$ . Hal ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan terbesar nilai *cohesion* ( $C_u$ ) terjadi pada variasi 20%PC dengan kadar air  $W_n > W_{opt}$ .

#### 4.5.3 Sheer Strength Ratio ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ )



**Gambar 4.11** Perubahan *sheer strength ratio* ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) dari hasil pengujian *triaxial UU multistate*

Nilai *cohesion* ( $C_u$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) sudah terakomodir dalam *sheer strength ratio* ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) ini. Pada penambahan 15%PC meningkatkan nilai *sheer strength ratio* ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) sebesar 5,08% pada kadar air  $W_n < W_{opt}$ , sedangkan pada penambahan 10% PC peningkatan nilai *sheer strength ratio* ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) meningkat sebesar 184,90% pada kadar air  $W_n = W_{opt}$  dan meningkat sebesar 311,21% pada kadar air  $W_n > W_{opt}$ . Hal ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan terbesar nilai *sheer strength ratio* ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) terjadi pada variasi 10%PC dengan kadar air  $W_n > W_{opt}$ .

#### 4.6 Pengaruh %PC terhadap Slake Durability Index (Id-1)

Pengujian *Slake Durability Index* ini dilakukan 1 siklus dengan variasi semen 0%PC, 5%PC, 10%PC, 15%PC dan 20%PC yang masing – masing dibuat

dengan kadar air 3% ( $W_n < W_{opt}$ ), 8% ( $W_n = W_{opt}$ ) dan 13% ( $W_n > W_{opt}$ ). Masing-masing kadar air memperoleh hasil sebagai berikut :

a. *Fresh Clay Shale*

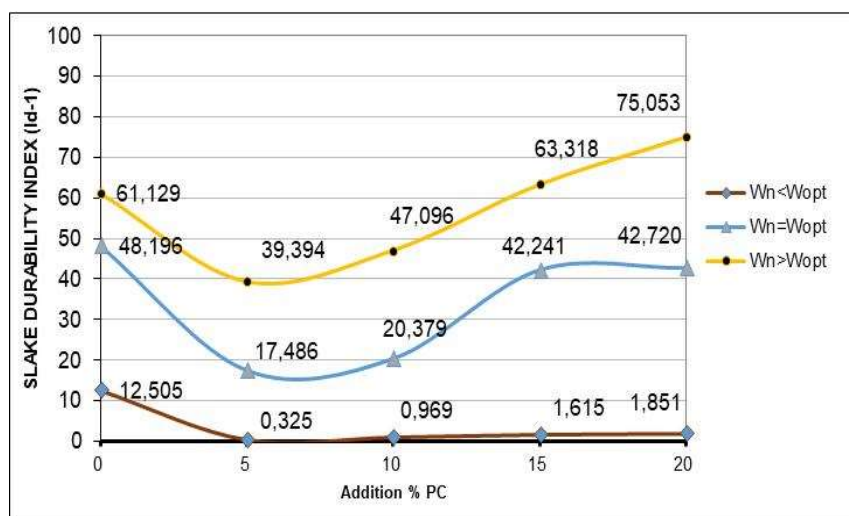
**Tabel 4.11** Hasil Uji *slake durability index* pada *fresh clay shale* dengan 3 siklus

SLAKE DURABILITY INDEX ON 3 <sup>st</sup> CYCLE			
Clay Shale	Cycle		
	1	2	3
Fresh Clay Shale	91,343	78,048	61,807

b. WCS + %PC

**Tabel 4.12** Hasil Uji *slake durability index* (Id-1) 1 siklus

SLAKE DURABILITY INDEX ON 1 <sup>st</sup> CYCLE			
Addition of % PC	Water Content of Weathered Clay Shale		
	< 5% from $W_{opt}$	$W_{opt}$	>5% from $W_{opt}$
0	12,505	48,196	61,129
5	0,325	17,486	39,394
10	0,969	20,379	47,096
15	1,615	42,241	63,318
20	1,851	42,720	75,053



**Gambar 4.12** Perubahan durabilitas terhadap %PC pada usia 3 hari

Berdasarkan Gambar 2.15 klasifikasi indeks *durability slake* (Goodman,1980) hasil grafik diatas dapat disimpulkan *durability* untuk masing-masing variasi %PC sebagai berikut:

**Tabel 4.13** Klasifikasi durabilitas 1 Cycle

No	Deskripsi	WCS + 0%PC	WCS + 5%PC	WCS + 10%PC	WCS + 15%PC	WCS + 20%PC
1	$W_n < W_{opt}$	VL	VL	VL	VL	VL
2	$W_n = W_{opt}$	VL	VL	VL	VL	VL
3	$W_n > W_{opt}$	L	VL	VL	L	L

Keterangan :

VL = Very Low

L = Low

M = Medium

Pemakaian  $W_n > W_{opt}$  menghasilkan low durability dengan kenaikan 3,58% pada 15%PC dan 22,78% pada 20%PC dari tanah asli. Untuk keefesiensian pemakaian semen maka kita dapat menggunakan campuran 15%PC dengan kadar air  $W_n > W_{opt}$ .

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dalam bab ini, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil penelitian serta analisis dan pembahasan pada tanah *clay shale* Cariu, Jonggol yang telah lapuk seluruhnya kemudian dipadatkan dan distabiliasi dengan *portland cement* (0%PC, 5%PC, 10%PC, 15%PC dan 20%PC) sebagai berikut :

1. Kadar air optimum ( $W_n$ ) pada tanah asli *clay shale* yang sudah lapuk adalah sebesar 11,52 % dengan berat isi kering max ( $\gamma_d$  max) sebesar 1,94 gr/cm<sup>3</sup>.
2. Pemakaian *Portland cement* pada tanah *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya dapat menurunkan plastisitas tanah dari tinggi ( $LL > 50$ ) ke rendah ( $LL < 50$ ). Sehingga mengubah klasifikasi tanah dari lempung dengan plastisitas tinggi (CH) menjadi lempung dengan plastisitas rendah (CL) atau lanau dengan plastisitas rendah (MH).
3. - Pada kadar air  $W_n < W_{opt}$  dengan penambahan 15%PC meningkatkan nilai *cohesion* ( $C_u$ ) dari tanah asli hingga 166,67% dan dengan penambahan 20%PC meningkatkan nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) hingga 7,67%.  
- Pada kadar air  $W_n = W_{opt}$  dengan penambahan 20%PC meningkatkan nilai *cohesion* ( $C_u$ ) dari tanah asli hingga 98,18% dan dengan penambahan 10%PC meningkatkan nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) hingga 172,73,67%.  
- Pada kadar air  $W_n > W_{opt}$  dengan penambahan 20%PC meningkatkan nilai *cohesion* ( $C_u$ ) dari tanah asli hingga 252,50% dan meningkatkan nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) hingga 98,44%.
4. Secara umum *sheer strength ratio* ( $\Delta\sigma/\sigma_3$ ) :  
- pada  $W_n < W_{opt}$  dengan penambahan 20%PC meningkat hingga 5,08%.  
- pada  $W_n = W_{opt}$  dengan penambahan 10%PC meningkat hingga 184,90%

- pada  $W_n > W_{opt}$  dengan penambahan 10%PC meningkat hingga 311,21%
- 5. Berdasarkan klasifikasi durabilitas (kd) dengan 1 putaran dari Goodman, 1980, maka pada campuran 15% dengan kadar air  $W_n > W_{opt}$  didapat nilai  $KD = 63,318$  (Low).
- 6. Pada nilai sheer strength ratio diperoleh campuran 10%PC untuk hasil optimum dan pada nilai slake durability diperoleh campuran 15% dengan masing-masing campuran pada kadar air  $W_n > W_{opt}$ . Sehingga disimpulkan pemakaian semen untuk stabilisasi tanah clay shale yang telah lapuk seluruhnya dapat menggunakan 15%PC pada kadar air  $W_n > W_{opt}$ .

## 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dikemukakan setelah hasil penelitian didapatkan yaitu :

1. Untuk campuran tanah *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya dapat menggunakan 15%PC dan kadar air  $W_n > W_{opt}$ .
2. Perlu dilanjutkan penelitian kembali menggunakan jenis campuran yang berbeda.



## REFERENSI

- Alatas I. M. (2010). Soil Investigation Report : Pusdiklat Dan Sekolah Olah Raga Nasional, Hambalang, Sentul, Jawa Barat. In *Final Report Soil Investigation*. Jakarta: Geoinves Soil Mechanics Laboratory, Jakarta.
- Alatas, I. M. (2012). Geotechnical Engineering Aspect in Infrastructure Building on Difficulties soil. *C-Line Journal, Civil Eng Departement of ISTN*.
- Alatas, I. M. and Wawan, K. (2016). Shrink and Swell Behaviour of Clay Shale Under Variation of Surcharge Load on Daihatsu Motor Assembly Plant Factory in Surya Cipa Industrial Estate, West Java, Indonesia, March 2016. In *Technical Report: Nippo Corp Japan - Kadii Joint Operation*.
- Alatas I. M., *Kesan Luluhawa Terhadap Kekuatan Ricih Syal Lempung Dalam Penentuan Parameter Kestabilan Cerun*, in *Razak School of Engineering and Advanced Technology*, 2017, Universiti Teknologi Malaysia: 2017.
- Alatas, I. M., Wawan, K and Panji, G. (2019). Penambahan *Portland Cement* Terhadap Perilaku Pelapukan Ulang *Clay Shale* Hambalang
- ASTM D 422-72 (1989). Standard Method for Particle-Size Analysis of Soils. *Annual Book for ASTM Standard*.
- ASTM D 2216-80 (1989). Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil, Rock, and Soil-Aggregate Mistures. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 4318-84 (1989). Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- Blatt, H. and Robaert, J. T. (1996). *Igneous, Sedimentary and Metamorphic, 2nd edition, Freeman, pp. 281–292*
- Darwis, H. (2018). Dasar – dasar Mekanika Tanah, *Yogyakarta*
- Erguler, Z. A. and Shakoor, A. (2009). Quantification of Fragment Size Distribution of Clay-Bearing Rocks after Slake Durability Testing. *Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XV, No. 2, May 2009, pp. 81–89*.
- Gartung, E. (1986). Excavation of The Hard Clays of The Keuper Formation. *Proceeding of Symposium Geotechnical Engineering Divission, Seattle, Washington*.

- Geoinves (2010). Laporan Pendugaan Geolistrik Tahanan Jenis Pada Area Diklat Olahraga Nasional, Sentul, Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. In *Final Report Soil Resistivity by Geolistrik 1 D*.
- Himawan, A. (2011). Kajian Geoteknik Dan Usulan Teknis Kemiringan Lereng Galian Man Road STA 22+375 - 22+840 Dan Sekitar Interchange Bawen. In *Technical Report WIJAYA KARYA PT*.
- Ingles. O. G and Metcalf J.B. (1972). *Soil Stabilization, Sydney:103 - 115*
- Irsyam, M., Endra, S. and Himawan, A. (2007). Slope Failure of an Embankment on Clay Shale KM 97+500 Of The Ciplarang Toll Road and The Selected Solution : A Case Of Slope Failure Due To Strength Degradation Of Clay Shale. *Proceeding of The Geotechnical International Symposium in Bangkok 6-7 December 2007*.
- Irsyam, M., Jataputra, A. A., Himawan, A. and Kartawiria, A. (2011). Kasus-Kasus Kelongsoran Pada Tanah Clay Shale dan Alternatif Penanggulangannya. *Proceeding of the 9th Indonesian Society for Geotechnical Engineers Conference and 15th Yearly Scientific Meeting, Jakarta .December 2011*.
- ISRM (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods: International Society for RockMechanics (ISRM), . Ankara, Turkey.
- LEMIGAS, L. (2015). SEM and XRD Report for Semarang-Bawen and Hambalang Clay Shale. Jakarta: LEMIGAS.
- Mitchell, J. K. and Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behaviour 3rd edition*: John Wiley & Sons, Inc.
- Nandi, A. and Shakoor, A. (2008). Application of logistic regression model for slope instability prediction in Cuyahoga River Watershed, Ohio, USA. *Georisk*. 2 (1), 16-27.
- Sadisun, I. A., Andri S. S., Asep, N. and Prihananto, S. (2006). Weathering Of Some Selected Rock Types And Their Strength Degradation Obtained From Schmidt Hammer. *Proceeding PIT IAGI Riau, The 35th IAGI Annual Convention and Exhibition ,Pekanbaru – Riau, 21 – 22 November 2006*.
- Sadisun, I. A., Bandonno, Shimada, H., Ichinose, M., and Matsui, K. (2010). Physical Disintegration Characterization of Mudrocks Subjected to Slaking Exposure and Immersion Tests. *Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 4 Desember 2010: 219-225*. Shakoor, A. Gautam, T. P. (2015). Influence of Geologic and Index Properties on Disintegration Behavior of Clay-Bearing Rocks. *Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XXI, No. 3, August 2015, pp. 197–209*.

- Shakoor, A. and Tej, P. G. (2011). Assessing The Slaking Behaviour of Clay-Bearing Rock. *10th Annual Technical Forum Geohazards Impacting Transportation In The Appalachian Region, Columbus Ohio USA.*
- Skempton, A. W. (1977). *Slope Stability of Cuttings in Brown Clay.* Tokyo.
- Timothy. D. S. and Duncan, M. (1991). Mechanisms of strength loss in stiff clays. *Journal of Geotechnical Engineering.* 117 (1), 139-154.
- Van Bemmelen, R. W. (1970). *The Geology of Indonesia Vol. IA, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelago,(2nd ed.).* . Netherland.