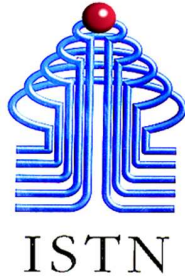


**LAPORAN
PENELITIAN DOSEN**



**PERILAKU SIFAT FISIK CLAY SHALE HAMBALANG JAWA BARAT
DAN *CLAY SHALE* SEMARANG BAWEN JAWA TENGAH AKIBAT
PROSES PENGERINGAN DAN SIKLUS PEMBASAHAN
PENGERINGAN**

Tim Peneliti

Ketua : Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

NIDN : 0316016101

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
2016**

PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

- 1 Judul Penelitian : PERILAKU SIFAT FISIK CLAY SHALE HAMBALANG
JAWA BARAT DAN *CLAY SHALE* SEMARANG BAWEN
JAWA TENGAH AKIBAT PROSES PENGERINGAN DAN
SIKLUS PEMBASAHAN PENGERINGAN
- 2 Ketua Peneliti :
a. Nama Lengkap : 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. Telpon/Faks/E-mail : 0218410387/hb_idrus@yahoo.com
- 3 Anggota Peneliti : -
- 4 Lokasi Penelitian : Hambalang, Jawa Barat dan Semarang-Bawen , Jawa Tengah
- 5 Jumlah biaya : Rp.20.000.000,-

Jakarta, November 2016

**Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Sipil**



Ir. Marsiano, MT

Ketua Peneliti



Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

**Menyetujui,
Ketua LP2M – ISTN**



DR. Ir. Syamsul Elyumin MSc

DAFTAR ISI

Isi	Halaman
Daftar isi	i
Kata Pengantar	iv
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	x
Abstrak	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	2
1.2 Pernyataan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Objektif Penelitian	5
1.4 Lingkup Penelitian	5
1.5 Kepentingan Penelitian	7
1.6 Susunan Pelaporan Penelitian	7
BAB 2 STUDI LITERATUR	9
2.1 Pendahuluan	9
2.2 Perilaku Clay Shale	10
2.2.1 Perubahan Fisik Clay Shale	10
2.2.2 Perubahan Sifat-Sifat Indeks	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Pendahuluan	16
3.2 Disain dan Diagram Alir Penelitian	17

3.3	Penyelidikan Lapangan	19
3.3.1	Penyelidikan Tanah	19
3.3.2	Topografi	19
3.4	Uji Laboratorium Mekanik Tanah	20
3.4.1	Uji Sifat-Sifat Indek Clay Shale	20
3.4.2	Proses Pelapukan di Laboratorium	20
3.4.3	Uji Ratio Disintegritas (<i>Disintegration Ratio Test</i>)	24
3.5	Uji Kimia, Uji Mineral dan Scaning Elektro Magnetic (SEM)	24
3.6	Rancangan Uji Laboratorium	25
3.7	Jenis dan Lokasi Laboratorium Penguji	26
BAB 4	HASIL AWAL SIFAT FISIK CLAY SHALE	28
4.1	Pendahuluan	28
4.2	Hasil Uji di Lapangan	29
4.2.1	Topografi	29
4.2.2.	Penelitian Geologi	31
4.3	Uji Awal di Laboratorium	33
4.3.1	Sifat-sifat Indeks	35
4.3.2	Sifat Fisik	40
4.3.3.	Mineralogi dan Pengindaian Mikroskopik Electron (SEM)	42
BAB 5	PENGARUH PELAPUKAN TERHADAP SIFAT FISIK CLAY SHALE	46
5.1	Pendahuluan	46
5.2	Perubahan Sifat Fisik Clay Shale Akibat Proses Pelapukan	46
5.2.1	Perubahan Sifat Fisik Akibat Proses Masa Pengeringan	48
5.2.2	Perubahan Sifat Fisik Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan	49
5.2.3	Perubahan Ratio Disintegritas (D_R) Akibat Proses Masa Pengeringan	55
5.2.4	Perubahan Ratio Disintegritas (D_R) Akibat Siklus Pembasahan Pengeringan	56
5.2.5	Pengaruh Jenis Mineral Clay shale Terhadap Ratio Disintegritas (D_R)	61

5.3	Perubahan Pengembangan Akibat Siklus Pembasahan Pengerinan	67
5.3.1	Pengembangan Clay shale Semarang-Bawen Akibat Siklus Pembasahan Pengerinan	69
5.3.2	Pengembangan Clay shale Hambalang Akibat Siklus Pembasahan dan Pengerinan	69
5.3.3.	Pengaruh Jenis Mineral Clay shale Terhadap Perubahan Pengembangan	76
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	80
5.1	Saran	82
	Referensi	84
	Lampiran	89

KATA PENGANTAR

Dengan mewujudkan rasa syukur kepada Allah swt, alhamdulillah penelitian ini yang berjudul “Perilaku Sifat Fisik Clay Shale Hambalang Jawa Barat dan Clay Shale Semarang-Bawen Jawa Tengah Akibat Proses Pengeringan dan Siklus Pembasahan dan Pengerainan” selesai kami kerjakan dan di susun dalam laporan penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari seri penelitian yang menyangkut penelitian tentang clay shale. Kami bersyukur bahwa ini dalam penelitian ini didapat suatu temuan yang baru dan 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 mau 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

Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

DAFTAR GAMBAR

Gambar No	JUDUL GAMBAR	Hal
Gambar 1.1	Keruntuhan lereng apabila permukaan clay shale terbuka setelah dilakukan pemotongan lereng (Alatas, 2012)	2
Gambar 1.2	Keruntuhan lereng apabila permukaan clay shale terbuka setelah dilakukan pemotongan lereng (Alatas, 2012)	3
Gambar 1.3	Perubahan bentuk fisik clay shale dari masa ke masa (Irsyam <i>et al.</i> , 2011)	4
Gambar 1.4	Lokasi Pusat Pendidikan Olah Raga Hambalang, Sentul, Jawa Barat (Geoinves, 2010)	6
Gambar 1.5	Keruntuhan lereng clay shale di proyek jalan Tol Semarang Ungaran Bawen seksi STA 19+250 (Himawan, 2011)	6
Gambar 2.1	Perilaku lempung-batuan dasar di lapangan (Nandi dan Shakoor, 2008)	11
Gambar 2.2	Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap masa akibat proses pelapukan (Sadisun <i>et al.</i> , 2010)	11
Gambar 2.3	Distribusi ukuran butiran sampel yang hancur di laboratorium terhadap empat jenis lempung batuan dasar (Shakoor dan Tej, 2011)	12
Gambar 2.4	Indeks ketahananlasakan dari clay shale dibandingkan dengan batu lempung, batu lumpur dan batu lanau (Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015)	13

Gambar 2.5	Perubahan fisik clay shale dan lainnya akibat pelapukan (Shakoor dan Tej, 2011)	13
Gambar 2.6	Perubahan distribusi ukuran butiran akibat sampel yang hancur (<i>slake</i>) setelah 1, 3, 6, dan 9 bulan (Shakoor dan Tej, 2011)	14
Gambar 3.1	Diagram alir kerja penelitian clay shale	18
Gambar 3.2	Uji pengukuran perubahan isi sampel (a) dan ruang pengeringan (b)	22
Gambar 4.1	Rencana jalan tol trans Jawa, dari Merak ke Banyuwangi (Wikipedia, 2015)	30
Gambar 4.2	Peta topografi lapangan Semarang-Bawen dari STA 19+000 hingga STA 19+775 (Himawan, 2011)	30
Gambar 4.3	Keruntuhan lereng pada STA 19+250 Jalan Tol Semarang-Bawen, Jawa Tengah (Himawan, 2013)	31
Gambar 4.4	Keadaan <i>Physiographic</i> Regional Pulau Jawa dan Madura (Van Bemmelen, 1970)	32
Gambar 4.5	Peta geologi Hambalang, Jawa Barat dan sekitarnya (a), serta peta geologi Semarang-Bawen Jawa Tengah (b) (Effendi A, 1974; Thanden <i>et al.</i> , 1996)	33
Gambar 4.6	Uji di laboratorium mekanik tanah Geoinves di Jakarta (Geoinves, 2014)	34
Gambar 4.7	Unit berat jenuh (γ_{sat}), berai isi (γ) dan unit berat kering (γ_d) clay shale Semarang-Bawen semasa awal penyediaan sejumlah 58 sampel.	37
Gambar 4.8	Kadar air awal semasa awal pembuatan sampel clay shale Semarang-Bawen berjumlah 58 sampel.	37
Gambar 4.9	Unit berat jenuh (γ_{sat}), berai isi (γ) dan unit berat kering (γ_d) clay shale Hambalang semasa terbitan asal sejumlah 66 sampel	38
Gambar 4.10	10 Kadar air asal semasa terbitan asal sampel clay shale Hambalang pada awal pembuatan 66 sampel	38
Gambar 4.11	Hasil sampel tak terganggu clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang di dalam ruang pengeringan	40

Gambar 4.12	Distribusi ukuran butiran clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang	41
Gambar 4.13	Hasil uji mineralogi clay shale Semarang-Bawen dengan XRD (LEMIGAS, 2015)	42
Gambar 4.14	Hasil uji mineralogi clay shale Hambalang dengan XRD (LEMIGAS, 2015)	43
Gambar 4.15	Hasil scanning elektro magnetic (SEM) clay shale Semarang-Bawen dengan pembesaran 4,500X dan 9,000X. (LEMIGAS, 2015)	45
Gambar 4.16	Hasil scanning elektro magnetic (SEM) clay shale Hambalang dengan pembesaran 1,800X dan 2,200X (LEMIGAS, 2015)	45
Gambar 5.1	Perubahan sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang terhadap proses pengeringan dan siklus pembasahan pengeringan	57
Gambar 5.2	Perubahan butiran clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat proses pengeringan hingga 80 hari	48
Gambar 5.3	Perubahan distribusi ukuran butiran clay shale akibat proses pengeringan. (a) clay shale Semarang-Bawen (b) clay shale Hambalang	49
Gambar 5.4	Perubahan distribusi distribusi ukuran butiran clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari, (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari	51
Gambar 5.5	Perubahan distribusi distribusi ukuran butiran clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari, (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari	52
Gambar 5.6	Perubahan bentuk fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat siklus pembasahana pengeringan dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari	53

Gambar 5.7	Disintegritas sampel batuan lempung, setelah pendedahan iklim mula-mula (Shakoor dan Gautam, 2015)	54
Gambar 5.8	Penentuan ratio disintegritas (D_R) akibat pelapukan dari uji distribusi ukuran butiran (Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015)	58
Gambar 5.9	Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat proses masa pengeringan (a) clay shale Semarang-Bawen (b) clay shale Hambalang	56
Gambar 5.10	Perbandingan perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat masa pengeringan dan masa siklus pembasahan pengeringan (a) clay shale Semarang-Bawen (b) clay shale Hambalang	57
Gambar 5.11	Uji pengembangan vertikal dan horizontal clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang (a) Pada masa pengeringan (b) Pada masa rendaman (c) proses pengeringan clay shale Hambalang (d) proses pengeringan clay shale Semarang-Bawen	67
Gambar 5.12	Regangan vertikal (ϵ_v) dan regangan horizontal (ϵ_h) clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman dalam masa 8 hari	69
Gambar 5.13	Perubahan isi sampel clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman pada masa 8 hari	69
Gambar 5.14	Regangan vertikal dan regangan horizontal clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman dalam masa 8 hari	70
Gambar 5.15	Perubahan isi sampel rata-rata clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan pengeringan	70
Gambar 5.16	Perilaku penyusutan dan pengembangan clay shale Cikarang akibat proses pengeringan dan pembasahan dari lokasi No.1 sampel No.7 dengan beban surcharge sebanyak 10kN/m^2 (Alatas dan Wawan, 2016)	73

- Gambar 5.17 Pengaruh pegeringan dan pembasahan pada 3 jenis pengawetan tanah terhadap penyusutan dan pengembangan semasa 40 hari 10 siklus (Robert, 1994) 74
- Gambar 5.18 Perubahan regangan vertikal terhadap kadar mineral Smectit pada *argillaceous rocks* (Sadisun *et al.*, 2002) 76

DAFTAR TABEL

Tabel No	JUDUL TABEL	Hal
Tabel 3.1	Tabel uji di laboratorium sampel terganggu pada proses pembasahan dan pengeringan (1 kali rendam/8 hari, hingga masa 80 hari)	22
Tabel 3.2	Tabel uji di laboratorium sampel terganggu pada proses pembasahan dan pengeringan (2 kali rendam/8 hari, hingga masa 80 hari)	23
Tabel 3.3	Tabel uji di laboratorium sampel terganggu pada proses pembasahan dan pengeringan (3 kali rendam/8 hari, hingga masa 80 hari)	23
Tabel 3.4	Tabel uji triaksial pada clay shale dengan pembasahan dan pengeringan dengan 2 kali rendam/ 8 hari, hingga masa 40 hari	24
Tabel 3.5	Uji-uji pendahuluan di laboratorium	25
Tabel 3.6	Uji laboratorium pada proses pelapukan pengeringan	25
Tabel 3.7	Jenis uji laboratorium pada proses pelapukan pembasahan dan pengeringan	26
Tabel 3.8	Jenis test dan lokasi uji laboratorium	27
Tabel 4.1	Jenis uji awal di laboratorium clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang	34
Tabel 4.2	Hasil uji graviti tentu clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang	39
Tabel 4.3	Hasil uji batas Atterberg clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang	39

Tabel 4.4	Hasil uji sifat indeks dan sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang	41
Tabel 4.5	Gambaran keseluruhan kekuatan geser clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang pada keadaan mula-mula	44
Tabel 4.6	Kadar mineral clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang (LEMIGAS, 2015)	45
Tabel 5.1	Nilai D_R dari batuan lempung keras yang terbuka semula jadi selama 12 bulan (Shakoor dan Gautam, 2015)	59
Tabel 5.2	Sistem pengkelasan ketahananlasakan didasarkan atas ratio disintegritas, D_R (Erguler dan Shakoor, 2009; ISRM, 2007)	59
Tabel 5.3	Perubahan pengkelasan ketahananlasakan clay shale Semarang-Bawen akibat pelapukan dengan proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan pada masa awal hingga 80 hari berdasarkan ISRM 2007	60
Tabel 5.4	Perubahan pengkelasan ketahananlasakan clay shale Hambalang akibat pelapukan dengan proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan pada masa awal hingga 80 hari berdasarkan ISRM 2007	60
Tabel 5.5	Hasil semi kuantitatif dari data uji XRD: Q (kuarza), P (plagioklas), Py (pirit), R (rutil), G (gypsum), C (kalsit), Si (siderit), I (illit) dan S (smektit) (Sadisun <i>et al.</i> , 2010)	63
Tabel 5.6	Hasil dari ketahananlasakan pengeringan dan perendaman (Sadisun <i>et al.</i> , 2010)	63
Tabel 5.7	Perubahan distribusi ukuran butiran clay shale akibat pelapukan	64
Tabel 5.8	Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat pelapukan	65
Tabel 5.9	Pengaruh mineralogi clay shale terhadap ratio disintegritas (D_R)	66
Tabel 5.10	Pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan pengembangan dan penyusutan	77
Tabel 5.11	Pengaruh komposisi mineral terhadap pengembangan dan penyusutan akibat siklus pembasahan dan pengeringan	79

ABSTRAK

Clay shale dalam keadaan awal adalah merupakan batuan lempung yang memiliki kekuatan geser yang tinggi. Pengaruh pelapukan terhadap clay shale yang terkena kepada atmosfera dan hidrosfera menyebabkan kekuatan geser clay shale berkurang sangat signifikan. Permasalahan ini yang menjadikan penyebab banyak terjadi kegagalan pada lereng di tanah clay shale. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisik clay shale akibat pengaruh pelapukan melalui proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan di laboratorium. Untuk mengetahui tujuan penelitian maka dilakukan proses pengeringan clay shale selama 80 hari, manakala delapan siklus proses pembasahan dan pengeringan adalah dalam waktu 32 hari dengan pembasahan selama 5 menit dilakukan setiap 4 hari sekali. Perubahan fisik clay shale akibat pelapukan terlihat dari perubahan susunan komposisi butiran. Ratio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang perilakunya serupa dengan Semarang-Bawen akibat proses pengeringan. Namun akibat proses siklus pembasahan dan pengeringan ternyata perubahan sifat fisiknya terlihat perubahan yang signifikan, dimana clay shale Semarang- Bawen memiliki penurunan ratio disintegritas yang lebih cepat dibandingkan clay shale Hambalang. Hal ini terjadi karena keuanya berbeda dari formasinay dan beda pula kandungan mineralnya

ABSTRACT

Clay shale in its natural state is a clay rock that has a high shear strength. Weathering effects of shale clay that is exposed to the atmosphere and hydrosphere causes shear strength of clay shale reduced very significantly. This is what makes many causes of failure on a slope in the land of clay shale. This study aims to determine the physical propeties reduction due to the effects of weathering through the process of drying and wetting and drying cycles carried out in the laboratory testing. To find out the purpose of the study was conducted drying process for 80 days of clay shale, while eight cycles of wetting and drying process is within 32 days of wetting for 5 minutes was performed once every 4 days. Physical changes in clay shale due to weathering can be seen from changes in the composition of the grain composition. The disintegrity ratio (D_R) of Hambalang clay shale is similar in behavior to Semarang-Bawen due to the drying process. However, due to the wetting and drying cycle process, it was found that the changes in physical properties showed significant changes, where Sermarang-Bawen clay shale had a lower disintegrity ratio than Hambalang clay shale. This happens because they are different from the formasinay and the different mineral contentre.

BAB 1

PENDAHULUAN

Shale adalah batuan elastik sedimen halus yang terdiri daripada campuran lumpur yang mempunyai kepingan mineral lempung dan serpihan kecil (lanau berukuran butiran) mineral lain, terutamanya Kuarza dan Kalsit. Ratio lempung terhadap mineral lain adalah berbeda (Blatt dan Robaert, 1996). Shale mempunyai ciri-ciri berupa patahan memanjang berbentuk lamina tipis atau lapisan berlapis berketebalan kurang daripada 1 cm yang dipanggil '*fissility*' (Blatt dan Robaert, 1996). Ciri '*fissility*' ini tidak terdapat pada batu lumpur lain yang berkomposisi sama. Sepertiga hingga dua pertiga kadar batu lumpur adalah butiran lanau berukuran lebih kecil daripada 0.06 mm. Sedangkan kurang daripada 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.

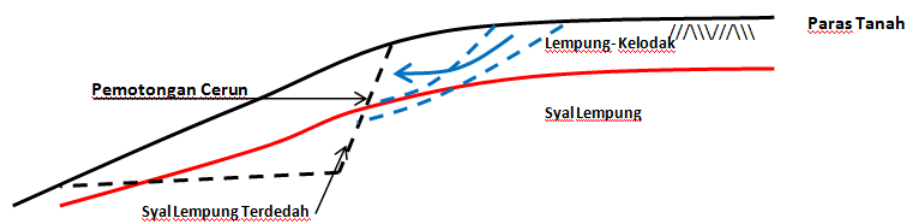
Perilaku rekayasa utama clay shale amat sukar difahami kerana akan menjadi lempung lunak (lumpur) apabila terbuka kepada sinar cahaya matahari, udara dan air dalam masa yang agak singkat. Walau bagaimanapun lapisan clay shale yang dilindungi dengan lapisan tanah yang cukup tebal mempunyai kekuatan geser sangat baik. Perubahan sifat clay shale yang masih belum difahami ini telah mendorong penelitian dilakukan ke atas clay shale yang sukar terbuka mengalami proses pelapukan dan penurunan kekuatan melalui kerja galian.

1.1 Latar Belakang Penelitian

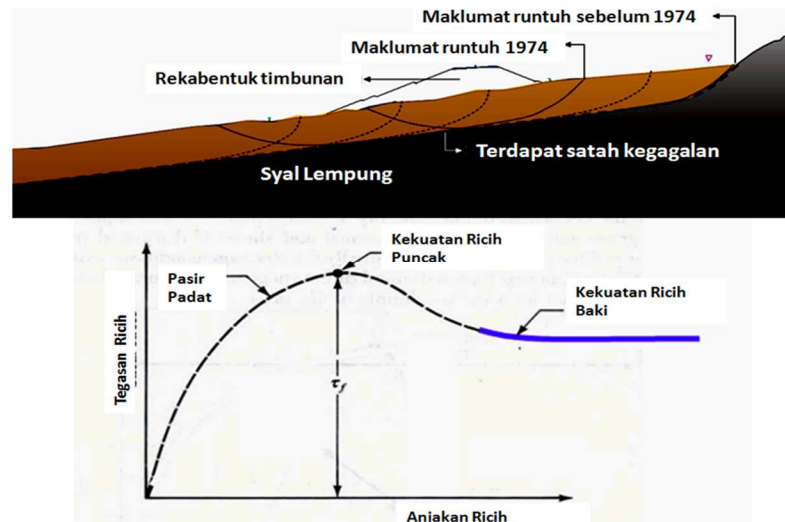
Beberapa kasus kerusakan infrastruktur bangunan akibat keruntuhan lereng di Indonesia berasal daripada kelemahan struktur tanah clay shalnya. Keruntuhan lereng progresif telah diketahui dalam kejadian tanah runtuh seperti di Jalan Tol Cipulang (Irsyam *et al.*, 2007), Pusat Pendidikan Olah raga Hambalang Sentul Bogor (Alatas, 2010) dan Jalan Tol Unggaran-Bawen, Jawa Tengah (Himawan, 2011). Penelitian terperinci yang kurang terhadap kasus-kasus tanah runtuh ini telah menyebabkan para engineer membuat kekeliruan dalam disain rekayasa struktur bangunan.

Penyebab tanah runtuh pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 dapat menggambarkan latar belakang permasalahan penelitian ini sebagai berikut:

- (1) Kelemahan perencana skestabilan lereng di tanah clay shale yang menyebabkan tanah runtuh adalah berpuncak daripada kesalahan dalam penentuan parameter kekuatan geser.
- (2) Proses pelapukan clay shale bergantung kepada mineral utama dalam clay shale, dan bagaimana proses pelapukan itu terjadi.
- (3) Semakin lama tanah clay shale terbuka kepada udara, cahaya matahari dan pembasahan akibat hujan sehingga terjadi proses pelapukan, maka semakin rendah nilai ratio disintegritas (D_R). Manakala semakin lama proses pengeringan dan pembasahan dilakukan, maka D_R semakin kecil.
- (4) Sebelum ini, perencana skestabilan lereng di lokasi yang pernah mengalami tanah runtuh tidak dapat dibuat berdasarkan ujian laboratorium mekanik tanah yang standar.



Gambar 1.1 Keruntuhan lereng apabila permukaan clay shale terbuka setelah dilakukan pemotongan lereng (Alatas, 2012)



Gambar 1.2 Tanah runtuh 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 daerah lain di Indonesia. Tanah jenis ini memiliki kekuatan geser yang tinggi pada kedalaman tertentu walaupun dibebani oleh lapisan timbunan atas. Namun, kekuatan gesernya akan cepat menurun apabila ia terbuka kepada atmosfir atau hidrosfir.

Perilaku kekuatan geser tanah didapati menurun secara drastik apabila tanah tersebut terganggu, terpelapukan (Gartung, 1986), dan kehilangan kekuatan (Irsyam *et al.*, 2011). Jika diuji di laboratorium, parameter kekuatan gesernya berubah dengan signifikan bila dibandingkan dengan keadaan asalnya di dalam tanah. Ini sangat berbeda dengan jenis lempung yang lain di mana pengeringan dan pembasahan tanah tidak memberikan penurunan kekuatan geser yang signifikan.

1.2 Pernyataan Masalah

Apabila terjadi proses pengeringan ataupun pengeringan dan pembasahan pada clay shale, maka clay shale menjadi lebih lemah. Ini terjadi karena proses pelapukan melalui pengeringan dan pembasahan telah menyebabkan penurunan

kekuatan geser clay shale yang berasal dari pelapukan sifat fisik dari clay shale tersebut. Dalam Gambar 1.3 di bawah, perubahan bentuk fisik clay shale yang melalui proses pengeringan dan pembasahan dilihat semakin terlapukan 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 tidak terganggu dan terganggu untuk mendapatkan kekuatan geser pada tegangan puncak dan tegangan sisa. Sampel-sampel tersebut diuji melalui ujian geser cincin (sampel terganggu) dan ujian geser kotak (sampel tidak terganggu) tanpa mengkaji pengaruh pelapukan. Oleh karenanya, dalam penelitian ini pengaruh proses pelapukan clay shale dikaji lebih mendalam untuk mengetahui perubahan sifat-sifat indeks, fisik dan mekanik clay shale melalui data utama ujian di laboratorium. Sehingga kini belum ada penelitian seumpama ini boleh dijadikan rujukan untuk perencana kestabilan lereng yang mengambil kira proses perubahan kekuatan geser akibat pelapukan, pelepasan tegangan dan proses lereng runtuh progresif.

Sehubungan itu, penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat clay shale secara holistik ini menggunakan hipopenelitian bahwa disain terdahulu telah menggunakan metode normal atas sifat-sifat lempung shale. Oleh karenanya, melalui penelitian ini parameter clay shale dapat dilihat secara terperinci. Parameter-parameter yang diperolehi melalui metode yang telah dirumuskan secara khusus

dapat memberikan nilai sebenar untuk disain lereng pada masa akan datang. Ini diharapkan agar dapat mengatasi masalah engineer dalam disain lereng yang dipengaruhi oleh clay shale.

1.3 Tujuan dan Objek Penelitian

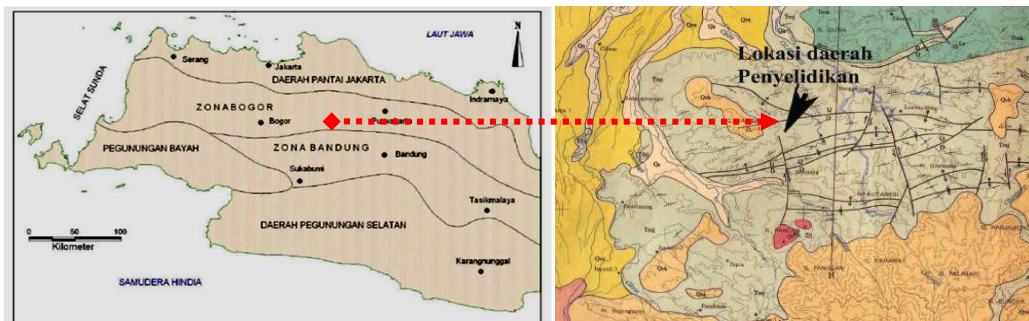
Penelitian ini dijalankan dengan tujuan untuk mengkaji kaspelapukan terhadap penentuan parameter kekuatan geser yang tepat bagi perencana kestabilan lereng yang mempunyai tanah clay shale di Pulau Jawa. Tujuan penelitian dicapai melalui empat objektif berikut:

- (1) Menentukan pengaruh pelapukan dari proses pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan sifat fisik serta perilaku clay shale.
- (2) Menentukan pengaruh mineral yang dominan terhadap tingkat pelapukan clay shale akibat proses pelapukan pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan
- (3) Menentukan kuantitatif dari siklus pembasahan dan pengeringan terhadap kecepatan pelapukan dari clay shale.
- (4) Memperkenalkan metode ujian pelapukan pada clay shale dengan pengujian rasio disintegritas untuk melihat perubahan sifat fisik clay shale akibat proses pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan.

1.4 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian ini akan dilakukan pada sampel tanah clay shale dari dua lokasi yang berbeda yaitu di Hambalang Sentul Jawa Barat seperti dalam Gambar 1.4 dan pada lokasi jalan tol Semarang Ungaran-Bawen, Jawa Tengah seperti dalam Gambar 1.5. Manakala penyelesaian masalah tanah runtuh yang terjadi pada pinggiran Jalan Tol Semarang Ungaran-Bawen pada STA 19+250 diambil sebagai

penelitian kasus. Analisis yang digunakan dibatasi kepada metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dengan metode unsur terhingga (*finite element method*) dan menggunakan perisian *Plaxis V.7*.



Gambar 1.4 Lokasi Pusat Pendidikan Olah Raga Hambalang, Sentul, Jawa Barat (Geoinves, 2010)



Gambar 1.5 Keruntuhan lereng clay shale di proyek jalan Tol Semarang Ungaran Bawen seksi STA 19+250 (Himawan, 2011)

Untuk mencapai objektif (1), pengaruh pelapukan dari proses pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan sifat fisik serta perilaku clay shale dilakukan terhadap 2 sampel clay shale yang berbeda formasi terbentuknya. Ujian sifat fisik tersebut dilakukan dengan memperhatikan pada setiap jangka masa tertentu untuk mengetahui proses pelapukan. Pada jangka masa tersebut, proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan sampel clay shale dilakukan di samping ujian perubahan sifat fisik clay shale seperti perubahan gradasi butiran akibat pelapukan dengan menghitung rasio disintegritasnya (D_R). Perubahan

sifat fisik clay shale akibat pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan seperti perubahan ratio disintegritas (D_R) yang diperoleh daripada distribusi ukuran butiran (GSD) akibat pelapukan.

Kemudian, dalam objektif (2) pengaruh mineral yang dominan dikaji terhadap tingkat pelapukan clay shale akibat proses pelapukan pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan.

Kemudian dalam objektif (3), penentuan kuantitatif dari siklus pembasahan dan pengeringan dalam kurun waktu tertentu terhadap kecepatan pelapukan dari clay shale. Disini akan dibahas pengaruh frekuensi pembasahan dalam interval 8 hari terhadap perubahan rasio disintegritasnya.

Manakala untuk objektif (4), mempulerkan metode ujian pelapukan pada clay shale dengan pengujian rasio disintegritas untuk melihat perubahan sifat fisik clay shale akibat proses pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan.

1.5 Kepentingan Penelitian

Kepentingan penlitian ini sangat bermanfaat untuk melihat tingkat kecepatan pelapukan dari suatu clay shale. Sehingga perencana dapat mengenal pasti perilaku pelapukan clay shale yang ditemui dilapangan. Dengan demikian dapat diketahui secara dini bagaimana resiko yang akan dihadapi bila clay shale yang ditemui dilapangan akibat penggalian atau pekerjaan infrastruktur lainnya. Dengan mengenal tingkat percepatan pelapukannya maka dapat diantisipasi untuk melakukan pencegahan agar tidak terjadi kegagalan dari bangunan infrastruktur yang akan dibangun.

1.6 Susunan Pembahasan Penelitian

Bab 1 adalah pendahuluan yang meliputi pembahasan tentang latar belakang, pernyataan masalah, tujuan dan objektif penelitian, lingkup penelitian dan kepentingan penelitian.

Seterusnya, Bab 2 membincangkan penelitian literatur berkaitan clay shale dari segi mineralogi, kimia, ciri-ciri pengaruh pelapukan terhadap penurunan rasio disintegritasnya..

Dalam Bab 3, metodologi penelitian dibahas dengan memuatkan diagram alir penelitian dan penjelasan tentang metode ujian laboratorium yang akan dilakukan. Manakala hasil awal ujian lapangan, ujian laboratorium mekanik tanah dan ujian laboratorium kimia, ujian scanning elektro magnetic (SEM) serta minera.

Dalam Bab 4 dibahas tentang hasil ujian sifat-sifat fisik clay shale akibat proses pelapukan dibahas. Perubahan rasio disintegritas (D_R) clay shale akibat proses semasa pelapukan, pengaruh ratio disintegritas (D_R) terhadap perubahan kekuatan geser clay shale juga turut dibahas.. Penelitian ini diakhiri dengan Bab 5 untuk kesimpulan dan saran penelitian lanjut.

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Bab ini menyampaikan penelitian literatur dari beberapa peneliti terdahulu yang menghubungkan perilaku dan kekuatan geser clay shale serta pengaruh pelapukan terhadap penurunan kekuatan geser clay shale. Beberapa penelitian kekuatan geser clay shale yang lalu telah membicarakan hasil berbagai jenis ujian di laboratorium pada tegangan puncak dan tegangan sisa. Penelitian mengenai kekuatan geser ini sangat penting dalam pembahasan dan validasi hasil penelitian ujian yang diperolehi.

Penelitian terdahulu mengenai ujian kekuatan geser dengan sistem bertahap sangat penting untuk menentukan kohesi dan sudut geser dalam clay shale. Ujian triaksial dengan sistem bertahap diaplikasi untuk menentukan kekuatan geser sisa tanpa pelepasan tegangan dan dengan pelepasan tegangan. Dalam setiap ujian triaksial, gambar sampel yang runtuh diambil untuk dibahas pada bab seterusnya.

Parameter yang diperolehi daripada kekuatan geser tersebut diperlukan dalam penentuan faktor keamanan lereng yang sangat penting dalam rekayasa geoteknik. Ini telah menyebabkan wujudnya perbincangan 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.

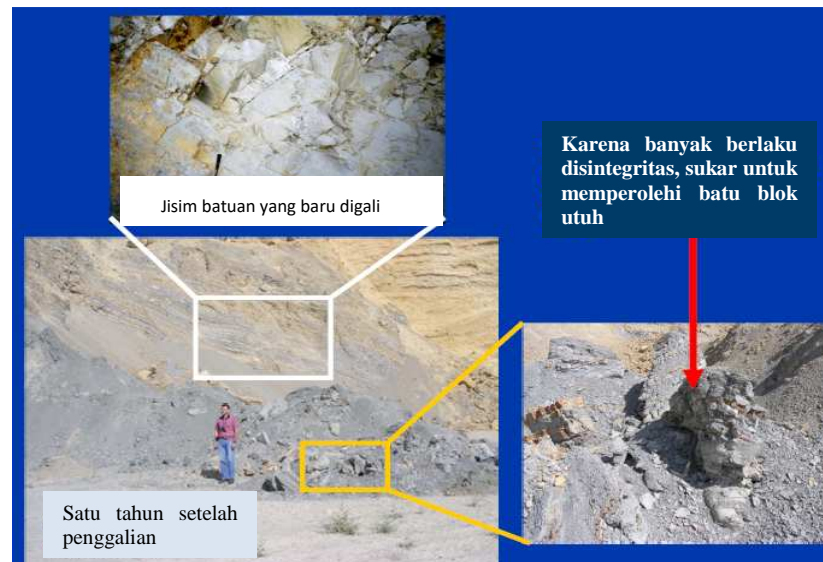
Pada akhir Bab 2 ini, jurang berbedaan dari penelitian lalu dibahas bagi memastikan penelitian ini mempunyai kepentingan yang bermanfaat bagi rekayasa geoteknik pada masa depan.

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 yang progresif dari kekuatan geser yang menyebabkan ketidakstabilan pada lereng (Skempton, 1977).

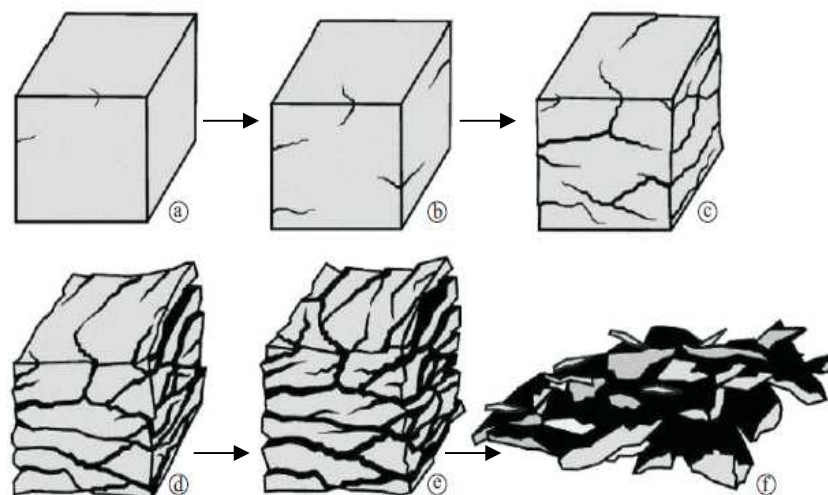
2.2.1 Perubahan Fisik Clay shale

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 terpelapukan 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).

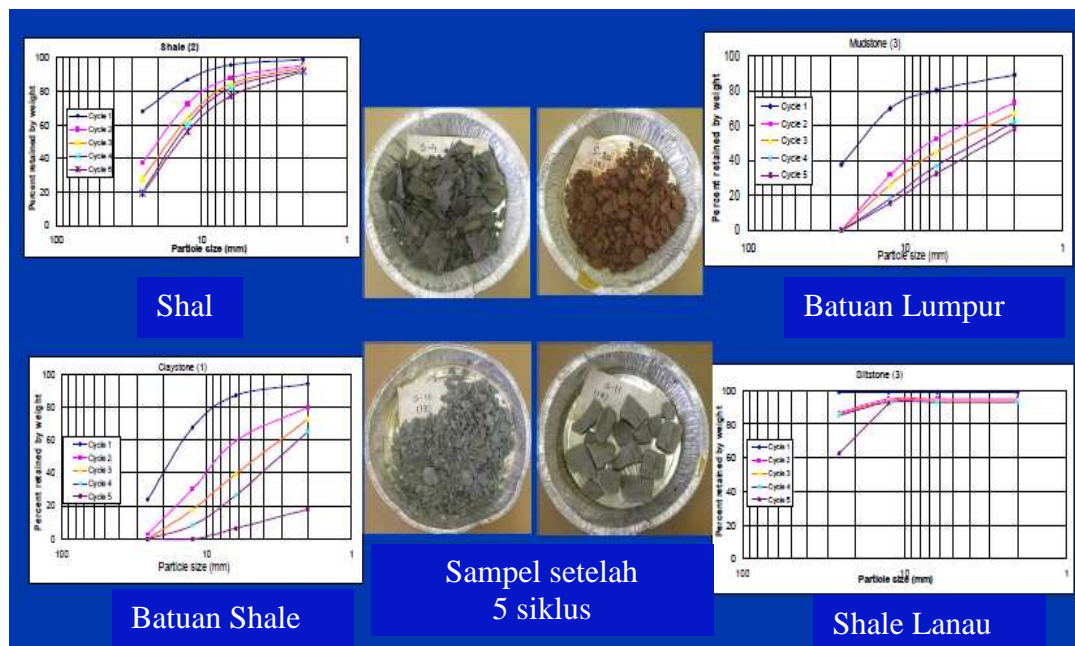


Gambar 2.2 Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap masa akibat proses pelapukan (Sadisun *et al.*, 2010)

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

- (i) Indeks ketahananlasakan (*Slake Durability Index*)
- (ii) Ratio disintegritas (*Disintegration Ratio*)

Ujian 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 menunjukkan perubahan distribusi ukuran butiran bagi empat penelitian tersebut. Dari gambar tersebut, ratio disintegritas (D_R) diperolehi daripada ratio luas di bawah lengkung distribusi ukuran butiran dengan luas jumlah menyeluruh lengkungan distribusi ukuran butiran. Gambar 2.4 pula menggambarkan indeks ketahananlasakan dari clay shale dibandingkan dengan batu lempung, batu lumpur dan batu lanau. Pengaruh perubahan cuaca terhadap perubahan distribusi ukuran butiran clay shale dan lainnya selama satu tahun (Shakoor dan Tej, 2011), telah dilakukan dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.

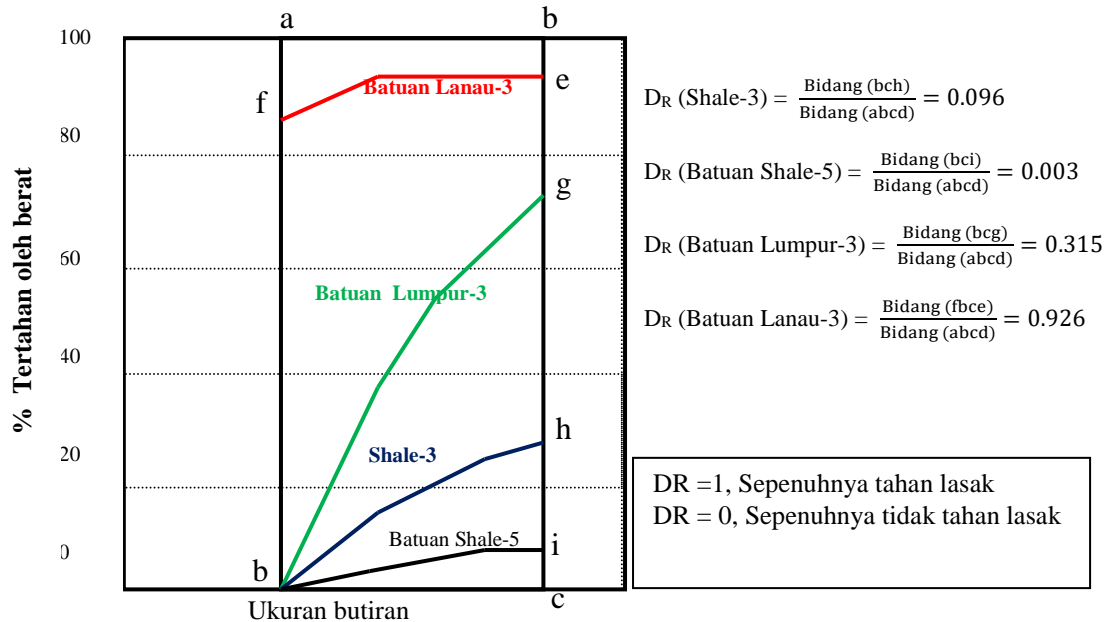


Gambar 2.3 Distribusi ukuran butiran sampel yang hancur di laboratorium terhadap empat jenis lempung batuan dasar (Shakoor dan Tej, 2011)

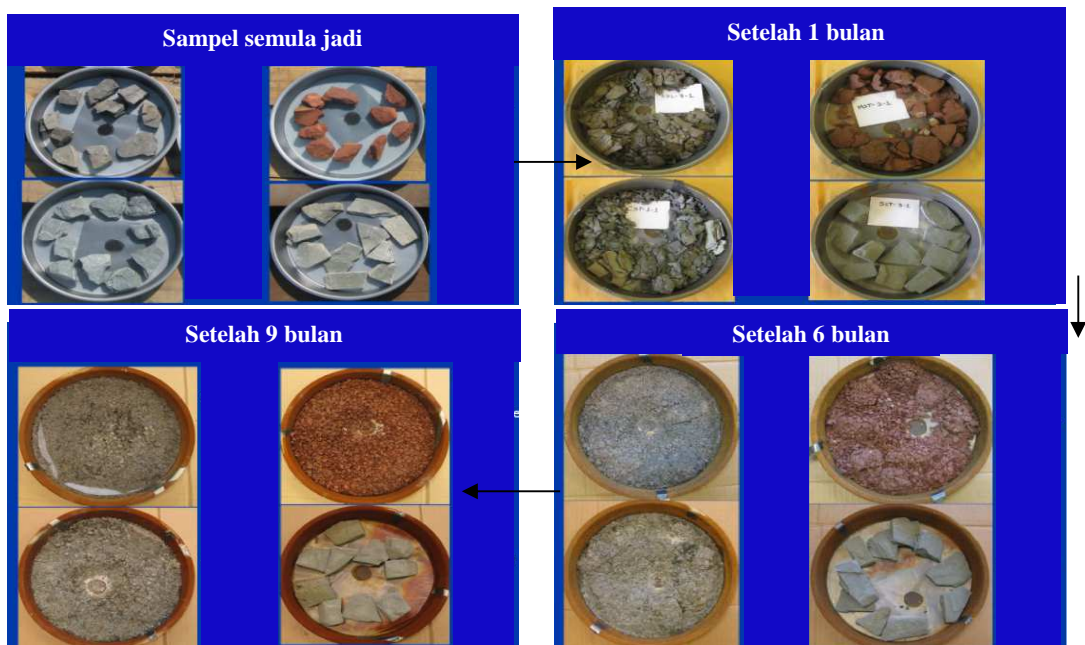
Dari gambar distribusi ukuran butiran, ratio disintegritas (D_R) yang diperoleh ialah:

$$D_R = \frac{A_c}{A_T}; \quad \text{di mana } A_c = \text{Luas dibawah lengkung distribusi ukuran butiran, dan}$$

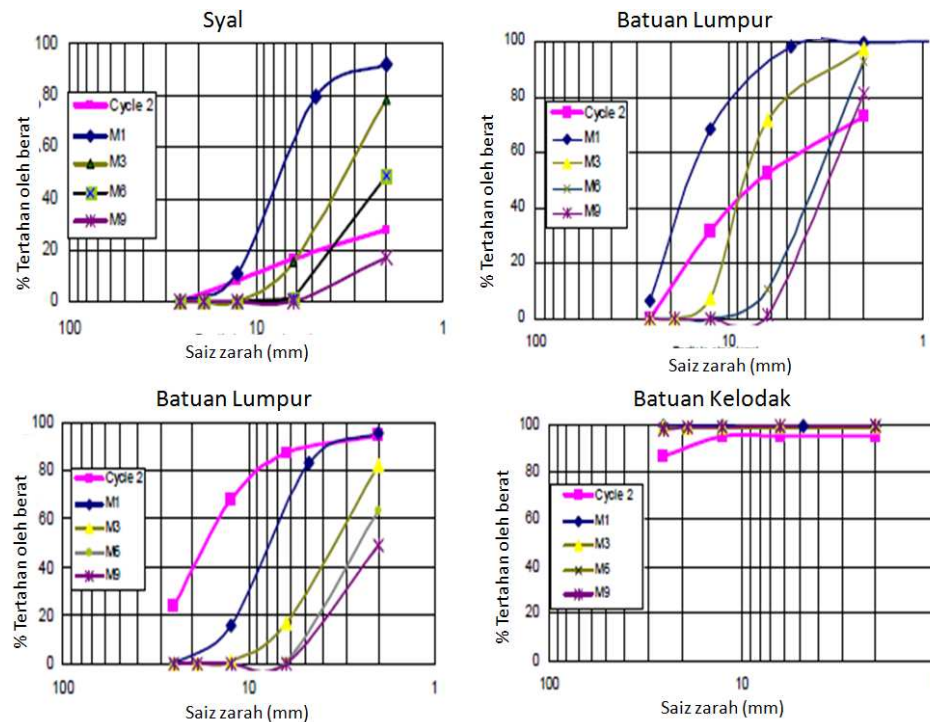
$$A_T = \text{Luas jumlah menyeluruh lengkungan distribusi ukuran butiran.}$$



Gambar 2.4 Indeks ketahananlasakan dari clay shale dibandingkan dengan batu lempung, batu lumpur dan batu lanau (Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015)



Gambar 2.5 Perubahan fisik clay shale dan lainnya akibat pelapukan (Shakoor dan Tej, 2011)



Gambar 2.6 Perubahan distribusi ukuran butiran akibat sampel yang hancur (*slake*) setelah 1, 3, 6, dan 9 bulan (Shakoor dan Tej, 2011)

Penelitian sebanyak 20 sampel batuan lempung, batuan lumpur, batuan lanau dan shale, telah dikaji perubahan ratio disintegritasnya (D_R) selama satu tahun oleh Shakoor dan Gautam (2015). Terjadinya pelapukan selama setahun pada batuan tersebut menyebabkan pengurangan ratio disintegritas (D_R). Sementara Erguler dan Shakoor (2009) melakukan pengelasan berdasarkan perubahan ratio disintegritas dengan terlebih dahulu ditentukan indeks ketahanan lasakan Isd_2 (%) pada siklus ke-2 berdasarkan ISRM (2007).

Ujian pengembangan daripada 38 sampel batuan lumpur, shale lumpur, batuan lanau dan batuan lumpur dilakukan dengan metode perendaman batuan. Perubahan isi sampel terkecil sebanyak 0.1% terjadi akibat perendaman, manakala perubahan isi sampel maksimum terjadi pada batuan lempung sebanyak 68.9% (Sarman dan Shakoor, 1994).

2.2.2 Perubahan Sifat-Sifat Indeks

Penelitian di laboratorium berupa perubahan berai isi (γ) , angka pori (e) , kadar air (w) dari tanah sisa Malang, Jember dan Mojokerto akibat proses pengeringan dilakukan oleh Muntaha (2012). Penelitian serupa juga dilakukan oleh Fauziah dan Syukri (2006) pada tanah sisa di Pulau Pinang Malaysia serta tanah sisa di Bukit Timah oleh Indrawam *et al.* (2006). Sementara Panjaitan dan Sumitro (2000) melakukannya pada tanah Citra Raya asli tak jenuh yang ditambahkan abu terbang 5% dan 15% kemudian direndam hingga 15 hari. Semua hasil penelitian menunjukkan bahwa ada perubahan sifat-sifat indeks akibat proses pengeringan atau berkurangnya kadar air dari tanah.

Penelitian perubahan kadar air rata-rata dilakukan pada lapangan San Antonio dan Corpus Crist pada siklus iklim luruh tahun 1992 hingga musim dingin tahun 1995, sementara pada lokasi Collect Station dimulai iklim luruh tahun 1993 hingga iklim panas 1995. Penelitian ini telah dilakukan oleh Briaud *et al.* (2003) dengan mendapat kadar air pada kedalaman 0 meter hingga 1.5 m.

Ujian perubahan angka pori pada kadar clay shale pada batuan lanau telah dilakukan oleh Shakoor dan Brock (1987). Ini dilakukan pada clay shale Pensylvania, Missisipian dan Mevoni dan batuan lanau dari Missisipi dan Devoni. Semakin banyak kadar clay shale terhadap batuan lanau maka semakin kecil nibah lompong yang terjadi (Shakoor dan Brock, 1987).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pada penelitian ini, uji laboratorium mekanik tanah clay shale menjadi bagian utama dari metodologi penelitian, yaitu uji analisa ukuran butiran (GSD) dari sampel terganggu. Sampel clay shale yang dikaji ialah dari Semarang-Bawen Jawa Tengah dan Hambalang Jawa Barat yang diperoleh dari uji galian.

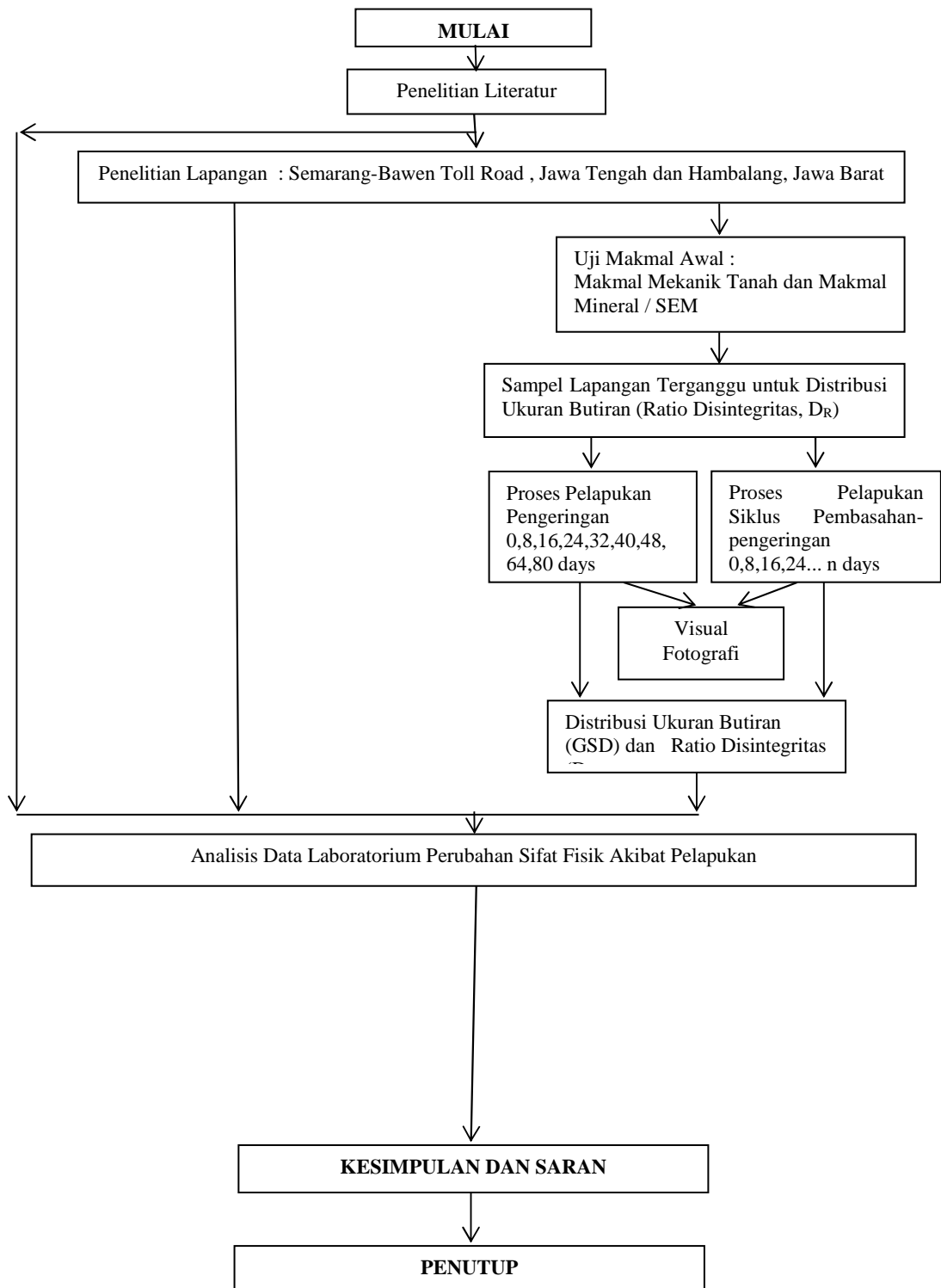
Uji GSD di laboratorium dilakukan pada sampel yang dilakukan proses pelapukan dengan cara pengeringan serta pengeringan dan pembasahan. Dua proses pelapukan ini akan dibuat pemodelannya dengan menggunakan ruang pengering serta perendaman dan pengeringan. Ketika terjadinya kedua-dua proses pelapukan tersebut, diamati pula perubahan sifat fisik clay shale. Kasus dari dua proses pelapukan tersebut pada setiap masa sampel dikaji melalui uji GSD. Uji GSD ini menggunakan suatu metode dan dihasilkan grafik antara prosentasi kumulatif tertahan dengan diameter ukuran butirannya.

Untuk menjawab objektif penelitian yang telah dinyatakan, maka suatu disain dan diagram alir penelitian dibuat supaya penelitian ini tersusun secara sistematis. Pada diagram alir penelitian juga dapat dilihat uji lain yang dilakukan dengan pelbagai analisis metode yang telah dipilih untuk menonjolkan kepentingan penelitian yang bermanfaat bagi ilmu rekayasa geoteknik pada masa akan datang.

3.2 Disain dan Diagram Alir Penelitian

Pada awal penelitian, penyusunan dan identifikasi penelitian sifat fisik dalam perilaku clay shale dilakukan melalui penelitian literatur. Satu lokasi di Hambalang Jawa Barat dan jalan tol Semarang-Bawen STA 19+250 Jawa Tengah dipilih sebagai lokasi sampel penelitian. Sampel-sampel diambil daripada lapangan penelitian untuk beberapa uji awal di laboratorium mekanik tanah, laboratorium kimia dan mineralogi serta uji scanning elektro magnetic (SEM). Seterusnya, penyelidikan lapangan di lapangan dilakukan untuk mendapatkan data tanah dan peta elevasi ketinggian bagi tujuan analisis kestabilan lereng (Petrosol, 2012).

Uji analisa butiran untuk mendapatkan rasio disintegritas (D_R) dari clay shale dalam proses pelapukan dihasilkan dari uji analisis ayakan dan hidrometer setelah distribusi ukuran butiran diperoleh. Analisis data laboratorium dan falidasi data dilakukan untuk mendapatkan hasil perubahan kekuatan geser terhadap proses pelapukan serta hubungannya terhadap parameter clay shale yang lain. Disain dan diagram alir penelitian ini boleh dirujuk pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir kerja penelitian clay shale

3.3 Penyelidikan Lapangan

Penyelidikan lapangan dilakukan untuk mendapatkan maklumat dan data berkaitan tanah dan topografi untuk keperluan analisis kestabilan lereng.

3.3.1 Penyelidikan Tanah

Untuk keperluan data tanah, uji-uji berikut dilakukan:

- (i) Uji penggerudian lubang dalam dengan sistem penerasan (*coring system*).
- (ii) Uji Standard Penetrasi Test (SPT).
- (iii) Persampelan tak terganggu menggunakan tabung sampel berdinding tipis (*Thin Walled Tube Sampler*) dan tong teras tunggal (*Single Core Barrel*).
- (iv) Persampelan tak terganggu dari uji lubang galian (*test pit*) untuk uji triaksial.
- (v) Persampelan terganggu clay shale untuk uji sifat indeks, graviti tentu (G_s), distribusi ukuran butiran (GSD), ratio disintegritas (D_R), mineralogi dengan pembelauan X-Ray (*X Ray Diffraction*).

3.3.2 Topografi

Pengukuran topografi sangat diperlukan untuk mendapatkan peta elevasi ketinggian untuk menunjukkan bentuk kelerengan dalam analisis kestabilan lereng.

3.4 Uji Laboratorium Mekanik Tanah

Semua uji laboratorium dilakukan mengikut standardan ASTM (*American Standard for Testing Material*) dan dilakukan di laboratorium mekanik tanah Geoinves di Jakarta.

3.4.1 Uji Sifat-Sifat Indeks Clay Shale

Semua uji sifat-sifat indeks clay shale dilakukan berdasarkan standardan uji dari *American Standard for Testing Material* (ASTM). Uji sifat-sifat indeks ini meliputi uji kadar air (ASTM D 2216-80, 1989), uji berat unit (ASTM D 653-88, 1989), uji graviti tentu (ASTM D 854-83, 1989), uji batas Atterberg (ASTM D 4318-84, 1989), dan uji distribusi ukuran butiran (ASTM D 422-72, 1989).

3.4.2 Proses Pelapukan di Laboratorium

Proses pelapukan dilakukan di laboratorium dengan dua proses, yaitu proses pengeringan serta proses pembasahan dan pengeringan.

(i) Proses Pengeringan

Semasa pelapukan secara pengeringan dilakukan pada masa 0, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 64 dan 80 hari, pengeringan sampel dilakukan dengan cahaya matahari tetapi terlindung dari air hujan. Pengeringan sampel dilakukan di dalam ruang yang atapnya telus cahaya dan mempunyai peredaran udara yang cukup. Oleh karenanya, cahaya matahari dapat mengeringkan sampel tanah tetapi dilindungi dari air hujan. Ruang pengeringan dapat dilihat pada Gambar 3.8b (Geoinves, 2014).

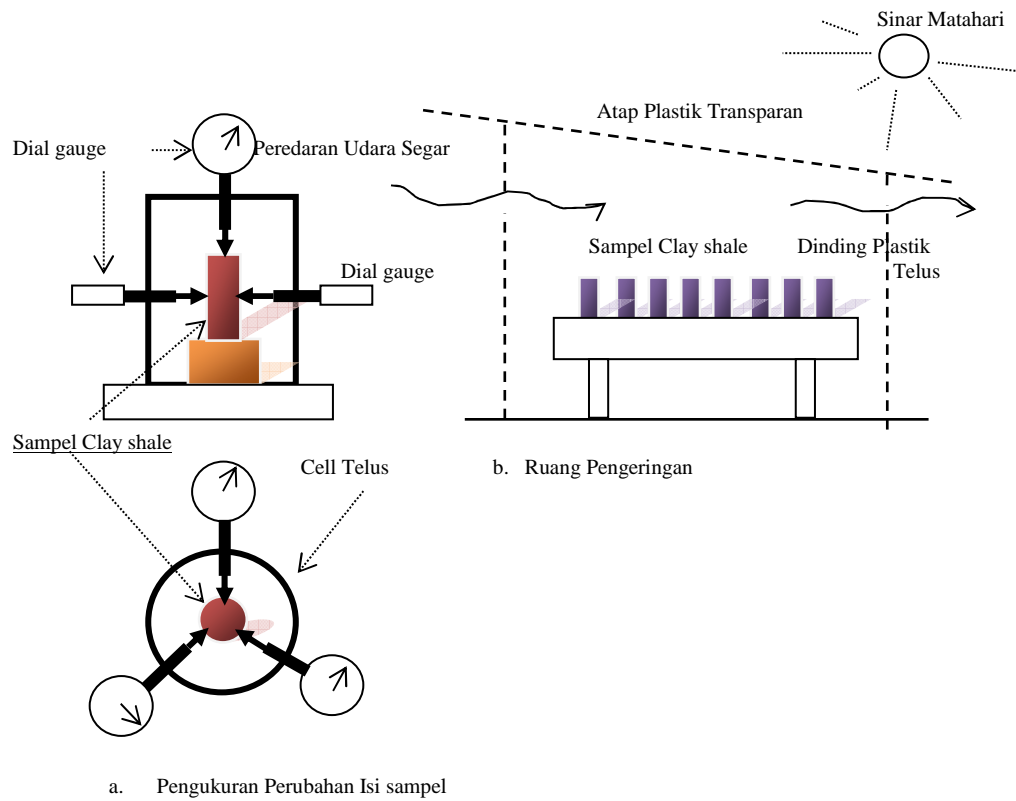
Selama proses pengeringan dilakukan, perubahan isi sampel sampel tanah diukur dengan alat pengubah isi sampel (*volumetric change*) pada setiap hari. Perubahan isi sampel dapat diukur dengan mengetahui perubahan tinggi dan diameter

sampel. Perubahan tersebut diperoleh dengan meletakkan tiga alat pencatat perubahan diameter dan satu alat pencatat perubahan ketinggian sampel tanah seperti pada Gambar 3.2a (Geoinves, 2014).

(ii) Proses Pembasahan dan Pengeringan

Semasa pelapukan dengan proses pembasahan dan pengeringan semua sampel yang akan diuji perlu melalui pengeringan dan pembasahan secara sekaligus. Metode pengeringan dan pembasahan dilakukan mengikut cara berikut:

- (a) Sampel clay shale terganggu untuk uji agihan ukuran bijian dilakukan pengeringan dan pembasahan dengan perubahan masa pembasahan sekali dalam masa 8 hari pengeringan, 2 kali dalam masa 8 hari pengeringan dan 3 kali dalam masa 8 hari pengeringan. Perubahan ini dilakukan bagi mendapatkan suatu model pengaruh jumlah hujan yang turun dalam masa tertentu terhadap kecepatan pelapukan clay shale. Pembasahan dilakukan dengan hanya merendam sampel dalam air selama masa 5 menit dan mengeringkannya kembali. Tabel 3.2, 3.3, 3.4 dan 3.5 menunjukkan perubahan pembasahan sehingga 80 hari.
- (b) Pada sampel clay shale tidak terganggu untuk uji triaksial, sampel direndam 2 kali dalam masa 8 hari pengeringan, dan uji triaksial dilakukan pada masa usia sampel 0, 8, 16, 24, 32, 40 hingga 80 hari. Tabel 3.8 menunjukkan disain tabel sampel tak terganggu dengan pengeringan dan pembasahan sehingga 80 hari.



Gambar 3.2 Uji pengukuran perubahan isi sampel (a) dan ruang pengeringan (b)

Tabel 3.1 : Tabel uji di laboratorium sampel terganggu pada proses pembasahan dan pengeringan (1 kali rendam/8 hari, hingga masa 80 hari)

Uji Laboratorium	Masa (Hari)											
	0	4	8	12	16	diteruskan ...	72	76	80			
Kadar Air (w)	✓	Rendam 5 min.	✓	Rendam 5 min.	✓	diteruskan ...	✓	Rendam 5 min.	✓			
Distribusi Ukuran Butiran (GSD)	✓		✓		✓	diteruskan ...	✓					
Pengukuran Perubahan Isi sampel	✓		✓		✓	diteruskan ...	✓					

Tabel 3.4 : Tabel uji triaksial pada clay shale dengan pembasahan dan pengeringan dengan 2 kali rendam/ 8 hari, hingga masa 40 hari

Hari		
Uji Triaksial 0 hari	Pengeringan	Hari ke 0 ~ 2
	Rendam 5 min	Hari ke 2
	Pengeringan	Hari ke 2 ~ 6
	Rendam 5 min	Hari ke 6
Uji Triaksial 8 hari	Pengeringan	Hari ke 6 ~ 10
	Rendam 5 min	Hari ke 10
	Pengeringan	Hari ke 10 ~ 14
	Rendam 5 min	Hari ke 14
Uji Triaksial 16 hari	Pengeringan	Hari ke 14 ~ 18
	Rendam 5 min	Hari ke 18
	Pengeringan	Hari ke 18 ~ 22
	Rendam 5 min	Hari ke 22
Uji Triaksial 24 hari	Pengeringan	Hari ke 22 ~ 26
	Rendam 5 min	Hari ke 26
	Pengeringan	Hari ke 26 ~ 30
	Rendam 5 min	Hari ke 30
Uji Triaksial 32 hari	Pengeringan	Hari ke 30 ~ 34
	Rendam 5 min	Hari ke 34
	Pengeringan	Hari ke 34 ~ 38
	Rendam 5 min	Hari ke 38
Uji Triaksial 40 hari	Pengeringan	Hari ke 40

3.4.3 Uji Ratio Disintegritas (*Disintegration Ratio Test*)

Uji ratio disintegritas dari clay shale pada dasarnya merupakan suatu hasil dari beberapa uji analisis ayakan yang dilakukan pada beberapa waktu yang berbeda akibat pengeringan serta pengeringan dan pembasahan yang terjadi semasa pelapukan. Uji ini dilakukan di Laboratorium Mekanik Tanah Geoinves Jakarta.

3.5 Uji Kimia, Uji Mineral dan Scaning Elektro Magnetic (SEM)

Uji kimia, uji mineral dengan *X-Ray Defraction* (XRD) dan uji scanning elektro magnetic (SEM) dilakukan di Direktorat Geologi, Jl. Pasteur, Bandung dan di laboratorium LEMIGAS (ESDM), Cipulir, Jakarta Jangkatan. Uji ini akan menghasilkan analisis kualitatif dan kuantitatif mineral clay shale dari dua lokasi pengambilan sampel tanah yang berbeda.

3.6 Rancangan Uji Laboratorium

Tabel 3.5, Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 berikut ini adalah ringkasan dari uji-uji yang dilakukan di laboratorium.

Tabel 3.5 : Uji-uji pendahuluan di laboratorium

Sampel Clay shale	Jenis Uji Awalan di Laboratorium					
	Mineralogi by XRD	S.E.M	Sifat Indeks	Graviti Tentu (Gs)	Distribusi ukuran butiran (GSD)	Triaksial (UU)
Hambalang, Jawa Barat	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Jalan-Tol Semarang-Bawen	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 3.6 : Uji laboratorium pada proses pelapukan pengeringan

Sampel Clay shale	Waktu Pengeringan Proses Pelapukan	Pengukuran Perubahan Isi sampel	Uji Ratio Disintegritas (D_R)
Semarang-Bawen	0 hari	✓	✓
	4 hari	✓	✓
	8 hari	✓	✓
	16 hari	✓	✓
	24 hari	✓	✓
	32 hari	✓	✓
	40 hari	✓	✓
	48 hari	✓	✓
	64 hari	✓	✓
	80 hari	✓	✓
Hambalang	0 hari	✓	✓
	4 hari	✓	✓
	8 hari	✓	✓
	16 hari	✓	✓
	24 hari	✓	✓
	32 hari	✓	✓
	40 hari	✓	✓
	48 hari	✓	✓
	64 hari	✓	✓
	80 hari	✓	✓

Tabel 3.7: Jenis uji laboratorium pada proses pelapukan pembasahan dan pengeringan

Sampel Clay shale	Waktu Pengeringan-Pembasahan Proses Pelapukan	Pengukuran Perubahan Isi sampel	Uji Ratio Disintegritas *) (DR)
Semarang-Bawen	0 hari	✓	✓
	0~8 hari	✓	--
	8 hari	✓	✓
	8~16 hari	✓	--
	16 hari	✓	✓
	16~24 hari	✓	--
	24 hari	✓	✓
	24~32 hari	✓	--
	32 hari	✓	✓
	32~40 hari	✓	--
Hambalang	40 hari	✓	✓
	0 hari	✓	✓
	0~8 hari	✓	--
	8 hari	✓	✓
	8~16 hari	✓	--
	16 hari	✓	✓
	16~24 hari	✓	--
	24 hari	✓	✓
	24~32 hari	✓	--
	32 hari	✓	✓
32~40 hari	✓	--	
40 hari	✓	✓	

Catatan : Uji dihentikan pada saat clay shale sudah 100% hancur setelah hari ke-40

*) Uji Ratio Disintegritas dilanjutkan dengan metode yang sama hingga 80 hari.

3.7 Jenis dan Lokasi Laboratorium Penguji

Tabel 3.8 di bawah ini menerangkan jenis-jenis uji dan lokasi laboratorium untuk uji tersebut. Semua persiapan peralatan laboratorium dan uji lapangan dimasukkan di dalam Lampiran A.

Tabel 3.8 : Jenis test dan lokasi uji laboratorium

No..	Jenis Test	Tempat uji laboratorium
1	Kadar air, sifat indeks, batas Atterberg, berat tentu, distribusi ukuran butiran	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
2	Uji triaksial (tak jenuh dan jenuh)	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
3	Proses pengeringan dan pengeringan pembasahan	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
4	Uji perubahan isi sampel pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
5	Ratio penyepain (D_R)	Laboratorium mekanika tanah GEOINVES, Jakarta
6	Uji kimia, mineral tanah dengan XRD dan SEM	Laboratorium Direktorat of Geology, Ministry of Mining and Energy RI, Bandung, Jawa Barat dan Laboratorium Lemigas, ESDM, Cipulir, Jakarta Jangkaran.

BAB 4

HASIL AWAL SIFAT FISIK CLAY SHALE

4.1 Pendahuluan

Dalam penelitian ini, sebelum dilakukan proses pelapukan pada clay shale yang diperoleh dari lokasi Semarang-Bawen Jawa Tengah serta Hambalang Sentul Jawa Barat, pengumpulan data topografi dan geologi terlebih dahulu dilakukan. Data topografi diperlukan dari lokasi clay shale di Semarang-Bawen, yaitu pada lokasi horizontal jalan bebas laluan Semarang-Bawen STA 19+250. Data topografi diperlukan untuk pengiraan kestabilan lereng khususnya menganalisis parameter kekuatan geser yang terjadi ketika keruntuhan lereng. Manakala data geologi berupa satu peta geologi diperlukan untuk mengetahui kadar jenis batuan dan formasi batuan.

Uji awalan di lapangan dan di laboratorium juga dilakukan untuk memperolehi sifat-sifat fisik dan mekanik tanah. Uji di lapangan meliputi uji pengeboran yang dilakukan bersama dengan uji standard penetration test(SPT) serta kadar lapisan tanah yang diperoleh. Uji galian juga dilakukan untuk memastikan bahwa clay shale yang akan diuji di laboratorium masih baru dan belum terjadi pelapukan. Sampel clay shale yang tidak terganggu dan terganggu dibawa ke laboratorium untuk uji sifat-sifat indeks, fisik dan mekanik. Uji mineralogi clay shale dilakukan melalui analisis kualitatif dan kuantitatif mineral clay shale daripada uji *X-Ray Diffraction*. Uji *SEM* juga dilakukan untuk menghasilkan gambar perincian bagi bentuk mineral clay shale.

4.2 Hasil Uji di Lapangan

Di sini pembahasan mengenai pengumpulan data, uji serta penelitian awal di lapangan terdiri daripada pengumpulan data mengenai gambar topografi pada kasus di jalan tol Semarang-Bawen pada STA 19+000 hingga 19+725 dan penelitian geologi. Hal lain adalah pengumpulan data mengenai uji pengeboran serta standar penetration test (SPT).

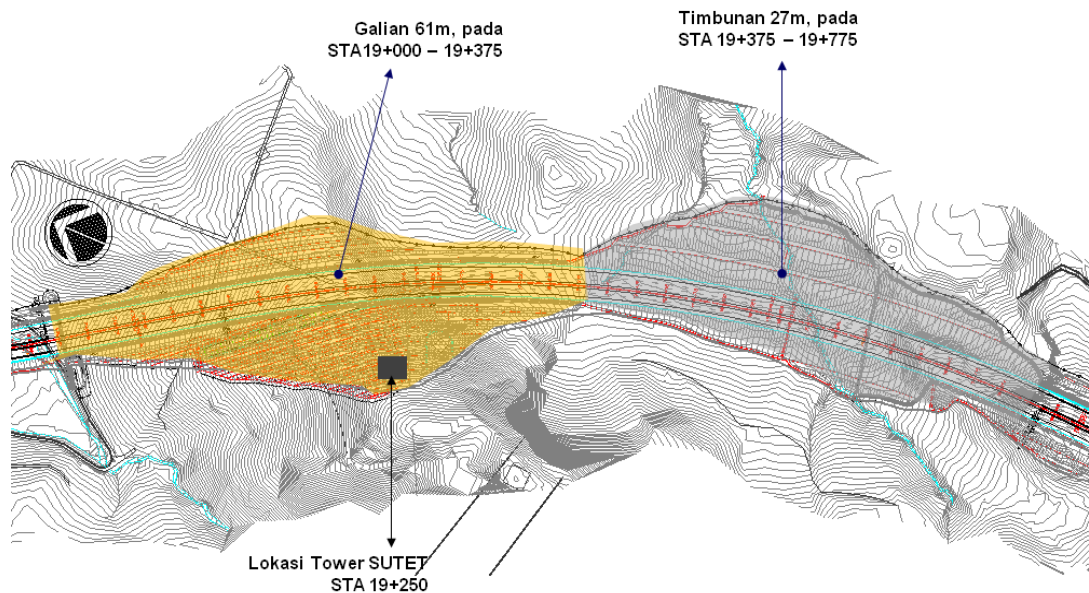
4.2.1 Topografi

Data topografi pada lokasi jalan tol Semarang-Bawen Jawa Tengah pada STA 19+000 hingga 19+725 dikumpul karena pada lokasi STA 19+250 keruntuhan lereng telah terjadi. Ia kemudiannya dijadikan kasus skestabilan lereng dalam penelitian ini. Manakala data topografi pada lokasi Hambalang Jawa Barat tidak dikumpul karena tiada analisis skestabilan lereng dibuat. Hanya persampelan clay shale saja yang dibuat untuk lokasi ini.

Data topografi telah dianalisis semasa pekerjaan jalan tol antara Semarang Jawa Tengah menuju Surabaya Jawa Timur melalui daerah Ungaran, Bawen, Solo, Sragen, Ngawi, Mojokerto (Wikipedia, 2015) seperti pada Gambar 4.1. Ketika penelitian ini dilakukan seksi jalan Semarang-Bawen telah digunakan, manakala seksi Bawen Solo masih dalam pekerjaan. Antara seksi STA 19+000 hingga STA 19+375 lereng yang dikonstruksi adalah lereng yang digali, manakala pada seksi STA 19+375 hingga STA 19+775 lereng adalah lereng yang ditambak. Pada jalur tersebut analisis topografi telah dilakukan dan penyelidikan tanah dibuat bagi kegunaan disain skestabilan lereng serta keperluan urugan tanah dan timbunan (Himawan, 2011). Kasusemua keperluan ini adalah untuk memenuhi disain jalur Tol Semarang menuju Jawa Timur. Hasil analisis topografi dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan ia merupakan lokasi terjadinya keruntuhan lereng yang akan dikaji dengan lebih lanjut.



Gambar 4.1 Rencana jalan tol trans Jawa, dari Merak ke Banyuwangi (Wikipedia, 2015)



Gambar 4.2 Peta topografi lapangan Semarang-Bawen dari STA 19+000 hingga STA 19+775 (Himawan, 2011)



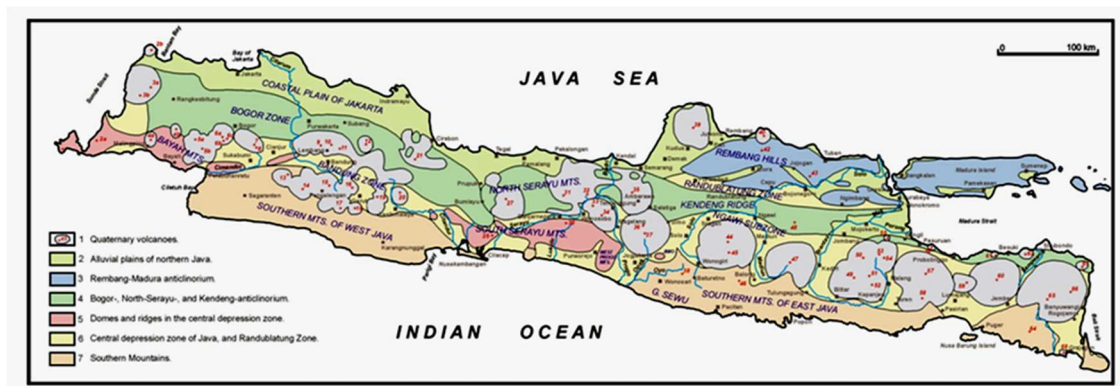
Gambar 4.3 Keruntuhan lereng pada STA 19+250 Jalan Tol Semarang-Bawen, Jawa Tengah (Himawan, 2013)

Keruntuhan lereng terjadi pada kawasan lereng galian antara STA 19+000 hingga dengan STA 19+375 yaitu pada seksi STA 19+250 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Keruntuhan terjadi karena kerja galian yang dilakukan begitu dalam hingga 60 m dan mendedahkan lapisan clay shale yang tergal di bagian dasar galian. Maka ini menyumbang kepada terjadinya keruntuhan pada lereng tersebut (Himawan, 2013).

4.2.2 Penelitian Geologi

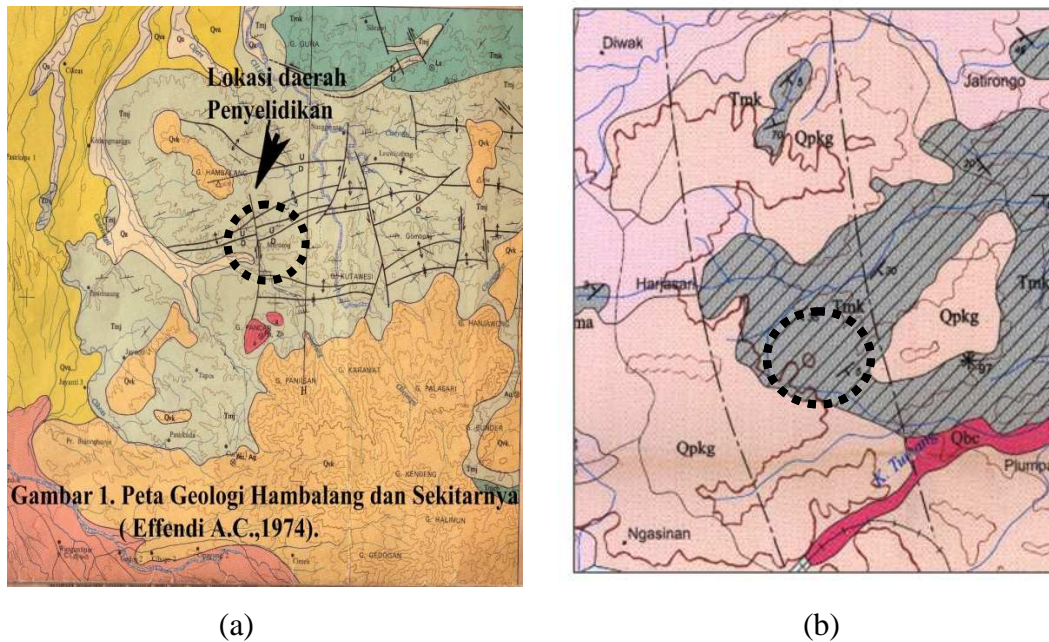
Penelitian geologi dilakukan pada lokasi Hambalang Jawa Barat dan Semarang-Bawen Jawa Tengah. Penelitian geologi kawasan ini dan sekitarnya adalah termasuk pada lembar Bogor yang berskala 1:100,000 daripada lembar geologi Indonesia (Effendi, 1974). Daerah Hambalang terletak di hujung timur lembar Bogor. Batuan yang tertua di sekitar Gunung Hambalang adalah formasi Jatiluhur yang terdiri atas *Marl* dan serpihan lempung, dan lapisan-lapisan tipis batu pasir Kuarza. Di lokasi penelitian, formasi batuan ini yang berpa lempung dan serpihan kecoklatan dan kelabu terbuka. Pada bagian atas formasi Jatiluhur terdapat secara tidak jangkelevasi dengan breksia dan

lava dari Gunung Kencana dan Gunung Limo. Pada kelompok batuan ini terdapat bongkah batuan andesit tuf dan andesit breksia. Kelompok batuan terdapat dari puncak Gunung Hambalang (630 m) menyebar ke arah belakang pergunungan ke barat laut. Kelompok batuan yang terawal adalah mendapan permukaan yang terdapat pada lembah-lembah atau sekitar sungai Cijere, Cicarigil dan Cileungsi. Pada kawasan Gunung Hambalang dan sekitarnya terdapat sesar dan struktur *anticline*. Sesar ini telah mengakibatkan terjadi gelongsoran yang merosakkan jalan dan bangunan perumahan yang terletak di sebelah jangkatan Gunung Hambalang. Peta geologi kawasan Hambalang dan sekitarnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 (a).



Gambar 4.4 Keadaan *Physiographic* Regional Pulau Jawa dan Madura (Van Bemmelen, 1970)

Pada Gambar 4.5 (b) formasi Keligetas dan Kerek mendominasi jalan tol Semarang ke Solo. Formasi Kaligetas terdiri daripada breksia volcano, aliran lava, tuf, batu pasir tuf dan batu lempung. Aliran dan lahar breksia dengan horizontalpan tuf lava halus hingga kasar. Di sebagian tempat, bawahnya terdapat batu lempung yang mengandung moluska dan tuf batu pasir. Batuan gunung berapi yang terpelapukan berwarna coklat kemerahan dan sering membentuk bongkah-bongkah besar. Rentang ketebalannya adalah antara 50 m hingga 200 m (Thanden *et al.*, 1996).



Gambar 4.5 Peta geologi Hambalang, Jawa Barat dan sekitarnya (a), serta peta geologi Semarang-Bawen Jawa Tengah (b) (Effendi A, 1974; Thanden *et al.*, 1996)

Formasi Kerek terdiri daripada lapisan-lapisan batuan lempung, napal, tuf batuan, konglomerat, breksia volcano dan batu kapur. Formasi ini juga terdiri dari batuan lempung berwarna kelabu muda dan kelabu tua, kapur, sebagian berhorizontalpan dengan batu lanau atau batu pasir. Setengah tempat mengandung fosil foram, moluska dan koloni batu karang. Lapisan tipis konglomerat terdapat dalam batuan lempung di Kripik dan di batu pasir. Batu kapur yang ditemui pada umumnya berlapis, berkristal dan sedikit berpasir yang memiliki ketebalan jumlah lebih dari 400 meter. Umur kelompok batuan ini adalah seusia dengan Miosen Tengah (Thanden *et al.*, 1996).

4.3 Uji Awal di Laboratorium

Uji awalan di laboratorium dari sampel tidak terganggu dan terganggu meliputi uji sifat-sifat indeks, fisik dan mekanik menggunakan uji triaksial. Uji tersebut dilakukan di laboratorium mekanik tanah seperti pada Gambar 4.6. Uji mineralogi dengan *X-Ray Diffraction* dan SEM clay shale untuk mengetahui jenis mineral, komposisi horizontalnya serta gambar mikrolingkupik dilakukan di

laboratorium mineralogi. Jenis uji awal di laboratorium yang dilakukan pada clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4.6 Uji di laboratorium mekanik tanah Geoinves di Jakarta (Geoinves, 2014)

Tabel 4.1 : Jenis uji awal di laboratorium clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang

Jenis Uji		Semarang-Bawen	Hambalang
Sifat indeks			
	Berai isi (<i>bulk density</i>)	✓	✓
	Kadar air asli (<i>natural water content</i>)	✓	✓
	Graviti tentu (<i>specific gravity</i>)	✓	✓
	Unit berat kering (<i>dry density</i>)	✓	✓
	Unit berat jenuh (<i>saturated density</i>)	✓	✓
	Angka pori (<i>void ratio</i>)	✓	✓
	Batas Atterberg	✓	✓
	Batas cecair (<i>liquid limit</i>)	✓	✓
	Batas plastik (<i>plastic limit</i>)	✓	✓
	Indeks keplastikan (<i>plasticity index</i>)	✓	✓
Sifat fisik			
	Distribusi ukuran butiran (<i>soil distribution</i>)		
	Pasir	✓	✓
	Lanau	✓	✓
	Lempung	✓	✓
Sifat mekanik			
	Kekuatan Geser	✓	✓
	Kohesi jumlah dan efektif	✓	✓
	Sudut geser dalam jumlah dan efektif	✓	✓

Keterangan : ✓, diuji

	Kohesi tak tersalir sisa tanpa pelepasan tegangan (jumlah)	✓	✓
	Kohesi tak tersalir sisa tanpa pelepasan tegangan (efektif)	✓	✓
	Sudut geser dalam sisa tanpa pelepasan tegangan (jumlah)	✓	✓
	Sudut geser dalam sisa dengan pelepasan tegangan (efektif)	✓	✓
	Analisis Mineralogi (<i>X-Ray Defraction</i>)	✓	✓
	Pngimbasan Mikrolingkup Elektron (S.E.M)	✓	✓

4.3.1 Sifat-sifat Indeks

Sifat-sifat indeks clay shale semasa penelitian sampel tidak terganggu sangat diperlukan untuk mengetahui sifat-sifat indeks awal sebelum dilakukan proses pelapukan kepada clay shale tersebut. Uji sifat indeks clay shale yang utama dicari di laboratorium antara lain adalah berai isi (γ), kadar air (w), serta graviti tentu (G_s). Uji sifat indeks lainnya yaitu batas *Atterberg*, seperti batas cecair (LL), batas plastik (PL) dan indeks plastik (PI). Parameter sifat indeks lainnya, adalah unit berat kering (γ_d), unit berat jenuh (γ_{sat}), angka pori (e) ditentukan dengan menggunakan parameter utama yang telah diperoleh seperti di atas.

Hubungan antara parameter sifat-sifat indeks dapat dilihat ada persamaan 4.1, 4.2, dan 4.3 seperti berikut:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{(1 + w)} \quad (4.1)$$

$$e = \left(\frac{(1 + w) G_s \cdot \gamma_w}{\gamma} \right) - 1 \quad (4.2)$$

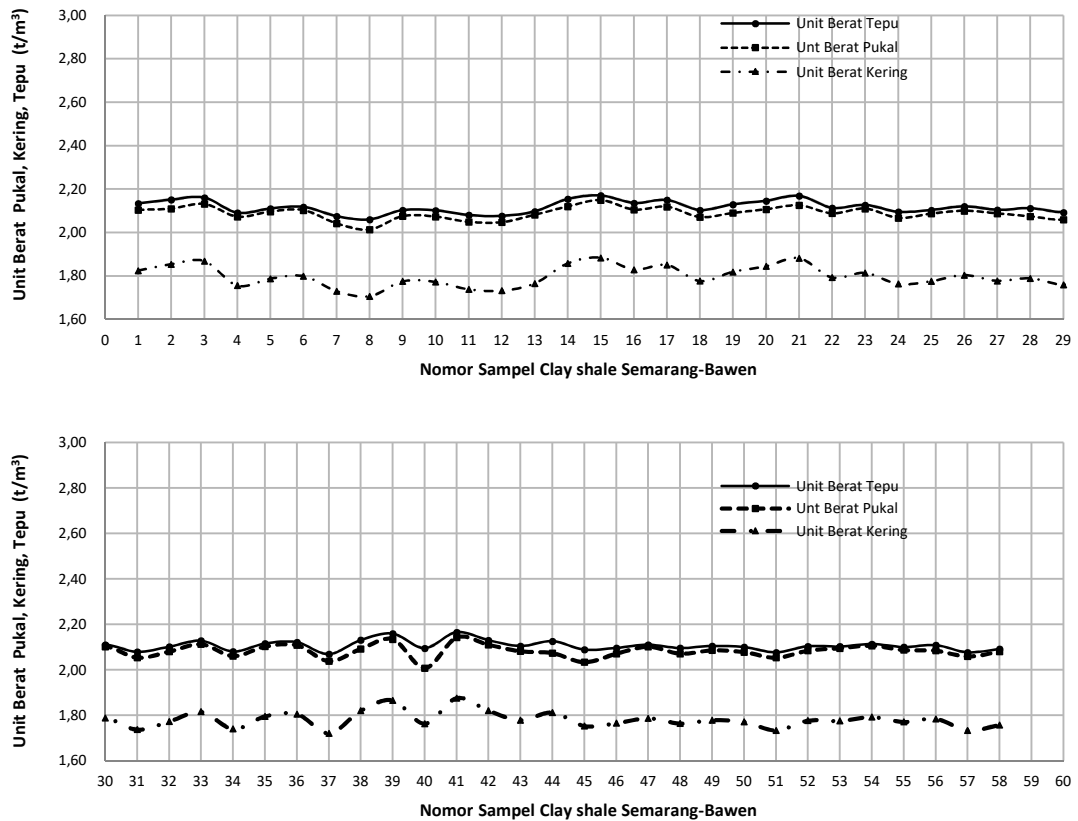
$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \quad (4.3)$$

Hasil berai isi (γ) clay shale Semarang-Bawen dari 58 sampel adalah antara 2.06 t/m^3 hingga 2.15 t/m^3 dengan berai isi rata-rata adalah 2.09 t/m^3 . Kadar air asal (w_n) pula antara 13% hingga 18.8% dengan kadar air adalah 16.61% dengan ratio lombang rata-rata (e) sebesar 0.48. Hasil berai isi (γ) clay shale Hambalang dari 66 adalah sampel berkisar antara 2.34 t/m^3 hingga 2.50 t/m^3 dengan berai isi rata-rata

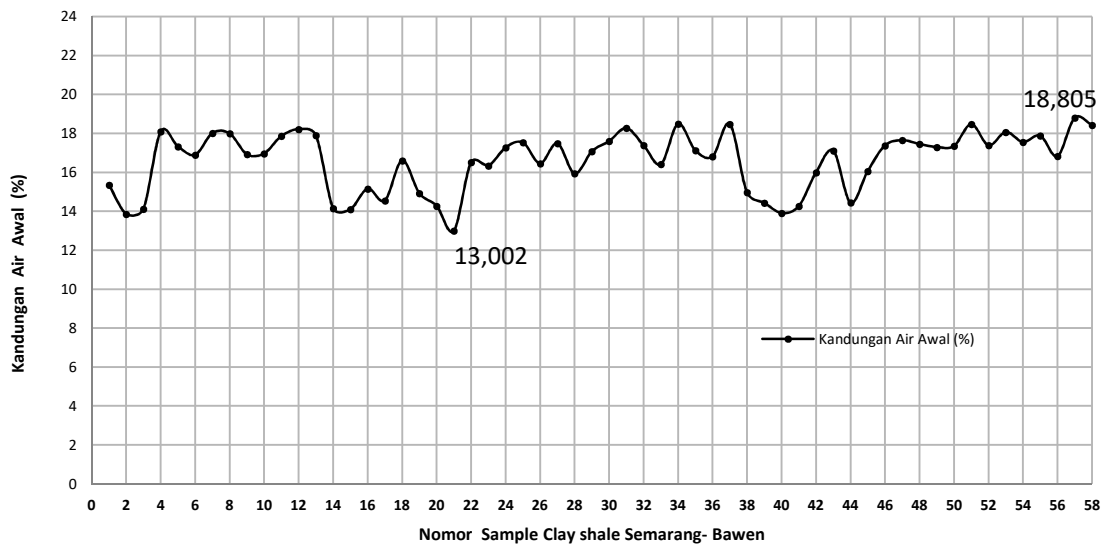
sebesar 2.43 t/m^3 . Kadar air asal (w_n) pula berkisar antara 3.3% hingga 5.9% dengan kadar air sebesar 4.7% dengan ratio lombang rata-rata (e) adalah 0.183.

Hasil berai isi rata-rata (γ) clay shale Hambalang (formasi Jatiluhur) lebih besar dibandingkan berai isi rata-rata (γ) clay shale Semarang-Bawen (formasi Kerek). Ini karena perbedaan lokasi yang cukup antara jauh satu sama lain, sehingga sejarah dan masa terbentuknya dua formasi geologi yang berbeda. Perbedaan sifat indeks kedua clay shale ini adalah serupa dengan perbedaan sifat fisik serta mineralogi kadarnya. Hasil berat isi, unit berat kering dan unit berat jenuh untuk clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang pada awal pembuatan sampel dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.9. Manakala hasil kadar air clay shale Semarang-Bawen sebanyak 58 sampel dan clay shale Hambalang sebanyak 60 sampel dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.10. Seterusnya, Gambar 4.11 menunjukkan hasil sampel tak terganggu clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang di dalam ruang pengeringan.

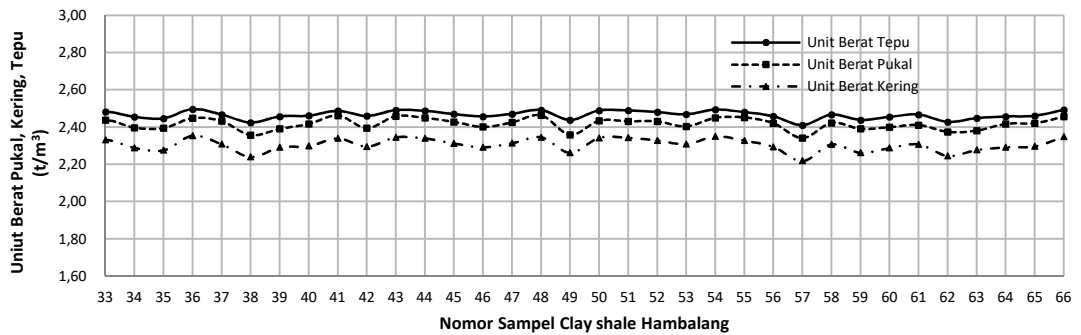
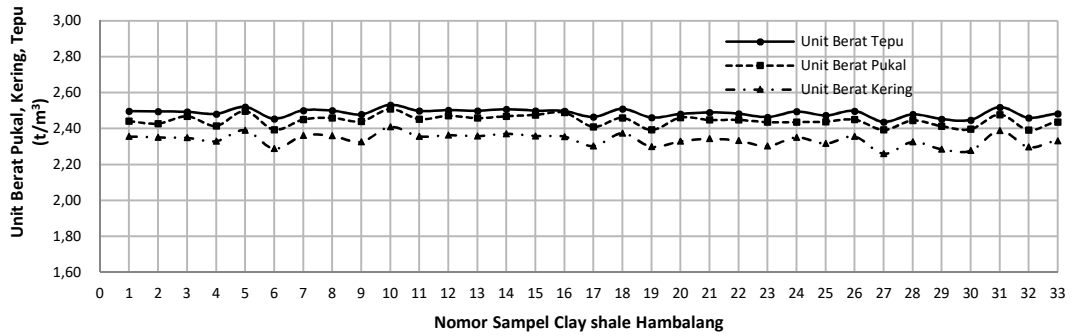
Daripada gambar-gambar yang tersebut di atas, berai isi yang berasal dari clay shale Pierre yang diperoleh dari tiga lokasi sampel yang berbeda nilainya berrentang antara 2.30 t/m^3 hingga 2.39 t/m^3 dengan kadar air berrentang di antara 6% hingga 8.4% (Bless dan Ahren, 1977). Uji graviti tentu (G_s) pada clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang dilakukan masing-masing sebanyak tiga kali. Setiap uji dilakukan dengan tiga sampel botol piknometer. Hasil uji graviti tentu dapat lihat pada Tabel 4.2. Hasil uji batas Atterberg berupa batas cecair (LL), batas plastik (PL) dan indeks keplastikan (PI) dari kedua jenis clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang menghasilkan nilai yang berbeda. Tabel 4.3 menunjukkan hasil uji batas Atterberg yang diperoleh.



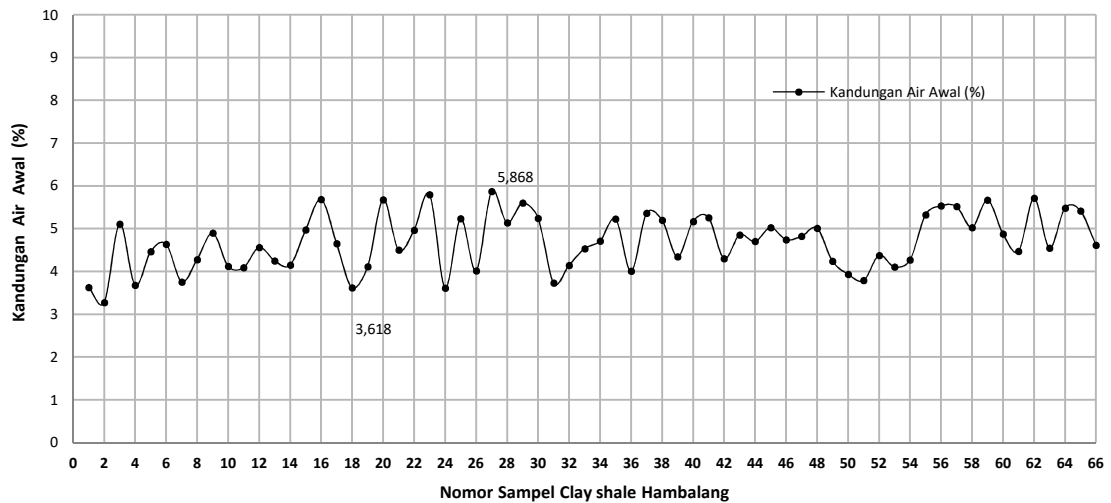
Gambar 4.7 Unit berat jenuh (γ_{sat}), berai isi (γ) dan unit berat kering (γ_d) clay shale Semarang-Bawen semasa awal penyediaan sejumlah 58 sampel.



Gambar 4.8 Kadar air awal semasa awal pembuatan sampel clay shale Semarang-Bawen berjumlah 58 sampel.



Gambar 4.9 Unit berat jenuh (γ_{sat}), berai isi (γ) dan unit berat kering (γ_d) clay shale Hambalang semasa terbitan asal sejumlah 66 sampel



Gambar 4.10 Kadar air asal semasa terbitan asal sampel clay shale Hambalang pada awal pembuatan 66 sampel

Tabel 4.2 : Hasil uji graviti tentu clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang

Semarang-1	Sampel 1				Hambalang-1	Sampel 1			
No, botol	7	11	13	Rata2	No, botol	6	7	1	Rata2
Berat Botol	31.55	26.22	30.34		Berat Botol	31.38	30.32	33.71	
Berat Botol + Air	82.22	77.02	80.97		Berat Botol + Air	82.06	83.62	83.31	
Berat Botol + Tanah	36.55	31.22	35.34		Berat Botol + Tanah	36.38	35.32	38.71	
Berat Botol + Tanah + Air	85.16	79.96	83.94		Berat Botol + Tanah + Air	85.1	86.65	86.31	
Gs-1	2.65	2.63	2.69	2.65	Gs-1	2.79	2.78	2.74	2.77
Semarang-2	Sampel 2				Hambalang-2	Sampel 2			
No, botol	1	2	7	Rata2	No, botol	10	2	15	Rata2
Berat Botol	35.7	30	29.49		Berat Botol	26.23	29.99	30.36	
Berat Botol + Air	87.75	80.58	79.59		Berat Botol + Air	77.03	80.57	81	
Berat Botol + Tanah	40.7	35	34.49		Berat Botol + Tanah	31.23	34.99	35.36	
Berat Botol + Tanah + Air	90.72	83.5	82.55		Berat Botol + Tanah + Air	80.06	83.6	84.03	
Gs-2	2.70	2.61	2.67	2.66	Gs-2	2.76	2.77	2.77	2.77
Semarang-3	Sampel 3				Hambalang-3	Sampel 3			
No, botol	1	7	6	Rata2	No, botol	7	11	13	Rata2
Berat Botol	33.71	30.33	31.38		Berat Botol	29.5	31.55	35.73	
Berat Botol + Air	83.32	83.67	82.07		Berat Botol + Air	79.6	82.24	87.34	
Berat Botol + Tanah	38.71	35.33	36.38		Berat Botol + Tanah	34.5	36.55	40.73	
Berat Botol + Tanah + Air	86.25	86.55	85.02		Berat Botol + Tanah + Air	82.7	85.27	90.31	
Gs-3	2.64	2.57	2.66	2.62	Gs-3	2.88	2.78	2.70	2.79
Graviti Tentu Gs Semarang-Bawen (2.62-2.66)				2.64	Gaviti Tentu Gs Hambalang (2.77-2.79)				2.78

Hasil uji batas-batas Atterberg berupa batas cecair (LL), batas plastik (PL) dan indeks keplastikan (PI) dari kedua jenis clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang menghasilkan nilai yang berbeda. Hasil uji batas Atterberg diperoleh pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 : Hasil uji batas Atterberg clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang

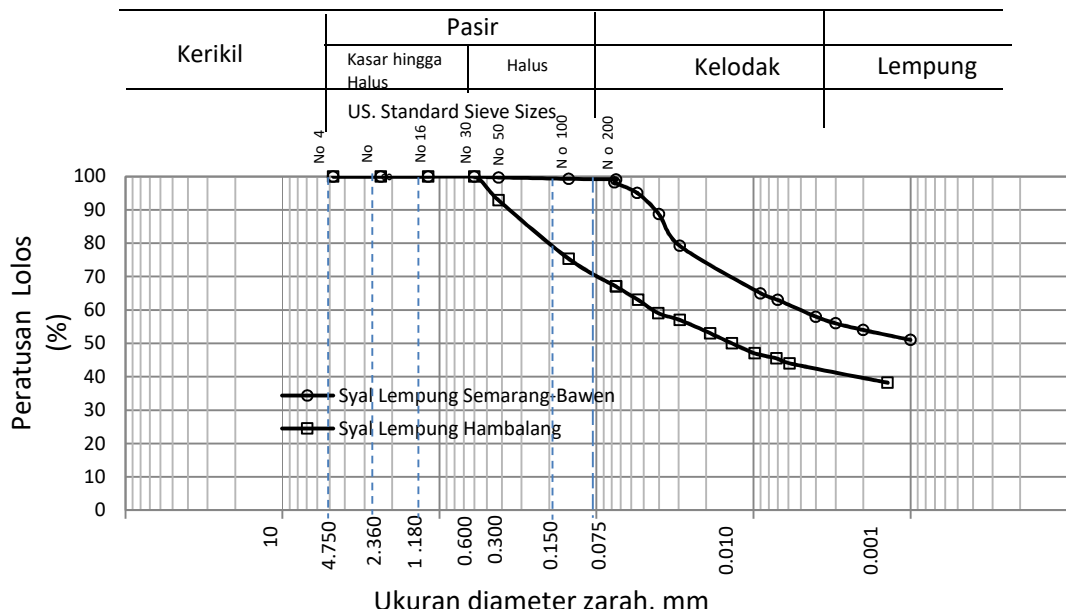
Bil.	Lokasi Clay shale	Batas cecair (LL)	Batas plastik (PL)	Indeks keplastikan (PI)
1	Semarang-Bawen	59.12	29.89	29.23
2	Hambalang	25.12	14.12	11.00



Gambar 4.11 Hasil sampel tak terganggu clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang di dalam ruang pengeringan

4.3.2 Sifat Fisik

Dari uji sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang yang dilakukan dengan uji analisis ayakan dan hidrometer, diperoleh bahwa analisis kuantitatifnya berbeda. Kadar pasir pada clay shale Hambalang adalah 33% lebih besar dari kadar pasir clay shale Semarang-Bawen sebanyak 0.92%. Manakala kadar lanau dan lempung dari clay shale Semarang-Bawen lebih besar bila berbanding dengan clay shale Hambalang. Dari kedua clay shale ini, clay shale Semarang-Bawen didominasi oleh butiran halus sebanyak 99.1%, manakala clay shale Hambalang 67%. Oleh karena komposisi horizontal dan sifat fisik kedua clay shale ini berbeda maka sifat dan perilaku juga adalah berbeda apabila clay shale terpelapukan. Hasil uji sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang dapat dilihat pada Gambar 4.12, manakala pada Tabel 4.4 terdapat ringkasan hasil uji sifat indeks dan sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang.



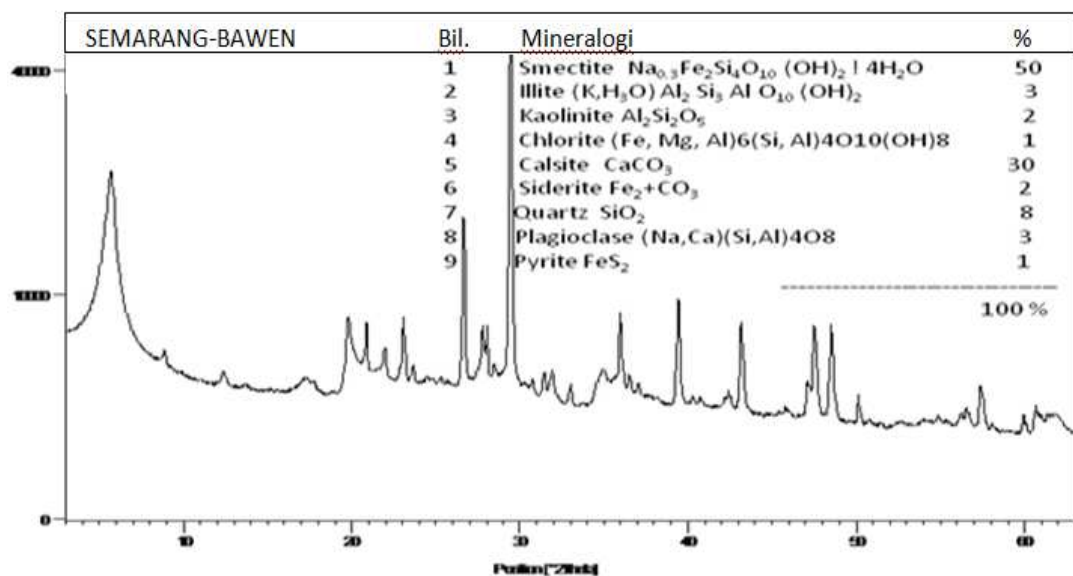
Gambar 4.12 Distribusi ukuran butiran clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang

Tabel 4.4 : Hasil uji sifat indeks dan sifat fisik clay shale Semarang- Bawen dan Hambalang

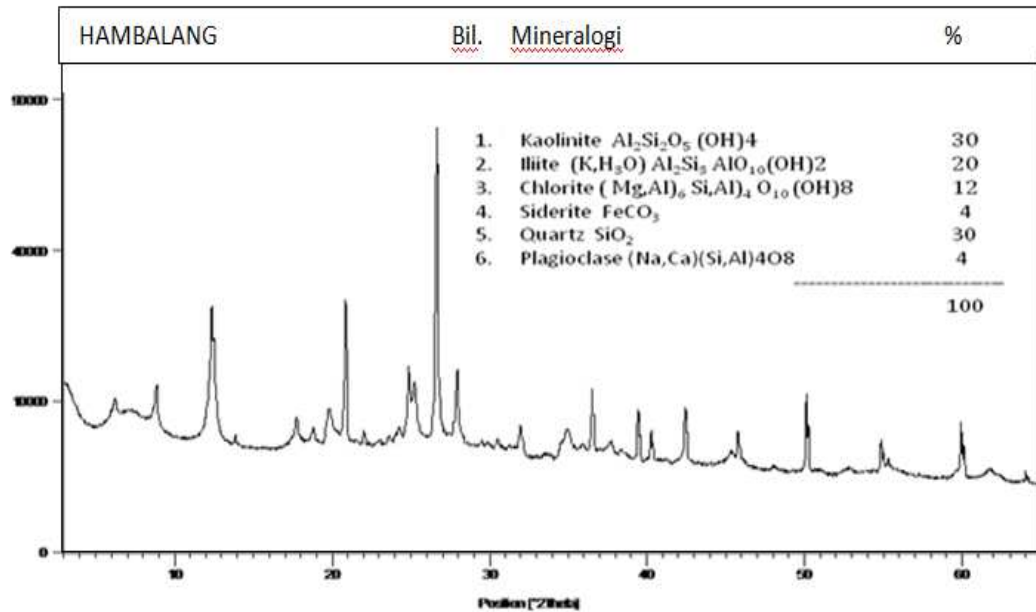
Bil.	Parameter	Simbol	Semarang-Bawen	Hambalang	Unit
			Nilai	Nilai	
1	Berai isi (<i>unit weight</i>)	γ	20.3 ~ 21.6	23.4 ~ 24.7	kN/m ³
2	Kadar air mula-mula (<i>natural water content</i>)	w_n	15.3 ~ 18.5	3.50 ~ 5.11	%
3	Graviti tentu (<i>specific gravity</i>)	G_s	2.65 ~ 2.68	2.70 ~ 2.79	
4	Unit berat kering (<i>dry unit weight</i>)	γ_d	17.6 ~ 18.6	22.1 ~ 23.7	kN/m ³
5	Unit berat jenuh (<i>saturated unit weight</i>)	γ_{sat}	21.01 ~ 21.72	24.87	kN/m ³
6	Angka pori (<i>void ratio</i>)	e	0.465 ~ 0.517	0.204	
7	Batas Atterberg				
	Batas cecair (<i>liquid limit</i>)	LL	59.12	25.12	%
	Batas plastik (<i>plastic limit</i>)	PL	29.89	14.12	%
	Indeks keplastikan (<i>plasticity index</i>)	PI	29.23	11	%
8	Taguran ukuran butiran (<i>soil distribution</i>)				
	Pasir		0.92	32.98	%
	Lantau		45.08	27.02	%
	Lempung		54	40.00	%

4.3.3 Mineralogi dan Penginderaan Mikroskopik Electron (SEM)

Untuk mengetahui keadaan yang lebih terperinci dari clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang, maka uji mineralogi dengan *X-Ray Diffraction* serta pengimbasan mikrosolingskup elektron (SEM) dilakukan. Uji mineralogi dari kedua sampel clay shale menunjukkan kualitas serta kuantitas yang berbeda. Di dalam clay shale Semarang-Bawen mineral lempung yang utama adalah Smektit sejumlah 50%, sedangkan clay shale Hambalang mineral utama adalah 30% Kaolinit dan 20% Klorit. Mineral karbonat yang utama pada clay shale Semarang-Bawen adalah Kalsit sebesar 30%, sedangkan pada clay shale Hambalang adalah Siderit hanyalah sebanyak 6%. Hasil uji XRD kedua clay shale dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, serta Tabel 4.6 yang menyatakan kadar mineral kedua-dua clay shale.



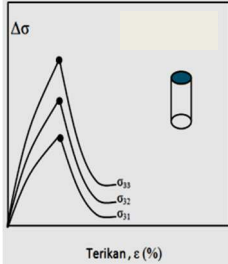
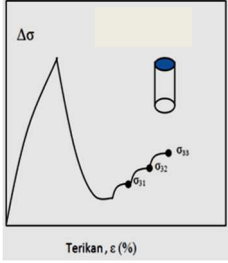
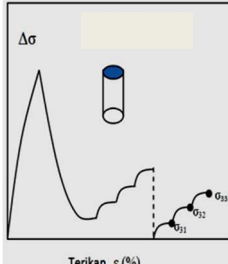
Gambar 4.13 Hasil uji mineralogi clay shale Semarang-Bawen dengan XRD (LEMIGAS, 2015)

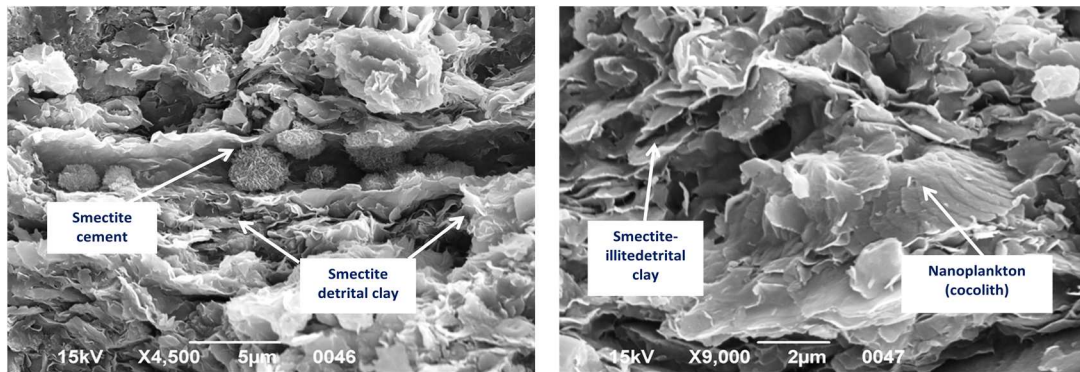


Gambar 4.14 Hasil uji mineralogi clay shale Hambalang dengan XRD (LEMIGAS, 2015)

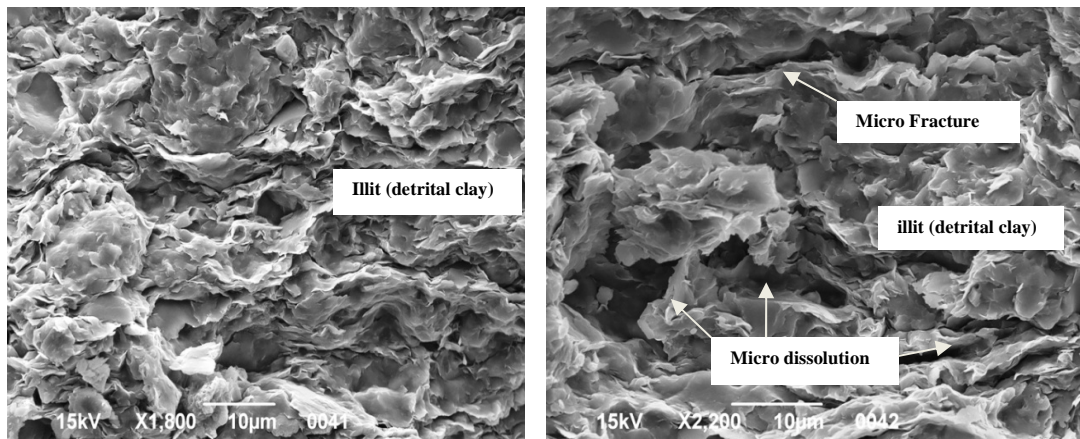
Uji pengimbasan elektron mikrolingkup (SEM) clay shale Semarang-Bawen yang diperbesar sehingga 4,500X dan 9,000X dapat dilihat pada Gambar 4.15. Bentuk mineral Smektit serta mineral Illit dapat dilihat pada skala pembesaran tersebut. Mineral Smektit yang merupakan serumpun dari mineral Montmorilonit adalah mineral lempung yang terkecil (Mitchell and Shoga, 2005). Semakin kecil mineral lempung, maka semakin besar permukaan tentu (*specific surface*) mineralnya, sehingga ia mampu menyerap lebih banyak hidrogen dan seterusnya kadar air menjadi semakin tinggi. Gambar 4.16 menunjukkan hasil uji pengimbasan mikrolingkup elektron (SEM) dari lempung Hambalang. Pada gambar tersebut dilihat bahwa dengan skala pembesaran yang lebih kecil yaitu pembesaran 1,800X dan 2,200X, mineral Illit jelas kelihatan.

Tabel 4.5 : Gambaran keseluruhan kekuatan geser clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang pada keadaan mula-mula

Tegangan-Regangan Dari Uji Triaksial	Keadaan Sampel	Kekuatan Geser Tegangan Puncak			
		c (kN/m ²)		φ (°)	
		Semarang - Bawen	Hambalang	Semarang - Bawen	Hambalang
	Tak Jenuh	700	450	59.4	78.4
	Jenuh (jumlah)	300	195	53.2	48.9
	Jenuh (Efektif)	300	190	53.2	50.5
		Kekuatan Geser Tegangan Sisa Tanpa Pelepasan Tegangan			
		c _{rp} (kN/m ²)		φ _{rp} (°)	
	Tak Jenuh	285	270	46	45
	Jenuh (jumlah)	171	100	27.4	31.2
	Jenuh (Efektif)	171.5	98	28.1	31.9
		Kekuatan Geser Tegangan Sisa Dengan Pelepasan Tegangan			
		c _{rf} (kN/m ²)		φ _{rf} (°)	
	Tak Jenuh	26.7	161	23.5	22
	Jenuh (jumlah)	28	17	25	15
	Jenuh (Efektif)	27.8	17	25.3	15



Gambar 4.15 Hasil scanning elektro magnetik (SEM) clay shale Semarang-Bawen dengan pembesaran 4,500X dan 9,000X. (LEMIGAS, 2015)



Gambar 4.16 Hasil scanning elektro magnetik (SEM) clay shale Hambalang dengan pembesaran 1,800X dan 2,200X (LEMIGAS, 2015)

Tabel 4.6 : Kadar mineral clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang (LEMIGAS, 2015)

LOKASI	MINERAL LEMPUNG (%)				JUMLAH (%)
	Smektit	Illit	Kaolinit	Klorit	
Semarang-Bawen	50	3	2	1	56
Hambalang	-	12	30	20	62
	MINERAL KARBONAT (%)				JUMLAH (%)
	Kalsit	Dolomit	Siderit	-	
Semarang-Bawen	30	-	2	-	32
Hambalang	-	-	4	-	4
	MINERAL LAIN-LAIN (%)				JUMLAH (%)
	Kuarza	K-Feldspar	Plagioklas	Pirit	
Semarang-Bawen	8	-	3	1	12
Hambalang	30	-	4	-	34

BAB 5

PENGARUH PELAPUKAN TERHADAP SIFAT FISIK CLAY SHALE

5.1. Pendahuluan

Perubahan sifat fisik akibat pelapukan yang telah diamati adalah perubahan distribusi ukuran butiran. Gambar perubahan distribusi ukuran butiran telah dibuat sepanjang masa proses pengeringan serta sepanjang masa proses pembasahan dan pengeringan selama 80 hari. Dari gambar ini dapat ditentukan ratio disintegritas (D_R) yang merupakan salah satu parameter untuk menentukan perubahan fisik clay shale akibat pelapukan (Shakoor dan Gautam, 2015).

5.2 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, seperti pada Gambar 5.1 .

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 ratio disintegritas terhadap masa pengeringan dan siklus pembasahan. Perincian pengaruh kuantitatif perendaman terhadap perubahan ratio disintegritas pada siklus pembasahan dan pengeringan diperoleh hingga masa 80 hari.

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

Akhir sekali dikaji juga bagaimana pengaruh perbedaan kadar mineral clay shale terhadap perubahan ratio disintegritas (D_R). Ini karena dua clay shale yang dikaji dalam penelitian ini diperoleh dari dua lokasi yang berbeda jauh (Jawa Barat dan Jawa Tengah) yang memiliki sejarah geologi yang berbeda. Ini juga menyebabkan terdapat perbedaan perilaku perubahan ratio disintegritas bagi dua clay shale tersebut.



Gambar 5.1 Perubahan sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang terhadap proses pengeringan dan siklus pembasahan pengeringan

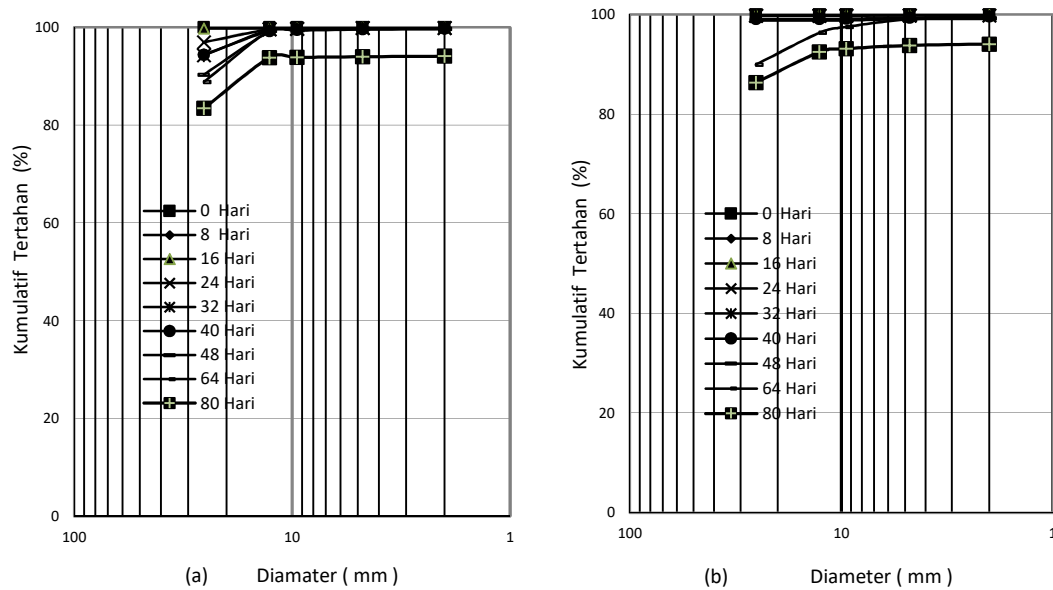
5.2.1 Perubahan Sifat Fisik Akibat Proses Masa Pengeringan

Perubahan sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang akibat proses pengeringan dalam masa 80 hari adalah seperti pada Gambar 5.2. Secara kuantitatifnya perubahan bentuk tersebut digambarkan dalam distribusi ukuran butiran seperti Gambar 5.3. Dari kedua distribusi ukuran butiran tersebut dilihat ada perbedaan perilaku pada kedua clay shale dalam pelapukan. Clay shale Semarang-Bawen di dalam Gambar 5.18(a) sudah mulai mengalami perubahan yang signifikan mulai dari hari ke-24 pengeringan. Sedangkan pada clay shale Hambalang hal serupa mulai terjadi pada masa 48 hari pengeringan.

Perbedaan perilaku dari empat sampel batuan lempung keras seperti batuan lanau, shale, batuan lempung dan batuan lumpur menunjukkan ketahananlasakan yang berbeda. Hal ini diperhati setelah dilakukan uji '*slake durability*' dibuat. Ketahananlasakan batuan lanau lebih tinggi bila dibandingkan dengan shale, batuan lempung dan batuan lumpur setelah siklus ke-3 uji '*slake durability*' (Erguler dan Shakoor, 2009).



Gambar 5.2 Perubahan butiran clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat proses pengeringan hingga 80 hari



Gambar 5.3 Perubahan distribusi ukuran butiran clay shale akibat proses pengeringan. (a) clay shale Semarang-Bawen (b) clay shale Hambalang

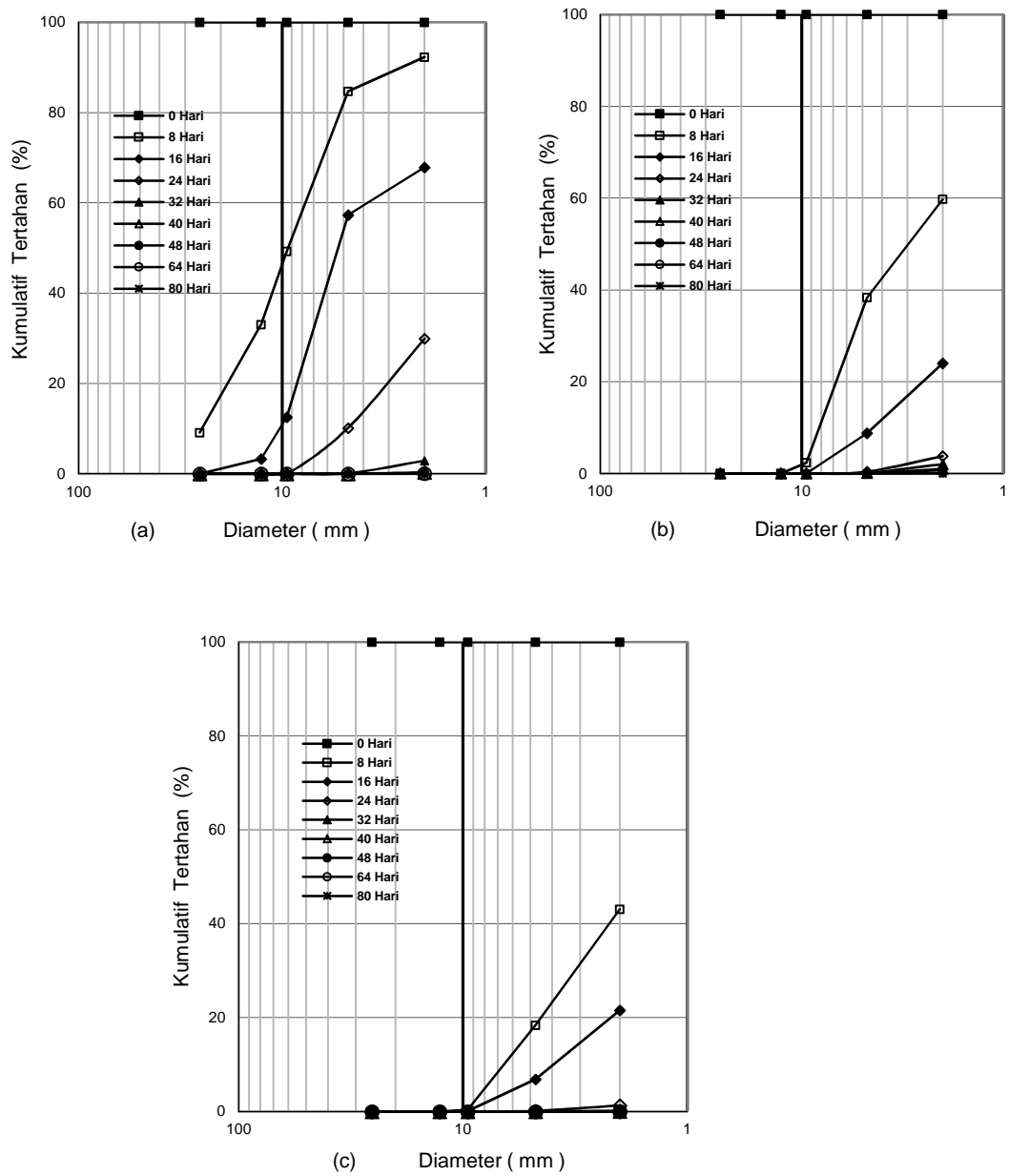
5.2.2 Perubahan Sifat Fisik Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan

Perubahan sifat fisik clay shale yang disebabkan oleh siklus pembasahan dan pengeringan sangat berbeda dengan yang diakibatkan oleh pengeringan. Clay shale lebih cepat terpelapukan jika terbuka kepada hidrosfera. Pelapukan lebih cepat terjadi bila kuantiti clay shale yang terbuka kepada air bertambah. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada clay shale Semarang-Bawen pada Gambar 5.19 semakin banyak jumlah pembasahan terjadi dalam setiap 8 hari maka pelapukan semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat daripada perubahan distribusi ukuran butiran, pembasahan sebanyak 3 kali dalam 8 hari mempercepat pelapukan bila dibandingkan dengan 2 kali pembasahan dalam 8 hari. Dan clay shale Semarang-Bawen yang dilakukan pembasahan 2 kali dalam 8 hari, akan lebih cepat terpelapukan bila dibandingkan dengan 1 kali pembasahan dalam 8 hari.

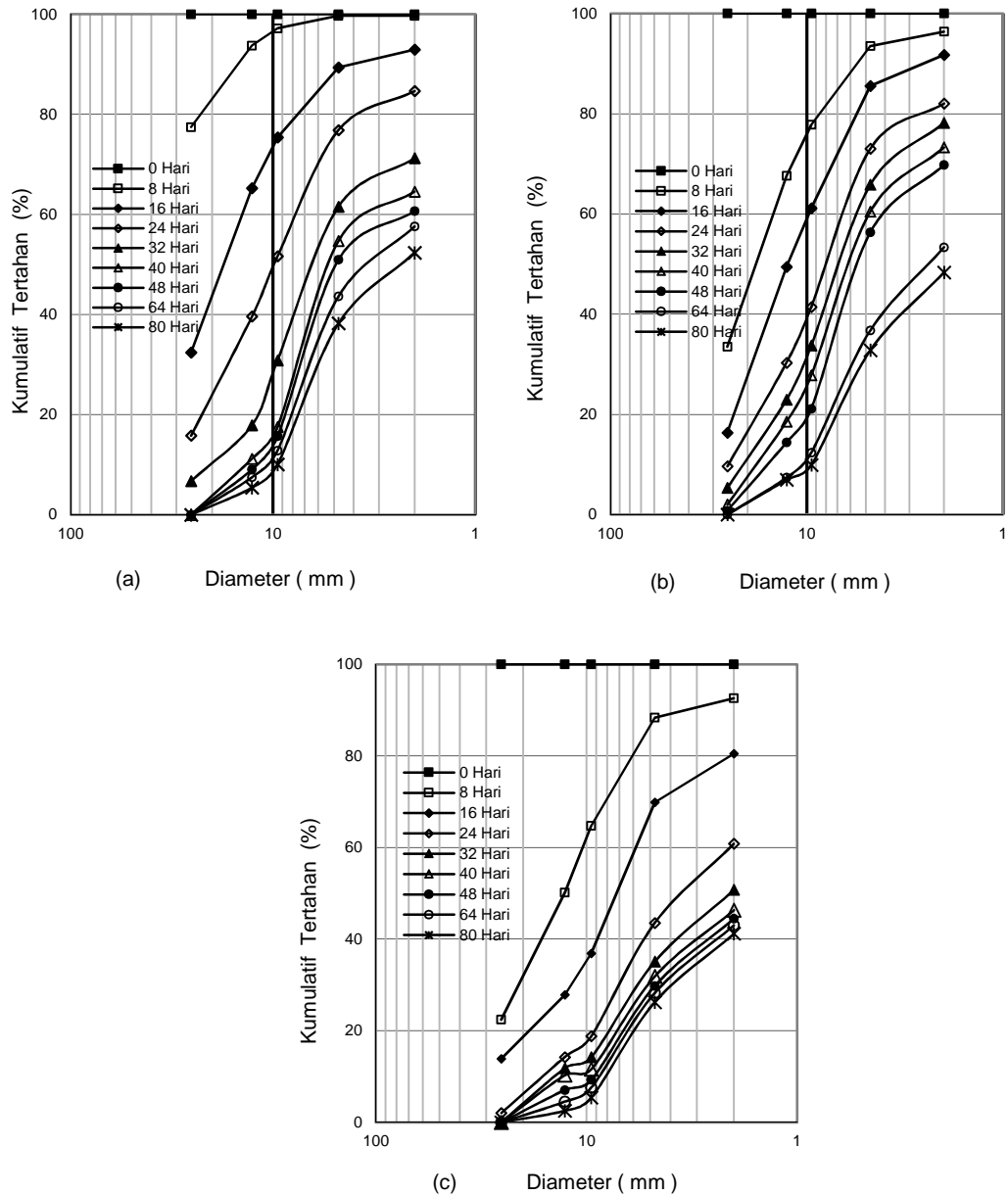
Pada Gambar 5.4 sifat fisik clay shale Semarang-Bawen yang dilakukan perendaman 1 kali dengan masa 5 menit dalam setiap 8 hari, dalam masa siklus pembasahan dan pengeringan hari ke-24 ukuran butiran 2 mm yang tertahan adalah

29.9%. Pada hari yang sama perendaman 2 kali dalam setiap 8 hari ukuran butiran 2 mm yang tertahan sebanyak 3.8%, dan pada perendaman 3 kali dalam setiap 8 hari butiran yang tertahan adalah 1.3%. Pada masa siklus pembasahan dan pengeringan lebih lama dari 24 hari dengan pembasahan 3 kali dalam setiap 8 hari menunjukkan ukuran butiran 2 mm yang terlahan lebih kecil daripada 3.8% (antara 0% hingga 3.8%).

Perilaku sifat fisik clay shale Hambalang berbeda secara kuantitatif di dalam perubahan distribusi ukuran butiran bila dibandingkan dengan clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan dan pengeringan. Pada Gambar 5.5 sifat fisik clay shale Hambalang yang dilakukan perendaman 1 kali dalam setiap 8 hari, dalam masa siklus pembasahan dan pengeringan hari ke-24 ukuran butiran 2 mm yang tertahan adalah 84.6%. Pada hari yang sama perendaman 2 kali dalam setiap 8 hari ukuran butiran 2 mm yang tertahan adalah 82%, dan pada perendaman 3 kali dalam setiap 8 hari, butiran yang tertahan adalah 60.8%. Pada masa siklus pembasahan dan pengeringan dari 24 hari dengan pembasahan 3 kali dalam setiap 8 hari menunjukkan ukuran butiran 2 mm yang terlahan lebih kecil daripada 60.8% (antara 41.2% hingga 60.8%). Gambar perubahan fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat siklus pembasahan dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.4 Perubahan distribusi distribusi ukuran butiran clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari, (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari



Gambar 5.5 Perubahan distribusi distribusi ukuran butiran clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari, (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari



Gambar 5.6 Perubahan bentuk fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat siklus pembasahana pengeringan dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari

Pada Gambar 5.21 adalah jelas perbedaan kecepatan pelapukan diantara clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang. Pada hari ke-8 terlihat bahwa clay shale Semarang-Bawen lebih banyak yang pelapukan dibandingkan clay shale Hambalang.

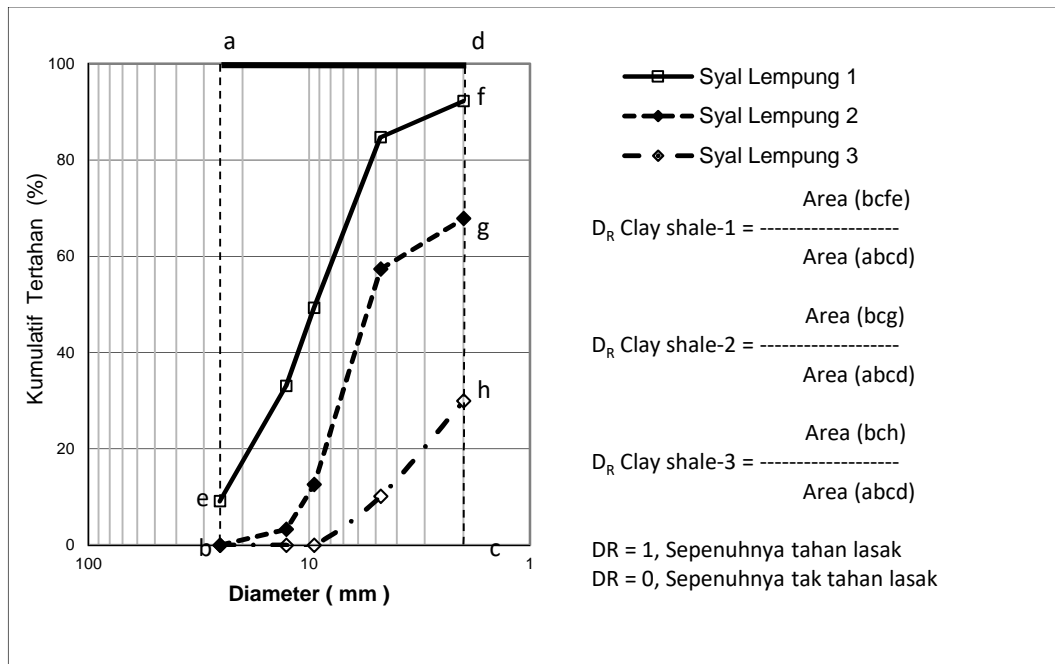
Perilaku ratio disintegritas batuan lempung keras di bawah keadaan iklim semula jadi telah disiasat dengan meletakkan 12 sampel yang mensimulasikan setiap satu daripada 20 batu di atas bumbung McGilvrey Hall, sebuah bangunan lima tingkat di Kent State University. Setiap sampel terdiri daripada 10-12 keping, setiap keping berat 40-60 g, dengan jumlah sampel seberat 450-550 g. Kualiti aluminium mengandungi sampel mempunyai skrin berlubang dilindungi untuk air ke longkang. Sampel didedahkan kepada keadaan iklim semula jadi untuk 1 tahun, dari bulan September 2009 hingga September 2010. Dalam tempoh pendedahan, suhu adalah antara 24.3°C (24.3°F) pada bulan Januari 2010 dan 23.0°C (73.4°F) pada bulan Julai 2010, dan hujan tahunan rata-rata adalah 101.5 cm (40 in). Januari dan Februari adalah bulan paling dingin tahun ini di timur laut Ohio, dan bulan Mei hingga Ogos adalah bulan yang paling panas. Kebanyakan salji di rantau ini terjadi pada bulan

Disember, Januari dan Februari. Selepas setiap bulan pendedahan kepada keadaan iklim semula jadi, satu sampel disimulasi setiap satu daripada empat jenis batuan lempung keras dibawa ke laboratorium, dikeringkan di dalam oven pada 50° C, dan distribusi ukuran butiran yang ditentukan. Gambar 5.7 adalah contoh perilaku disintegritas sampel batuan lempung selepas melalui pelbagai tempoh pendedahan kepada keadaan iklim semula jadi. Distribusi ukuran butiran telah digunakan untuk mengukur jumlah disintegritas setiap sampel dengan menentukan ratio disintegritas (D_R). Pemerhatian perilaku disintegritas telah dibuat dua kali seminggu, dan rekod gambar dikekalkan. Perilaku disintegritas empat kumpulan batuan lempung keras dikaji telah diperoleh (Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015).



Gambar 5.7 Disintegritas sampel batuan lempung, setelah pendedahan iklim mula-mula (Shakoor dan Gautam, 2015)

Gambar 5.8 menerangkan prosedur untuk menentukan D_R daripada distribusi ukuran butiran. Dengan cara seperti ini maka secara kuantitatif dapat diketahui pengaruh dari proses pelapukan, baik akibat pengeringan, ataupun akibat siklus pembasahan dan pengeringan. Gambar distribusi ukuran butiran antara kumulatif tertahan (%) dan diameter butiran (mm) dari setiap perubahan ukuran butiran akibat pelapukan.



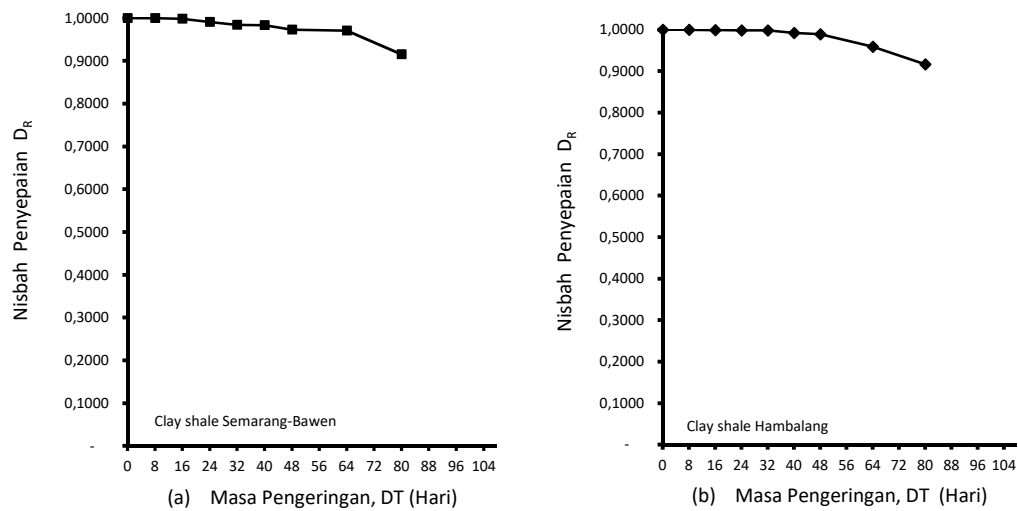
Gambar 5.8 Penentuan ratio disintegritas (D_R) akibat pelapukan dari uji distribusi ukuran butiran (Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015)

5.2.3 Perubahan Ratio Disintegritas (D_R) Akibat Proses Masa Pengeringan

Gambar dari uji clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang pada uji pengeringan dapat dilihat pada Gambar 5.2. Manakala hasil uji distribusi ukuran butiran hingga 80 hari pengeringan terdapat pada Gambar 5.3. Dari Gambar 5.3 serta dengan memakai metode seperti pada Gambar 5.8 pengaruh masa pengeringan 80 hari pengeringan hingga terhadap penurunan ratio disintegritas (D_R) dapat dihasilkan.

Hingga hari ke-80 masa pengeringan, ratio disintegritas clay shale Semarang-Bawen mencapai 0.9152. Sedangkan pada clay shale Hambalang ratio disintegritas sebanyak 0.9162. Akibat proses pengeringan hingga masa 80 hari, kedua-dua clay shale tersebut memiliki perilaku perubahan ketahanan lasakan dengan nilai ratio disintegritas yang tidak terlalu berbeda. Tanpa pengaruh terbuka dengan hidrosfir, clay shale masih memiliki ketahananlasakan yang cukup baik sehingga masih memiliki ratio disintegritas D_R yang menghampiri 1.00. Hasil pengaruh masa pengeringan

hingga 80 hari terhadap penurunan ratio disintegritas (D_R) dapat dilihat pada Gambar 5.9 .



Gambar 5.9 Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat proses masa pengeringan (a) clay shale Semarang-Bawen (b) clay shale Hambalang

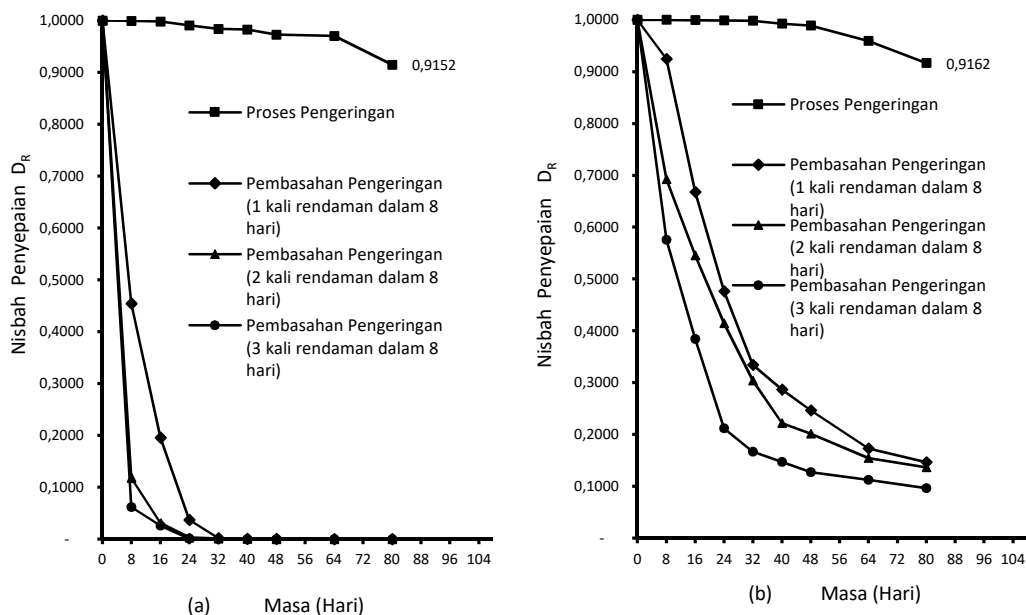
5.2.4 Perubahan Ratio Disintegritas (D_R) Akibat Siklus Pembasahan Pengeringan

Di dalam uji distribusi ukuran butiran clay shale akibat siklus pembasahan dan pengeringan selama masa 80 hari dilakukan perubahan jumlah rendaman dalam pada masa 8 hari. Perubahan jumlah rendaman tersebut adalah 1 kali rendaman pada masa 8 hari, 2 kali rendaman pada masa 8 hari dan 3 kali rendaman pada masa 8 hari. Pada setiap masa 8 hari dilakukan uji distribusi ukuran butiran. Dari uji ini diperoleh hubungan antara kumulatif tertahan (%) dan diameter (mm), untuk ratio disintegritas D_R yang dihitung adalah seperti pada Gambar 5.8. Hitungan ratio disintegritas D_R ini dilakukan pada setiap masa pengeringan dan masa siklus pembasahan pengeringan.

Dari hitungan ratio disintegritas D_R seperti dilihat pada Gambar 5.10 pengaruh dari kekerapan rendaman dalam masa 8 hari sangat mempengaruhi perubahan ratio disintegritas (D_R). Semakin kerap jumlah rendaman dalam masa 8

hari, maka semakin besar penurunan ratio disintegritas yang terjadi. Hal ini terjadi pada clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang.

Pada Gambar 5.10 juga dilihat bahwa dua proses pelapukan yaitu proses pengeringan dan siklus pembasahan pengeringan memberikan akibat yang sangat berbeda terhadap ratio disintegritas D_R . Pada masa pengeringan 80 hari, ratio disintegritas untuk clay shale Semarang-Bawen sebanyak $D_R=0.9152$. dan untuk clay shale Hambalang $D_R=0.9162$. Sedangkan pada masa yang sama akibat rendaman 1 kali dalam 8 hari, ratio disintegritas clay shale Semarang-Bawen $D_R = 0.000$ (*completely non durable*) dan clay shale Hambalang $D_R = 0.1467$. Bahkan pada clay shale Semarang-Bawen ratio disintegritas $D_R = 0.000$ telah terjadi pada masa 32 hari dengan 3 kali rendaman pada masa 8 hari.



Gambar 5.10 Perbandingan perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat masa pengeringan dan masa siklus pembasahan pengeringan (a) clay shale Semarang-Bawen (b) clay shale Hambalang

Dari penelitian terdahulu bagi kelompok batuan lempung keras, seperti batuan lempung, batuan lumpur, batuan lanau dan shale, uji pembasahan dan pengeringan secara semula jadi selama 12 bulan telah dilakukan. Jumlah sampel yang diuji sebanyak 20 sampel dengan 5 sampel pada setiap jenis batuan. Setiap bulan

dilakukan uji distribusi ukuran butiran yang jangkajutnya dihitung ratio disintegritas (D_R) (Shakoor dan Gautam, 2015). Perubahan ratio disintegritas (D_R) hingga 12 bulan adalah seperti pada Tabel 5.1. Dari tabel tersebut didapati bahwa semakin lama proses pelapukan dilakukan maka semakin kecil nilai ratio disintegritas. Secara kuantitatif ratio disintegritas (D_R) sangat tergantung dari jenis sampel batuan yang diuji.

Pada Tabel 5.2 disampaikan suatu sistem pengkelasan ketahananlasakan yang berdasarkan ratio disintegritas dan indeks ketahananlasakan pada siklus ke-2. Sistem pengkelasan ketahananlasakan dibuat menjadi 6 kelas, dari sangat rendah $D_R = 0.00$ hingga 0.19 hingga sangat tinggi yaitu 0.96 hingga 1.00.

Dari pengkelasan ketahananlasakan yang berdasarkan metode ISRM 2007, maka clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang termasuk dalam 'kelas tinggi' dengan D_R antara 0.9165 hingga 0.9162 pada masa 80 hari dengan proses pengeringan. Pada clay shale Semarang-Bawen dengan 1 kali pembasahan dalam 8 hari, pengkelasan ketahananlasakan akan turun menjadi 'kelas sangat rendah' akibat siklus pembasahan-pengeringan setelah hari ke-16. Akibat 2 kali dan 3 kali pembasahan dalam 8 hari kelas sangat rendah terjadi setelah hari ke-8. Pada clay shale Hambalang 'kelas sangat rendah' terjadi mulai hari ke-64 masa siklus pembasahan-pengeringan dengan 1 kali dan 2 kali pembasahan dalam 8 hari. Sedangkan akibat 3 kali pembasahan dalam 8 hari, 'kelas sangat rendah' sudah terjadi pada hari ke-24.

Akibat proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan hingga hari ke-80, clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang mengalami penurunan pengkelasan ketahananlasakan. Perubahan ini lebih signifikan akibat siklus pembasahan pengeringan, di mana kuantiti pembasahan dalam 8 hari sangat mempengaruhi kecepatan pelapukan yang secara kuantitatifnya akan menyebabkan penurunan pengkelasan ketahananlasakan. Ringkasan perubahan pengkelasan ketahananlasakan clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang terhadap pelapukan akibat proses pengeringan dan pengeringan dan pembasahan dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

Tabel 5.1 : Nilai D_R dari batuan lempung keras yang terbuka semula jadi selama 12 bulan (Shakoor dan Gautam, 2015)

Sampel	Ratio Disintegritas (D_R) untuk bulan (M) 1 - 12											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
CST-1	0.312	0.172	0.116	0.085	0.074	0.060	0.061	0.050	0.045	0.038	0.042	0.042
CST-2	0.229	0.029	0.036	0.027	0.017	0.014	0.012	—	—	—	—	—
CST-3	0.850	0.851	0.889	0.600	0.323	0.155	0.154	0.095	0.049	0.072	0.072	0.022
CST-4	0.197	0.079	0.053	0.596	0.050	0.069	0.029	0.016	0.011	0.003	0.001	0.376
CST-5	0.079	0.064	0.019	0.005	0.007	0.020	0.010	0.004	0.003	0.000	—	—
MST-1	0.715	0.719	0.438	0.417	0.376	0.475	0.350	0.190	0.416	0.337	0.584	0.208
MST-2	0.095	0.018	0.004	0.003	0.004	0.001	0.003	0.001	—	—	—	—
MST-3	0.597	0.528	0.269	0.193	0.136	0.109	0.095	0.086	0.078	0.086	0.076	0.079
MST-4	0.941	0.721	0.759	0.648	0.468	0.381	0.694	0.363	0.518	0.381	0.380	0.416
MST-5	0.147	0.104	0.037	0.040	0.023	0.031	0.149	0.018	0.114	0.011	0.154	0.110
SLT-1	0.751	0.329	0.626	0.796	0.105	0.145	0.895	0.974	0.866	0.436	0.364	0.914
SLT-2	0.993	0.992	0.769	0.859	0.792	0.486	0.610	0.771	0.963	0.964	0.922	0.828
SLT-3	0.994	0.996	0.991	0.994	0.980	0.990	0.996	0.984	0.989	0.980	0.968	0.938
SLT-4	0.991	0.997	0.984	0.978	0.993	0.997	0.998	0.998	0.974	0.989	0.989	0.990
SLT-5	0.772	0.574	0.121	0.060	0.039	0.037	0.050	0.028	0.028	0.015	0.009	0.006
SHL-1	0.988	0.985	0.978	0.972	0.976	0.966	0.973	0.934	0.971	0.961	0.951	0.950
SHL-2	0.883	0.666	0.511	0.466	0.437	0.391	0.397	0.344	0.329	0.377	0.306	0.328
SHL-3	0.281	0.160	0.107	0.070	0.062	0.048	0.041	0.039	0.016	0.010	0.014	0.011
SHL-4	0.198	0.081	0.042	0.041	0.104	0.034	0.019	0.008	0.006	0.011	0.004	0.005
SHL-5	0.969	0.911	0.831	0.700	0.892	0.604	0.498	0.605	0.454	0.526	0.324	0.831

Tabel 5.2 : Sistem pengkelasan ketahananlasakan didasarkan atas ratio disintegritas, D_R (Erguler dan Shakoor, 2009; ISRM, 2007)

Pengkelasan Ketahananlasakan	Siklus ke-2 Indeks ketahananlasakan, I_{sd_2} (%)	Ratio Disintegritas D_R (%)
Sangat rendah	0 - 30	0.00 - 0.19
Rendah	30 - 60	0.20 - 0.49
Sedang	60 - 85	0.50 - 0.78
Sedang-Tinggi	85 - 95	0.79 - 0.91
Tinggi	98 - 98	0.92 - 0.95
Sangat tinggi	98 - 100	0.96 - 1.00

Tabel 5.3 : Perubahan pengkelasan ketahanlasakan clay shale Semarang-Bawen akibat pelapukan dengan proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan pada masa awal hingga 80 hari berdasarkan ISRM 2007

Masa (hari)	Pengeringan		Siklus Pembasahan dan Pengeringan					
	D _R	Pengkelasan Ketahanlasakan	1 x rendaman / 8 hari		2x rendaman / 8 hari		3 x rendaman / 8 hari	
			D _R	Pengkelasan Ketahanlasakan	D _R	Pengkelasan Ketahanlasakan	D _R	Pengkelasan Ketahanlasakan
0	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi
8	0.9997	Sangat Tinggi	0.4545	Rendah	0.1177	Sangat Rendah	0.0617	Sangat Rendah
16	0.9982	Sangat Tinggi	0.1956	Rendah	0.0308	Sangat Rendah	0.0258	Sangat Rendah
24	0.9910	Sangat Tinggi	0.0367	Sangat Rendah	0.0027	Sangat Rendah	0.0009	Sangat Rendah
32	0.9843	Sangat Tinggi	0.0017	Sangat Rendah	0.0013	Sangat Rendah	0.0000	Sangat Rendah
40	0.9830	Sangat Tinggi	0.0006	Sangat Rendah	0.0002	Sangat Rendah	0.0000	Sangat Rendah
48	0.9730	Sangat Tinggi	0.0004	Sangat Rendah	0.0001	Sangat Rendah	0.0000	Sangat Rendah
64	0.9707	Sangat Tinggi	0.0001	Sangat Rendah	0.0000	Sangat Rendah	0.0000	Sangat Rendah
80	0.9152	Tinggi	0.0000	Sangat Rendah	0.0000	Sangat Rendah	0.0000	Sangat Rendah

Catatan : rendaman dalam air dalam masa 5 menit

Tabel 5.4 : Perubahan pengkelasan ketahanlasakan clay shale Hambalang akibat pelapukan dengan proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan pada masa awal hingga 80 hari berdasarkan ISRM 2007

Masa (hari)	Pengeringan		Siklus Pembasahan dan Pengeringan					
	D _R	Pengkelasan Ketahanlasakan	1 x rendaman / 8 hari		2x rendaman / 8 hari		3 x rendaman / 8 hari	
			D _R	Pengkelasan Ketahanlasakan	D _R	Pengkelasan Ketahanlasakan	D _R	Pengkelasan Ketahanlasakan
0	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi
8	0.9998	Sangat Tinggi	0.9242	Tinggi	0.6922	Sedang	0.5757	Sedang
16	0.9990	Sangat Tinggi	0.6674	Sedang	0.5453	Sedang	0.3843	Rendah
24	0.9984	Sangat Tinggi	0.4762	Rendah	0.4144	Rendah	0.2117	Rendah
32	0.9980	Sangat Tinggi	0.3343	Rendah	0.3042	Rendah	0.1666	Sangat Rendah
40	0.9921	Sangat Tinggi	0.2869	Rendah	0.2219	Rendah	0.1471	Sangat Rendah
48	0.9890	Sangat Tinggi	0.2467	Rendah	0.2016	Rendah	0.1273	Sangat Rendah
64	0.9590	Tinggi	0.1732	Sangat Rendah	0.1547	Sangat Rendah	0.1123	Sangat Rendah
80	0.9162	Tinggi	0.1467	Sangat Rendah	0.1368	Sangat Rendah	0.0965	Sangat Rendah

Catatan : rendaman dalam air dalam masa 5 menit

5.2.5 Pengaruh Jenis Mineral Clay shale Terhadap Ratio Disintegritas (D_R)

Pada Gambar 5.25 terlihat terjadi perbedaan yang signifikan antara perubahan ratio disintegritas D_R dari clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang. Perbedaan ini terjadi pada masa siklus pembasahan pengeringan, di mana kuantitatif rendaman pada masa 8 hari mempengaruhi kecepatan penurunan ratio disintegritas. Ratio disintegritas D_R clay shale Semarang-Bawen lebih cepat berkurang dibandingkan clay shale Hambalang. Ini bermakna clay shale Semarang-Bawen lebih cepat terpelapukan dibandingkan dengan clay shale Hambalang dengan perubahan masa rendaman yang sama selama 8 hari.

Kadar utama mineralogi clay shale Semarang-Bawen adalah Smektit sebanyak 50% seperti telah diterangkan semula pada Tabel 4.6, sedangkan kadar utama mineralogi clay shale Hambalang adalah Kaolinit (30%) dan Illit (20%). Smektit adalah sama jenis dengan montmorilonit, yaitu jenis mineral lempung yang paling terkecil ukurannya, dibandingkan Kaolinit dan Illit (Mitchell dan Soga, 2005).

Disebabkan ukuran mineral Smektit adalah yang paling terkecil di dalam mineral lempung, maka suatu isi sampel yang sama memiliki permukaan tentu yang paling luas sehingga dapat menarik ion hidrogen lebih banyak (Mitchell dan Soga, 2005). Akibatnya pengembangan lempung yang banyak kadar mineral Smektit memiliki pengembangan dan sekaligus penyusutan yang besar juga. Penyusutan akibat pengeringan akan mengakibatkan banyak ion hidrogen keluar dari ruangan lompong, yang menyebabkan pecahnya ukuran lempung menjadi ukuran yang lebih kecil. Hal inilah yang menyebabkan ratio disintegritas (D_R) clay shale yang memiliki kadar Smektit lebih cepat berkurang ratio disintegritasnya akibat siklus pembasahan dan pengeringan.

Mineral Kaolinit dan Illit memiliki ukuran yang lebih besar bila dibandingkan dengan mineral Smektit. Oleh karenanya perilaku penyusutan dan pengembangan clay shale seperti clay shale Hambalang lebih kecil bila dibandingkan dengan clay shale Semarang-Bawen. Oleh yang demikian ratio disintegritas clay shale

Hambalang akibat proses pengeringan dan pembasahan yang sama akan lebih besar bila dibandingkan clay shale Semarang-Bawen.

Clay shale Hambalang juga memiliki kadar mineral Kuarza yang cukup besar yaitu sebanyak 30%. Mineral Kuarza telah dikenal pasti memiliki sifat yang dapat mengurangi penyusutan dan pengembangan bila terdapat dalam suatu komposisi horizontal lempung (Mitchell dan Soga 2005). Oleh karenanya, clay shale Hambalang memiliki ketahanan lasakan yang lebih baik dari clay shale Semarang-Bawen.

Falidasi penjelasan ini juga disokong oleh penelitian perilaku dari 17 batuan lempung keras yang memiliki kadar Smektit, Kaolinit, Illit dan Kuarza yang berbeda (Sadisun *et al.*, 2010). Sebanyak 17 sampel batuan lempung keras dengan variasi susunan komposisi horizontal mineralnya telah dibuat uji pembasahan dan pengeringan. Dalam penelitian ini pembahasan berkisar kepada pengaruh dari susunan komposisi horizontal mineral terhadap masa yang diperlukan pada masa sampel mulai hancur. Masa yang diperlukan pada proses pengeringan hingga sampel mulai hancur dilihat berbeda-beda dan bergantung pada komposisi horizontal mineralnya seperti yang ditunjukkan dalam pada Tabel 5.9. Dengan masa rendaman yang sama, masa pengeringan setiap sampel adalah berbeda karena kadar mineral yang dimiliki oleh setiap sampel juga berbeda (Sadisun *et al.*, 2010).

Dari uji 17 sampel yang berbeda komposisi horizontal mineral tersebut, dibuktikan bahwa mineral Smektit yang dimiliki kod sampel SC-1, SC-2 dan SC-3 pada Tabel 5.8, mengakibatkan ia hancur dalam masa yang singkat bila terbuka dengan udara, yaitu dengan masa 12 jam hingga 24 jam saja. Seterusnya apabila direndam maka ia hancur lebih cepat lagi yaitu hanya 4 menit hingga 5 menit. Pengaruh dari kuantitatif mineral Kaolinit di dalam komposisi horizontal sampel dalam penelitian ini membuktikan bahwa semakin banyak kadar Kaolinit dalam komposisi horizontal sampel, maka semakin lambat ia hancur bila dibandingkan dengan yang mengandung Smektit apabila terbuka kepada udara ataupun bila direndam. Perkara ini dialami oleh sampel berkode TE-1, TE-2, TE-3 dan TE-4 pada Tabel 5.9 (Sadisun *et al.*, 2010). Ringkasan dari komposisi horizontal mineral 17 sampel batuan

lempung keras dan perilakunya terhadap ketahananlasakan dilihat semasa mulai hancur dapat dirujuk pada Tabel 5.5 dan 5.6.

Tabel 5.5 : Hasil semi kuantitatif dari data uji XRD: Q (kuarza), P (plagioklas), Py (pirit), R (rutil), G (gypsum), C (kalsit), Si (siderit), I (illit) dan S (smektit) (Sadisun *et al.*, 2010)

Sampel	Jenis Mineralogi										
	Q	P	Py	R	G	C	Si	K	I	Cl	S
IKS-1	24.94	13.08	10.29	6.78	-	-	-	11.11	16.46	-	5.60
IKS-2	22.59	14.54	11.02	4.73	-	-	-	13.01	18.39	Tr	4.37
IKS-3	24.69	12.65	11.08	6.28	-	-	-	12.66	16.82	Tr	7.81
OM-1	39.75	16.48	-	8.81	-	-	-	16.44	9.61	Tr	3.48
OM-2	37.99	14.91	-	10.35	-	-	-	17.84	8.87	Tr	3.62
OM-3	35.02	15.08	-	13.93	-	-	-	12.34	10.46	Tr	4.61
OM-4	39.20	15.31	-	9.58	-	-	-	15.88	9.69	Tr	3.25
OM-7	37.99	14.87	-	10.39	-	-	-	16.94	6.88	Tr	4.51
OM-8	48.01	3.12	-	12.80	-	-	-	17.32	9.42	Tr	2.67
OM-9	35.05	14.26	-	12.72	-	-	-	15.30	10.48	Tr	5.63
TE-1	31.24	2.16	25.70	-	-	-	-	25.43	2.11	-	Tr
TE-3	27.62	1.51	27.20	-	-	-	-	38.03	Tr	-	1.37
TE-2	39.51	2.87	17.03	-	-	-	-	31.40	6.91	-	2.05
TE-4	37.18	1.93	27.25	-	-	-	-	25.38	5.51	-	2.55
SC-1	25.03	13.78	5.22	-	4.03	-	-	12.51	-	-	39.43
SC-2	17.40	8.82	13.58	-	-	10.70	12.31	17.41	6.67	Tr	13.10
SC-3	14.60	8.91	12.70	-	6.87	-	-	20.51	6.62	-	29.79

Tabel 5.6 : Hasil dari ketahananlasakan pengeringan dan perendaman (Sadisun *et al.*, 2010)

Sampel	Masa yang diperlukan untuk sampel mula tahan lasak	
	Pendedahan (hari)	Perendaman (jam)
IKS-1	55	17
IKS-2	92	31
IKS-3	42	13
OM-1	26	14
OM-2	4	2
OM-3	12	6
OM-4	31	11
OM-7	21	9
OM-8	35	13
OM-9	16	7
TE-2	9	3
TE-4	3	1
TE-1	2	1
TE-3	1	< 1 (30 min)
SC-1	<1, (12 hours)	< 1 (4 min)
SC-2	1	< 1 (5 min)
SC-3	1	< 1 (4 min)

Daripada analisis dan pembahasan diatas, pengaruh pelapukan terhadap perubahan sifat fisik dapat dilihat pada tabel 5.7, 5.9 dan 59. Perubahan ukuran distribusi butiran akibat pelapukan pada Tabel 5.7. Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat pelapukan pada Tabel 5.8, dan pengaruh mineralogi clay shale akibat pelapukan pada Tabel 5.9. Rangkuman pada tabel-tabel berikut merupakan falidasi yang membandingkan antara penelitian terdahulu dengan hasil penelitian ini.

Tabel 5.7 : Perubahan distribusi ukuran butiran clay shale akibat pelapukan

Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian yang Dilakukan
<p>Pada proses pengeringan : Dari uji <i>Slake Durability</i> a. Perbedaan perilaku dari empat sampel batuan lempung keras seperti batuan lanau, shale, batuan lempung dan batuan lumpur menunjukkan ketahananlasakan yang berbeda. Hal ini setelah terlihat setelah dilakukan uji <i>slake durability</i>. Ketahananlasakan batuan lanau lebih tinggi bila dibandingkan dengan shale, batuan lempung dan batuan lumpur setelah siklus ke-3 uji <i>slake</i> (Erguler dan Shakoor, 2009).</p> <p>Pada Proses siklus pembasahan pengeringan dengan iklim semula jadi: b. Sampel terkena keadaan iklim semula jadi untuk 1 tahun, dari bulan September 2009 hingga September 2010. Dalam tempoh pendedahan, suhu adalah antara 24.3° C (24.3° F) pada bulan Januari 2010 untuk 23.0° C (73.4° F) pada bulan Julai 2010, dan hujan tahunan rata-rata adalah 101.5 cm (40 inches). Januari dan Februari adalah bulan paling dingin tahun ini di timur laut Ohio, dan bulan Mei hingga Ogos adalah bulan yang paling panas. Distribusi ukuran butiran telah digunakan untuk mengukur jumlah disintegritas setiap sampel dengan menentukan ratio disintegritas (D_R). Pemerhatian perilaku disintegritas telah dibuat secara dua kali seminggu, dan rekod fotografi dikekalkan. Perilaku disintegritas empat kumpulan batuan lempung keras dikaji boleh didapati (Shakoor dan Tej, 2011) (Shakoor dan Gautam, 2015).</p>	<p>Akibat Pengeringan Clay shale Dari Uji Distribusi ukuran butiran : a. Pada clay shale Semarang-Bawen sudah mulai terjadi perubahan yang signifikan mulai hari ke-24 dari masa pengeringan. Manakala pada clay shale Hambalang hal serupa mulai terjadi pada masa 48 hari pengeringan.</p> <p>Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan Clay shale b. Kuantitatif perendaman dalam jangkang masa 8 hari mempengaruhi percepatan proses luluhaha. Semakin banyak perendaman dilakukan maka semakin cepat kehancuran clay shale terjadi c. Pada clay shale Semarang-Bawen pengamatan hari ke-24, perendaman 1 kali dalam setiap 8 hari, ukuran butiran 2 mm yang tertahan sebanyak 29.9%. Perendaman 2 kali dalam setiap 8 hari ukuran butiran 2 mm yang tertahan sebanyak 3.8%, dan pada perendaman 3 kali dalam setiap 8 hari sebanyak 1.3%. Manakala pada shale lelung Hambalang pengamatan hari ke-24, perendaman 1 kali dalam setiap 8 hari, ukuran butiran 2 mm yang tertahan sebanyak 84.64 %. Perendaman 2 kali dalam setiap 8 hari ukuran butiran 2 mm yang tertahan sebanyak 82.02 %, dan pada perendaman 3 kali dalam setiap 8 hari sebanyak 60.80%. d. Pada clay shale Semarang-Bawen dengan masa siklus pembasahan dan pengeringan lebih lama dari 24 hari dengan pembasahan 3 kali dalam setiap 8 hari menunjukkan ukuran butiran 2 mm yang terlahan lebih kecil daripada 3.8% (antara 0% hingga 3.8%). Manakala pada clay shale</p>

	Hambalang dengan masa siklus pembasahan dan pengeringan lebih lama dari 24 hari dengan pembasahan 3 kali dalam setiap 8 hari menunjukkan ukuran butiran 2 mm yang terlahan lebih kecil daripada 60.80 % (antara 41.16 % hingga 60.80 %).
--	--

Tabel 5.8 : Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat pelapukan

Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian yang Dilakukan
<p>Pada proses pengeringan dan pembasahan semula jadi:</p> <p>a. Dari penelitian kelompok batuan lempung keras, berupa batuan lempung, batuan lumpur, batuan lanau dan shale, telah dilakukan uji pembasahan dan pengeringan secara semula jadi selama 12 bulan. Jumlah sampel yang diuji sebanyak 20 sampel dengan 5 sampel pada tiap jenis batuan yang diuji. Setiap bulannya dilakukan uji distribusi ukuran butiran yang jangkajutnya dihitung ratio disintegritas (D_R) pada tiap bulannya (Shakoor dan Gautam, 2015).</p> <p>b. Dari penelitian diperoleh bahwa semakin lama proses pelapukan dilakukan maka semakin kecil nilai ratio disintegritas. Secara kuantitatif besarnya ratio disintegritas (D_R) sangat tergantung dari jenis sampel batuan yang diuji (Shakoor dan Gautam, 2015).</p>	<p>Akibat pengeringan clay shale ratio disintegritas (D_R) :</p> <p>a. Hingga hari ke-80 masa pengeringan, ratio disintegritas clay shale Semarang-Bawen mencapai 0.9152. Sedangkan pada clay shale Hambalang ratio disintegritas sebanyak 0.9162.</p> <p>b. Kedua clay shale tersebut akibat proses pengeringan tidak signifikan. Tanpa pengaruh terbuka dengan hidrosfir, clay shale masih memiliki ketahananlasakan yang cukup baik</p> <p>Akibat siklus pembasahan dan pengeringan Clay shale</p> <p>c. Pengaruh dari kekerapan rendaman sangat mempengaruhi perubahan ratio disintegritas (D_R). Semakin kerap jumlah rendaman, maka makin besar penurunan ratio disintegritas yang terjadi. Hal ini terjadi pada clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang.</p> <p>d. Pada hari ke-80 akibat rendaman 1 kali dalam 8 hari, ratio disintegritas clay shale Semarang-Bawen $D_R=0.000$ (<i>completely non-durable</i>) dan clay shale Hambalang $D_R=0.1467$.</p> <p>e. Pada clay shale Semarang-Bawen ratio disintegritas $D_R=0.000$ telah terjadi pada masa 32 hari dengan 3 kali rendaman pada masa 8 hari.</p> <p>Pengkelasan ketahananlasakan berdasarkan ISRM 2007</p> <p>f. Akibat pengeringan, shale lempung Semarang-Bawen masa 0~ 64 hari 'sangat tinggi', 80 hari 'tinggi'. Clay shale Hambalang 0~48 hari 'sangat tinggi', 48~80 hari 'tinggi'.</p> <p>g. Akibat pembasahan pengeringan dengan 1 kali rendaman/8hari, pengkelasan ketahananlasakan 'sangat rendah' pada clay shale Semarang-Bawen terjadi mulai hari ke-24, sedangkan Hambalang mulai mari ke-64.</p>

	<p>h. Akibat 2 kali rendaman/8hari, pengkelasan ketahananlasakan sangat rendah clay shale Semarang-Bawen mulai hari ke-8, sedangkan Hambalang mulai hari ke-64.</p> <p>i. Akibat 3 kali rendaman/8hari, pengkelasan ketahananlasakan sangat rendah clay shale Semarang-Bawen mulai hari ke-8, sedangkan Hambalang mulai hari ke-32.</p> <p>j. Ketahananlasakan clay shale Hambalang lebih baik dari clay shale Semarang-Bawen.</p>
--	--

Tabel 5.9 : Pengaruh mineralogi clay shale terhadap ratio disintegritas (D_R)

Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian yang Dilakukan
<p>a. Terhadap 17 sampel batuan lempung keras yang berbeda komposisi mineralnya telah dilakukan uji pembasahan dan pengeringan. Masa yang diperlukan pada proses pengeringan hingga sampel mulai hancur akan dilihat berbeda-beza dan tergantung dari komposisi mineralnya. Perkara serupa dengan masa perendamannya, akan terlihat berbeda dengan kadar mineral yang berbeda pula yang dimiliki oleh setiap sampel (Sadisun <i>et al.</i>, 2010).</p> <p>b. Kadar kuantitatif mineral Smektit terbukti mempercepat waktu pelapukan, sehingga lebih cepat mengurangi ratio penyepainya (Sadisun <i>et al.</i>, 2010).</p>	<p>a. Kuantitatif rendaman pada masa 8 hari berpengaruh terhadap kecepatan penurunan ratio disintegritas. D_R clay shale Semarang-Bawen lebih cepat berkurang dibandingkan clay shale Hambalang. Sehingga clay shale Semarang-Bawen lebih cepat terpelapukan dibandingkan dengan clay shale Hambalang dengan perubahan masa rendaman selama 8 hari yang sama. Hal ini karena perbedaan kadar mineral dari kedua clay shale tersebut.</p> <p>b. Kadar utama mineralogi clay shale Semarang-Bawen adalah Smektit sebanyak 50% , yang memiliki sifat penyusutan dan pengembangan yang lebih besar, sehingga dengan terbuka atmosfer dan hidrosfir akan cepat pelapukan.</p> <p>c. Kadar utama mineralogi clay shale Hambalang adalah kaolinit (30%) dan illit (20%). Dan terdapat mineral Kuarza sebanyak 30%, yang membuat clay shale ini lebih kukuh, lebih memiliki ketahananlasakan yang lebih tinggi dari clay shale Hambalang.</p>

5.3 Perubahan Pengembangan Akibat Siklus Pembasahan Pengeringan

Perubahan pengembangan yang terjadi pada sampel tak terganggu akibat proses siklus pembasahan dan pengeringan clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang dilakukan pada sel perubahan isi sampel. Uji ini bertujuan untuk mengetahui perubahan regangan dan isi sampel pada sampel clay shale berkenaan dengan uji kekuatan geser dengan uji triaksial. Ubah bentuk sampel akibat siklus pembasahan dan pengeringan diamati dalam arah vertikal dan 3 arah horizontal sampel. Perendaman sampel hanya dilakukan dalam masa 5 menit, yang dilanjutkan

dengan pengeringan. Perendaman pada sampel tak terganggu hanya dilakukan 2 kali perendaman dalam masa 8 hari. Gambar proses uji pengembangan akibat siklus pembasahan dan pengeringan dapat dilihat pada Gambar 5.11.

Perubahan peratus regangan vertikal dan regangan horizontal telah dilakukan sehingga masa siklus pembasahan dan pengeringan 40 hari. Masa 40 hari adalah masa akhir pengamatan data, karena selepas masa 40 hari sampel clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang hancur. Perkara serupa dibuat hubungan antara perubahan peratus isi sampel dengan masa siklus pembasahan dan pengeringan.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5.11 Uji pengembangan vertikal dan horizontal clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang (a) Pada masa pengeringan (b) Pada masa rendaman (c) proses pengeringan clay shale Hambalang (d) proses pengeringan clay shale Semarang-Bawen

5.3.1 Pengembangan Clay shale Semarang-Bawen Akibat Siklus Pembasahan Pengeringan

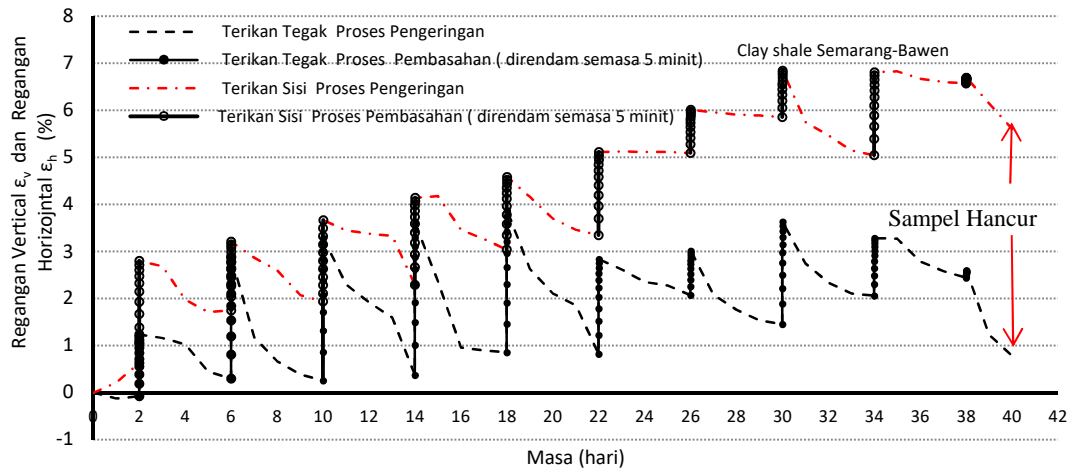
Perubahan regangan vertikal yang terjadi pada clay shale Semarang-Bawen secara kuantitatif lebih kecil bila dibandingkan dengan perubahan regangan horizontalnya. Perubahan regangan vertikal maksimum sebanyak 3.9% terjadi pada masa siklus pembasahan pengeringan hari ke-18 dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari. Sedangkan perubahan regangan horizontal maksimum sebanyak 6.8% terjadi pada masa siklus pembasahan dan pengeringan hari ke-30. Setelah hari ke-30 perubahan siklus horizontal terlihat berkurang. Berkurangnya regangan horizontal clay shale setelah hari ke-30 hingga hari ke-40 disebabkan sebanyak sampel dalam proses hancur secara perlahan hingga akhirnya hancur seluruhnya setelah hari ke-40.

Akibat terjadi perubahan regangan vertikal dan regangan horizontal, maka secara kuantitatifnya terjadi perubahan isi sampel clay shale Semarang-Bawen. Perubahan isi sampel maksimum dari clay shale Semarang-Bawen terjadi sebanyak 18.3% pada hari ke-30. Karena setelah hari ke-30 regangan vertikal dan regangan horizontal mengalami penurunan, maka perubahan isi sampel mengalami penurunan juga. Perubahan regangan vertikal dan regangan horizontal clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan dan pengeringan dapat dilihat pada Gambar 5.12, manakala perubahan isi sampel clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan dan pengeringan dapat dilihat pada Gambar 5.13.

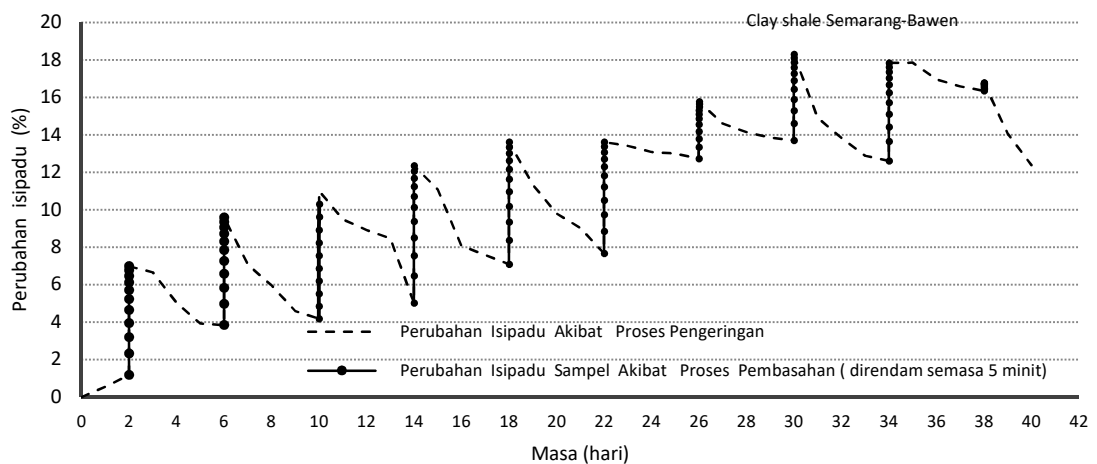
5.3.2 Pengembangan Clay shale Hambalang Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan

Perubahan regangan vertikal yang terjadi pada clay shale Hambalang secara kuantitatif lebih sedikit kecil bila dibandingkan dengan perubahan regangan horizontalnya. Sedangkan perilaku pengembangannya secara umum terjadi perbedaan bila dibandingkan dengan clay shale Semarang-Bawen. Perubahan regangan maksimum sebanyak 2.7% terjadi pada masa siklus pembasahan

pengeringan hari ke-22 dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari. Sedangkan perubahan regangan horizontal maksimum sebanyak 4.7% terjadi pada masa siklus pembasahan dan pengeringan hari ke-30. Setelah hari ke-30 perubahan siklus horizontal dilihat berkurang. Berkurangnya regangan horizontal clay shale setelah hari ke-30 hingga hari ke-40 disebabkan sebanyak sampel dalam proses hancur secara perlahan hingga akhirnya hancur seluruhnya setelah hari ke-40.

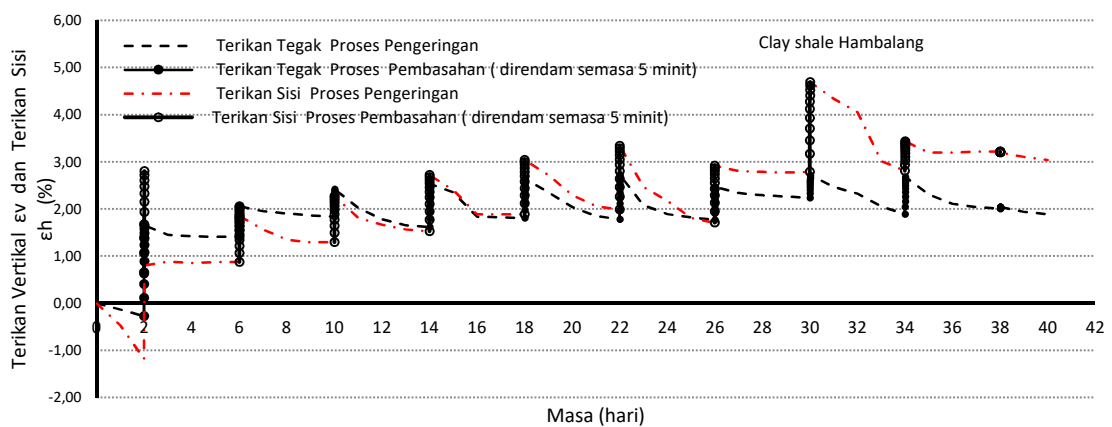


Gambar 5.12 Regangan vertikal (ϵ_v) dan regangan horizontal (ϵ_h) clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman dalam masa 8 hari

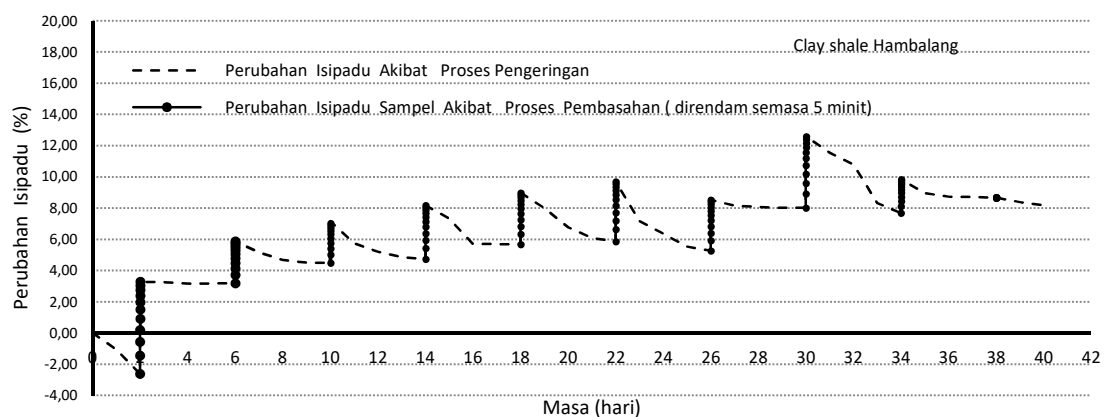


Gambar 5.13 Perubahan isi sampel clay shale Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman pada masa 8 hari

Akibat terjadi perubahan regangan vertikal dan regangan horizontal, maka secara kuantitatif terjadi perubahan isi sampel clay shale Hambalang. Perubahan isi sampel maksimum dari clay shale Hambalang terjadi sebanyak 12.6% pada hari ke-30. Sebanyak setelah hari ke-30 regangan vertikal dan regangan horizontal mengalami penurunan, maka perubahan isi sampel mengalami penurunan juga. Perubahan regangan vertikal dan regangan horizontal clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan dan pengeringan dapat dilihat pada Gambar 5.14, sedangkan perubahan isi sampel clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan dan pengeringan dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.14 Regangan vertikal dan regangan horizontal clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman dalam masa 8 hari



Gambar 5.15 Perubahan isi sampel rata-rata clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan pengeringan

Sebagai validasi dari hasil uji di atas, uji terdahulu telah dilakukan terhadap 3 sampel shale Ikaushima dan 3 sampel batuan lempung Subang yang direndam selama 30 hari. Hasilnya diperoleh daripada shale Ikaushima bahwa perubahan regangan vertikal maksimum sebanyak 5.3%, perubahan regangan horizontal maksimum sebanyak 2.2% yang diperoleh dari shale IKS(3). Perubahan ini sangat signifikan pada masa rendaman dimulai hari ke-8 hingga hari ke-20. Sedangkan dari batuan lempung Subang perubahan regangan vertikal sebanyak 7.2% dan perubahan regangan horizontal sebanyak 3.1%. Perubahan ini sangat signifikan pada masa rendaman mulai hari ke-5 hingga hari ke-16. Sedangkan setelah hari ke-20 perubahan sudah tidak terlalu signifikan dan berbentuk garis asimtot (Sadisun *et al.*, 2002).

Penelitian terdahulu telah dilakukan uji keatas 38 sampel yang terdiri daripada batuan lumpur, shale lumpur, batuan lanau dan batuan lempung. Perubahan isi sampel terkecil akibat proses perendaman pada uji pengembangan bebas diperoleh sebanyak 0.1%, dan hal itu terjadi pada sampel batuan lumpur. Sedangkan perubahan isi sampel maksimum terjadi pada batuan lempung adalah 68.9 % (Sarman dan Shakoor, 1994).

Apabila dibandingkan hasil regangan vertikal clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang terhadap regangan horizontal, maka hasil regangan horizontal didapat lebih besar bila berbanding dengan regangan vertikalnya. Hal ini berbeda dari penelitian yang lalu yang dilakukan oleh Sadisun (2002) maupun Sarman (1994). Dari penelitian terdahulu diperoleh regangan vertikal lebih besar dari regangan horizontalnya. Perbedaan ini adalah karena terdapat masa yang sangat jauh berbeda saat masa perendaman clay shale. Pada penelitian ini masa yang dirancang untuk merendam clay shale hanya 5 menit, sangat kecil dibandingkan dengan masa penelitian terdahulu yaitu adalah 30 hari atau setara dengan 43,200 menit. Masa pada penelitian ini jauh lebih singkat dari penelitian terdahulu, sehingga regangan vertikal belum lagi mencapai besaran yang maksimum.

Pada penelitian ini masa yang diperlukan hanya 5 menit untuk keperluan penelitian penurunan kuat geser dalam proses siklus pembasahan dan pengeringan. Hanya dengan 5 menit sudah cukup masa yang diperlukan agar air masuk kedalam joint sampel yang retak akibat pelapukan pada clay shale yang mulai pelapukan. Hal

ini bukan dimaksudkan untuk membuat sampel menjadi jenuh. Pada penelitian terdahulu diatas memang dimaksudkan untuk mencari pengaruh perendaman terhadap maksimum pengembangan bebas yang terjadi, sehingga masa yang diperlukan harus cukup lama.

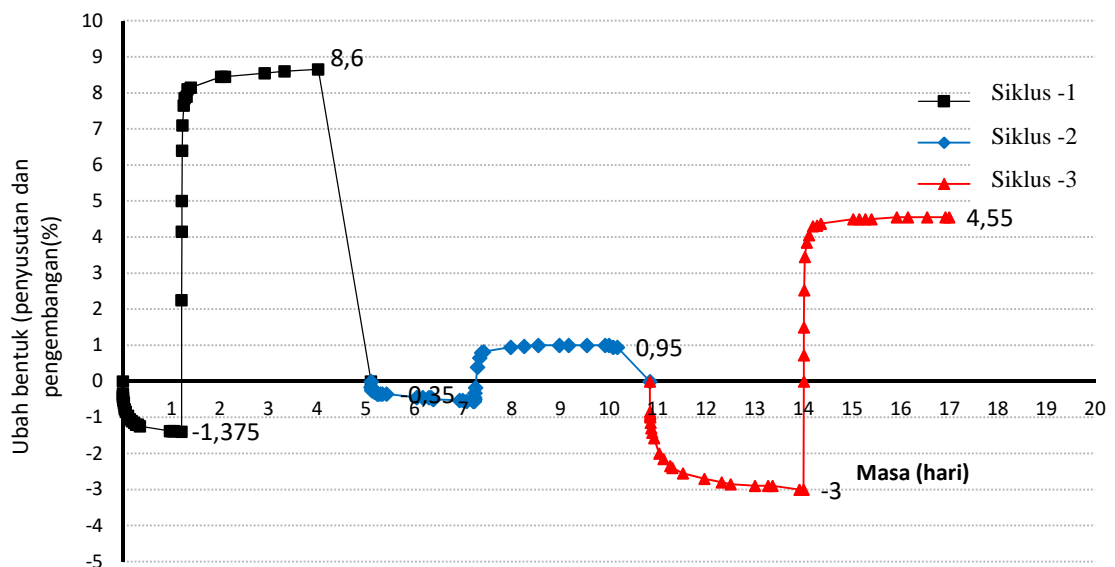
Penelitian perubahan pengembangan pada tanah dibedakan dengan tiga metode kekonduksian hidraulik ketika dilakukan perendaman. Yang pertama dengan cara air *Deionized* (DI), yang kedua dengan air biasa, dan yang ketiga dengan larutan 0.0125 M CaCl_2 . Uji perendaman dilakukan hingga masa 400 jam, dan diperoleh hasil bahwa pengembangan yang terbesar ialah akibat DI. Pengembangan terbesar kedua yang terjadi ialah akibat air biasa dan yang terkecil ialah dengan CaCl_2 . Dengan CaCl_2 ternyata sudah mendapat perubahan pengembangan yang stabil dengan garis asimtot pada masa 300 jam. Sedangkan dengan DI dan air biasa perubahan pengembangan masih menunjukkan kenaikan hingga masa 400 jam (Lin dan Benson, 2000).

Penelitian lainnya dilakukan pada lempung yang dimampatkan hingga memperoleh dua berai isi kering dan dua kadar air yang berbeda. Lempung pertama dengan berai isi kering 17 kN/m^3 dan kadar air 4.3 %, dan lempung kedua unit berat kering lebih kecil yaitu 13.1 kN/m^3 dan kadar air juga lebih kecil 1.9%. Pengaruh sifat-sifat indeks yang berbeda tersebut menghasilkan perilaku pengembangan yang berbeda terhadap perendaman dalam masa 1000 menit. Lempung kedua dengan sifat indeks yang lebih kecil lebih cepat terjadinya pengembangan pada 100 menit pertama, bahkan sudah mencapai pengembangan maksimum sebanyak 14% hingga pada masa 1000 menit. Pada masa yang sama, lempung pertama baru mencapai 10 % pengembangan. Setelah masa 100 menit, lempung pertama pengembangannya masih terjadi hingga pada masa 1,000 menit mencapai 19.5% (Robert, 1992).

Uji penyusutan dan pengembangan pada clay shale Kerawang tak terganggu dengan beban surcharge dilakukan hingga masa 18 hari dengan 3 siklus. Setiap siklusnya dilakukan proses pengeringan dalam masa 3 hari dan perendaman dengan masa 3 hari. Uji tersebut diperlukan pada pengukuhan subgred jalan untuk keperluan uji kereta baru Daihatsu Motor pada kawasan perindustrian Surya Cipta di Kerawang Timur Jawa Barat. Uji dilakukan pada 9 sampel tak terganggu yang mewakili 3 lokasi uji galian yang berbeda, masing-masing lokasi diambil 3 sampel tak terganggu yang

diberikan beban surcharge yang berbeda. Beban surcharge yang diberikan adalah 10 kN/m^2 , 20 kN/m^2 , dan 30 kN/m^2 (Alatas dan Wawan, 2016).

Setiap lokasi menghasilkan perilaku penyusutan dan pengembangan yang berbeda. Penyusutan maksimum sampel dari lokasi No.1 adalah 3.6%, yang terjadi dalam sampel No.9 terjadi pada siklus ke-1 pada beban surcharge 30 kN/m^2 . Dan pengembangan maksimum adalah 8.6% yang terjadi pada sampel No.7 terjadi pada siklus No.1 pada beban surcharge 10 kN/m^2 . Penyusutan maksimum dalam sampel dari lokasi No.2 adalah -3.3%, yang terjadi dalam sampel No.6 dan terjadi pada siklus ke-3 pada beban surcharge 30 kN/m^2 . Dan pengembangan maksimal adalah 7.6% yang terjadi pada sampel No.5 terjadi pada siklus ke-2 pada beban surcharge 20 kN/m^2 . Penyusutan maksimal dalam sampel dari lokasi No.3 adalah -3.6%, yang terjadi dalam sampel No.1 terjadi pada siklus ke-1 pada beban surcharge 10 kN/m^2 . Pengembangan maksimal adalah 4.35% yang terjadi pada sampel No.2 terjadi pada siklus ke-1 pada beban surcharge 20 kN/m^2 (Alatas dan Wawan, 2016). Satu dariada sembilan gambar antara peratus penyusutan dan pengembangan terhadap masa dalam hari dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.

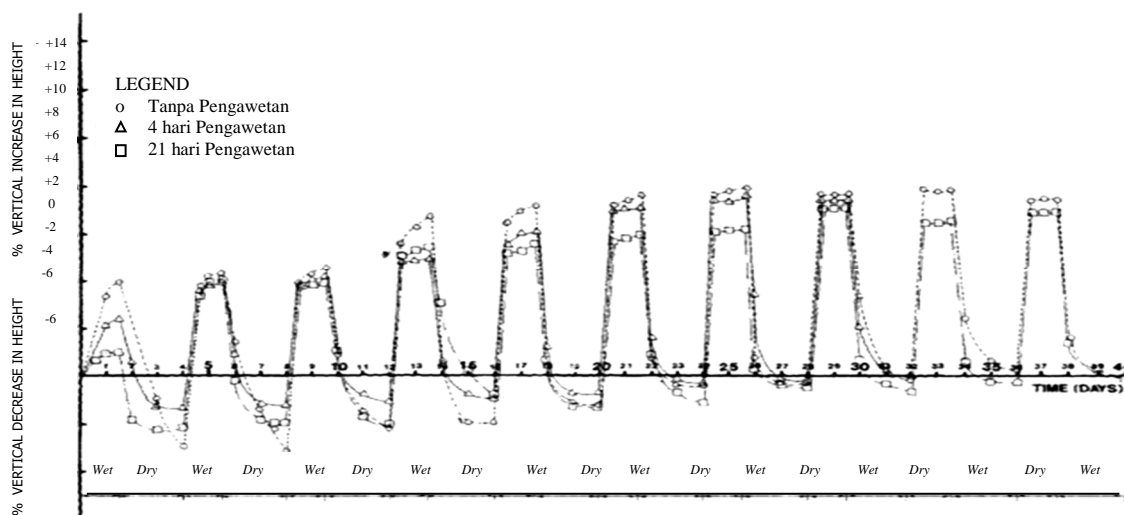


Gambar 5.16 Perilaku penyusutan dan pengembangan clay shale Cikarang akibat proses pengeringan dan pembasahan dari lokasi No.1 sampel No.7 dengan beban surcharge sebanyak 10 kN/m^2 (Alatas dan Wawan, 2016)

Penelitian lapangan atas pengembangan dan penyusutan akibat perubahan iklim selama 7 tahun, dimulai tahun 1993 hingga tahun 2000, telah membuktikan

bahwa terjadi perubahan pengembangan dan penyusutan semasa 4 jenis iklim tersebut. Pada musim panas terjadi penyusutan terbesar, sedangkan pada musim dingin terjadi pengembangan yang terbesar (Fityus *et al.*, 2004).

Penelitian di laboratorium pada tanah liat dipadatkan kepada perubahan dalam penyusutan dan pengembangannya selama 40 hari dengan 10 siklus. Penelitian ini dilakukan dengan 3 variasi sampel, tiada pengawetan, pengawetan 4 hari dan pengawetan 21 hari. Penyusutan menunjukkan berkurangan dengan meningkatkan bilangan siklus yang terjadi. Tetapi pengembangan menunjukkan kenaikan dengan bilangan siklus yang terjadi (Robert, 1994). Hubungan 10 siklus pengeringan pembasahan tanah liat dimampatkan semasa 40 hari terhadap perilaku penyusutan dan pengembangan boleh dilihat dalam Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Pengaruh pegeringan dan pembasahan pada 3 jenis pengawetan tanah terhadap penyusutan dan pengembangan semasa 40 hari 10 siklus (Robert, 1994)

Penelitian terdahulu mengenai kesusiklus kelembapan relatif (RH) pada batuan lempung menunjukkan adanya perubahan regangan vertikal berkaitan dengan tegangan normal efektif yang terjadi. Kelembapan relatif (RH) mula-mula sebanyak 50% bertambah menjadi 100% akibat pembasahan dan berkurangan menjadi 15% akibat pengeringan, hal ini terjadi hingga masa 3 siklus dan dengan rentang tempoh 23 hingga 51 hari. Hasil penelitian dari sampel S-10, S-11 dan S-112 memperlihatkan bahwa pada siklus ke 3 dengan tegangan normal efektif 100 kPa (S-10), regangan vertikal yang terjadi adalah 9.4%. Manakala pada tegangan normal efektif

200 kPa (S-11) regangan vertikal yang terjadi adalah 9% dan pada tegangan normal efektif 300 kPa (S-12) regangan vertikal yang terjadi adalah 7% (Pineda *et al.*, 2014).

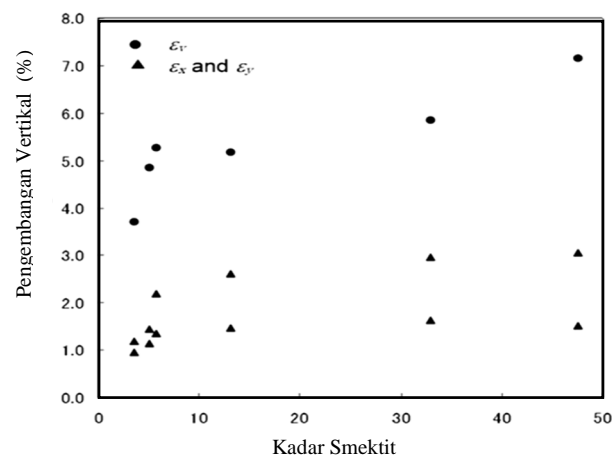
5.3.3 Pengaruh Jenis Mineral Clay shale Terhadap Perubahan Pengembangan

Dari Gambar 5.28 dan Gambar 5.30 dapat dilihat perbedaan pengembangan akibat siklus pembasahan dan pengeringan selama masa 40 hari. Pembasahan dilakukan 2 kali dalam setiap 8 hari dengan masa pembasahan selama 5 menit. Regangan vertikal dan regangan horizontal dari clay shale Semarang-Bawen lebih besar dibandingkan regangan vertikal dan regangan horizontal clay shale Hambalang. Begitu pula dengan perubahan isi sampel clay shale Semarang-Bawen lebih besar dari pada perubahan isi sampel clay shale Hambalang. Regangan vertikal clay shale Semarang-Bawen lebih besar 41.8% terhadap regangan vertikal clay shale Hambalang, dan regangan horizontal lempung Semarang-Bawen lebih besar sebanyak 45.8% terhadap regangan horizontal clay shale Hambalang. Sementara perubahan isi sampel clay shale Semarang-Bawen lebih besar sebanyak 45.3% terhadap perubahan isi sampel shale Hambalang.

Perbedaan perubahan pengembangan karena kadar mineral clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang secara kualitatif dan kuantitatif berbeda. Clay shale Semarang-Bawen memiliki 50% mineral lempung Smektit sedangkan clay shale Hambalang memiliki mineral lempung 30% Kaolinit dan 20% Illit, dan juga memiliki mineral Kuarza sebanyak 30%. Mineral Smektit sudah dikenal pasti memiliki ukuran yang terkecil daripada mineral Kaolinit dan Illit. Sehingga memiliki permukaan tentu yang lebih luas dalam satu satuan isi sampel tertentu. Oleh yang demikian dalam matrik ion hidrogen terdapat lebih banyak dari mineral Kaolinit dan Illit. Ini mengakibatkan pengembangan dan penyusutan yang jauh lebih besar bila dibandingkan dengan Kaolinit dan Illit (Mitchell dan Soga 2005). Keadaan inilah yang menjadi alasan utama kenapa clay shale Semarang-Bawen memiliki regangan dan perubahan isi sampel yang lebih besar dibandingkan clay shale Hambalang.

Kategori potensi pengembangan dapat juga diperkirakan berdasarkan indeks keplastikan (PI). Indeks keplastikan tanah yang lebih besar dari 35% termasuk memiliki potensi pengembangan yang sangat tinggi. Sedangkan apabila keplastikan berada diantara 20% hingga 35% ia diperkirakan memiliki potensi pengembangan tinggi, dan diantara 10% hingga 20% diperkirakan sederhana, dan 0% hingga 15% adalah rendah (Chen, 1988) dan (Olsen *et al.*, 2000). Dari penelitian uji batas Atterberg diperoleh PI clay shale Semarang-Bawen sebanyak 29.2% dan termasuk kategori potensi pengembangan tinggi. Sedangkan PI clay shale Hambalang sebanyak 11%, sehingga termasuk kategori pengembangan sederhana.

Pengaruh kuantitatif kadar mineral Smektit pada clay shale (*argillaceous rock*) mempengaruhi pengembangan yang terjadi. Semakin tinggi kadar Smektit semakin besar regangan vertikal maupun regangan horizontal. Pada kadar Smektit sebanyak 5 %, regangan vertikal yang terjadi adalah 3.6%, dan bila kadar Smektit meningkat hingga 47%, maka regangan vertikal akan menjadi 7% (Sadisun *et al.*, 2002). Pengaruh kuantitatif kadar Smektit dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Perubahan regangan vertikal terhadap kadar mineral Smektit pada *argillaceous rocks* (Sadisun *et al.*, 2002)

Sebagai rumusan dari pembahasan mengenai pengaruh proses pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan pengembangan dan penyusutan, maka tabel falidasi atas penelitian ini dan terdahulu dibentangkan di Tabel 5.10. Tabel adalah mengenai pengaruh perubahan pengembangan dan penyusutan pada clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang. Manakala Tabel 5.12 membentangkan

pengaruh kompo horizontal mineral clay shale terhadap perubahan pengembangan dan penyusutan.

Tabel 5.10 : Pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan pengembangan dan penyusutan

Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian yang Dilakukan
<p>a. Uji terdahulu telah dilakukan terhadap 3 sampel shale Ikasushima dan 3 sampel batuan lempung Subang yang direndam semasa 30 hari (Sadisun <i>et al.</i>, 2002).</p> <p>Shale Ikasushima</p> <p>b. Perubahan regangan vertikal maksimum sebanyak 5.3 % dan perubahan regangan horizontal maksimum sebanyak 2.2 % yang diperoleh dari shale kod Iks(3). Perubahan ini sangat signifikan pada masa rendaman dimulai hari ke-5 hingga hari ke-16 (Sadisun <i>et al.</i>, 2002).</p> <p>Shale Subang</p> <p>c. Perubahan regangan vertikal sebanyak 7.2 % dan perubahan regangan horizontal sebanyak 3.1 %. Sedangkan setelah hari ke-20 perubahan sudah tidak terlalu signifikan dan berbentuk garis asimptot (Sadisun <i>et al.</i>, 2002).</p> <p>d. Penelitian terdahulu lainnya telah dilakukan uji dari 38 sampel yang terdiri dari batuan lumpur, shale lumpur, batuan lanau dan batuan lempung. Perubahan isi sampel terkecil akibat proses perendaman pada uji pengembangan bebas diperoleh sebanyak 0.1 %, dan hal itu terjadi pada sampel batuan lumpur. Sedangkan perubahan isi sampel maksimum terjadi pada batuan lempung adalah 68.9% (Sarman dan Shakoor, 1994).</p> <p>Shale Kerawang</p> <p>e. Uji penyusutan dan pengembangan dari sampel tak terganggu shale Kerawang dengan beban surcharge berbeda memberikan menghasilkan pengembangan maksimum sebanyak 8.6 % pada beban surcharge 10kN/m² di siklus pertama (Alatas dan Wawan, 2016)</p>	<p>a. Pada proses pembasahan dan pengeringan diamati perubahan regangan vertikal dan perubahan regangan horizontal dari sampel clay shale tak terganggu di dalam sel pengukuran isi sampel.</p> <p>Pada clay shale Semarang-Bawen</p> <p>b. Pada clay shale Semarang-Bawen perubahan regangan vertikal maksimum sebanyak 3.9% terjadi pada masa siklus pembasahan pengeringan hari ke-18 dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari. Manakala perubahan regangan horizontal maksimum sebanyak 6.8 % terjadi pada masa siklus pembasahan dan pengeringan hari ke-30. Sedangkan ada clay shale Hambalang perubahan regangan vertikal maksimum 2.7% terjadi pada masa siklus pembasahan pengeringan hari ke-22 dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari. Manakala perubahan regangan horizontal maksimum 4.7 % terjadi pada masa siklus pembasahan dan pengeringan hari ke-30.</p> <p>c. Pada clay shale Semarang-Bawen setelah hari ke-30 sampel dalam proses hancur secara perlahan hingga akhirnya hancur seluruhnya setelah hari ke-40. Manakala pada clay shale Hambalang regangan horizontal clay shale berkurang setelah hari ke-30 hingga hari ke-40 disebabkan sebanyak sampel dalam proses hancur secara perlahan hingga akhirnya hancur seluruhnya setelah hari ke-40.</p> <p>d. Perubahan isi sampel maksimum dari clay shale Semarang-Bawen terjadi sebanyak 18.3 % pada hari ke-30. Manakala pada clay shale Hambalang pada perubahan isi sampel maksimum terjadi sebanyak 12.6% pada hari ke-30.</p>

Bersambung

Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian yang Dilakukan
<p>f. Penelitian perubahan pengembangan pada tanah semasa 400 jam dibezakan dengan tiga metode kekonduksian hidrolik yaitu cara <i>Deionized</i> (DI), yang kedua dengan air biasa dan yang ketiga dengan larutan 0.0125 M CaCl_2. Pengembangan yang terbesar ialah akibat DI. Pengembangan terbesar kedua yang terjadi ialah akibat air biasa dan yang terkecil ialah dengan CaCl_2. (Lin dan Benson, 2000).</p> <p>g. Pengaruh unit berat kering dan kadar air yang lebih besar pada lempung dimampatkan akan memberikan perilaku pengembangan yang berbeda bila unit berat kering dan kadar air direndahkan. Penguji dalam masa 1000 menit membuktikan bahwa lempung dengan ketumpatan kering yang lebih rendah lebih cepat pengembangannya pada 100 menit pertama. Akan tetapi unit berat kering yang lebih tinggi akan mengakibatkan pengembangan yang paling maksimum setelah masa 1000 menit (Robert, 1992).</p> <p>h. Penelitian lapangan atas pengembangan dan penyusutan akibat perubahan iklim semasa 7 tahun, membuktikan bahwa terjadi perubahan pengembangan dan penyusutan sebanyak perubahan 4 macam iklim tersebut. Pada musim panas terjadi penyusutan terbesar, sedangkan pada musim dingin terjadi pengembangan yang terbesar (Fityus <i>et al.</i>, 2004).</p> <p>i. Penelitian di laboratorium pada tanah liat dipadatkan kepada perubahan dalam penyusutan dan pengembangannya selama 40 hari dengan 10 siklus. Dalam penelitian ini dilakukan dengan 3 variasi sampel, tiada pengawetan, pengawetan 4 hari dan pengawetan 21 hari. Penyusutan menunjukkan berkurangan dengan meningkatkan bilangan siklus yang terjadi. Tetapi pengembangan akan menunjukkan kenaikan dengan bilangan siklus yang terjadi (Robert, 1994).</p> <p>j. Tegangan normal efektif yang lebih besar mengurangi regangan vertikal ϵ_v yang terjadi pada siklus kelembapan relatif hingga 3 siklus dalam tempoh 45 hari (Pineda <i>et al.</i>, 2014b).</p>	

Tabel 5.11 : Pengaruh komposisi horizontal mineral terhadap pengembangan dan penyusutan akibat siklus pembasahan dan pengeringan

Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian yang Dilakukan
<p>a. Mineral Smektite memiliki permukaan tentu yang lebih luas dalam satu satuan isi sampel tertentu. Dengan demikian dalam matrik ion hidrogen lebih banyak dari mineral Kaolinit dan Illit. Sehingga mengakibatkan pengembangan dan penyusutan yang jauh lebih besar bila dibandingkan Kaolinit dan Illit. (Mitchell dan Soga 2005).</p> <p>b. Indeks keplastikan tanah yang lebih besar dari 35% memiliki potensi pengembangan yang sangat tinggi. Sedangkan bila diantara 20% hingga 35% memiliki potensi pengembangan tinggi, dan diantara 10% hingga 20% moderat, dan 0% hingga 15% termasuk rendah (Chen, 1988) dan (Olsen <i>et al.</i>, 2000).</p> <p>c. Pengaruh kuantitatif kadar mineral Smektit pada clay shale (<i>argillaceous rock</i>) mempengaruhi pengembangan yang terjadi. Semakin tinggi kadar Smektit semakin besar regangan vertikal maupun regangan horizontal. (Sadisun <i>et al.</i>, 2002).</p> <p>d. Pada kadar Smektit sebanyak 5%, regangan vertikal yang menjadi 3.6%, dan apabila kadar Smektit meningkat hingga 47%, maka regangan vertikal akan menjadi 7.0%. (Sadisun <i>et al.</i>, 2002).</p>	<p>a. Regangan vertikal clay shale Semarang-Bawen lebih besar sebanyak 41.8% terhadap regangan vertikal clay shale Hambalang.</p> <p>b. Regangan horizontal lempung Semarang-Bawen lebih besar sebanyak 45.8% terhadap regangan horizontal clay shale Hambalang.</p> <p>c. Perubahan isi sampel clay shale Semarang-Bawen lebih besar sebanyak 45.3% terhadap perubahan isi sampel shale Hambalang.</p> <p>d. Perubahan pengembangan sebanyak kadar mineral clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang secara kualitatif dan kuantitatif berbeda.</p> <p>e. Clay shale Semarang-Bawen memiliki 50% mineral lempung Smektit sedangkan clay shale Hambalang memiliki mineral lempung Kaolinit 30% dan Illit 20%, dan juga memiliki mineral Kuarza sebanyak 30%.</p> <p>f. Mineral Smektit sudah dikenal pasti mengakibatkan pengembangan dan penyusutan yang jauh lebih besar bila dibandingkan Kaolinit dan Illit.</p> <p>g. Dari penelitian uji batas Atterberg diperoleh PI clay shale Semarang-Bawen sebanyak 29.2% dan termasuk kategori potensi pengembangan tinggi.</p> <p>h. Clay shale Hambalang memiliki PI sebanyak 11% sehingga termasuk kategori pengembangan moderat.</p>

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

8.1 Kesimpulan

Dalam bab ini, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil penelitian serta analisis dan pembahasan penelitian kasuspelapukan terhadap kekuatan geser clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang. Kesimpulan juga disokong daripada penentuan parameter skestabilan lereng pada kasus gelongsoran di Jalan Tol Semarang-Bawen STA 19+250 dalam disain geoteknik dengan pengurangan magnitud parameter disain untuk clay shale dalam skestabilan lereng.

Perbedaan sifat indeks, fisik dan mekanik yang terjadi antara clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang disebabkan oleh perbedaan sejarah formasi geologi serta perbedaan mineral secara kualitatif dan kuantitatif. Clay shale Semarang-Bawen di Jawa Tengah adalah merupakan formasi Kerek, dengan kadar utama terdiri dari mineral lempung Smektit sebanyak 50% dan mineral Karbonat Kalsit sebanyak 30%. Manakala clay shale Hambalang di Sentul Jawa Barat merupakan formasi Jatiluhur, dengan kadar utama berupa mineral lempung Kaolinit sebanyak 30% dan mineral lain berupa Kuart sebanyak 30%. Kadar mineral yang berlainan telah menyebabkan kasuspelapukan yang berbeda ke atas sifat-sifat indeks dan fisik serta perilaku kekuatan geser bagi kedua-dua clay shale tersebut.

Perilaku sifat fisik clay shale akibat pelapukan pada proses siklus pembasahan dan pengeringan lebih signifikan perubahannya dibandingkan dengan proses pengeringan pada masa yang sama. Perilaku ini dapat dilihat dari perubahan distribusi ukuran butiran akibat proses pelapukan. Dalam tempoh 80 hari, pengurangan ratio disintegritas D_R adalah 0.915. Manakala siklus pembasahan dan pengeringan dengan 1 kali pembasahan dalam 8 hari dalam tempoh 80 hari D_R adalah 0 pada clay shale Semarang-Bawen (*completely non durable*) dan D_R menjadi 0.147 pada clay shale Hambalang. Ini menunjukkan kualitatif dan kuantitatif pembasahan sangat mempengaruhi perubahan ratio disintegritas (D_R). Semakin banyak proses pembasahan yang terjadi dalam suatu masa tertentu, (yaitu semakin cepat proses pelapukan terjadi), maka semakin kecil ratio disintegritasnya. Kadar pengurangan kekuatan geser clay shale Semarang-Bawen lebih tinggi bila dibandingkan clay shale Hambalang. Begitu juga dengan pengurangan ratio disintegritas D_R . Pada masa yang sama akibat siklus pembasahan dan pengeringan, ratio disintegritas clay shale Semarang-Bawen lebih kecil apabila dibandingkan dengan clay shale Hambalang. Manakala pengembangan clay shale Semarang-Bawen lebih tinggi bila dibandingkan clay shale Hambalang. Oleh karenanya dapat disimpulkan bahwa clay shale Semarang-Bawen lebih aktif dan lebih sensitif apabila dibandingkan dengan clay shale Hambalang, karena clay shale Semarang-Bawen memiliki kadar mineral Smektit yang cukup besar yaitu sebanyak 50%.

Pelapukan mengakibatkan pada parameter ratio disintegritas D_R . Pelapukan melalui proses siklus pembasahan dan pengeringan menghasilkan ratio disintegritas D_R yang lebih kecil berbanding dengan proses pengeringan pada masa pelapukan yang sama. Apabila D_R lebih kecil bermakna clay shale lebih cepat terpelapukan.

8.2 Saran

Untuk permasalahan kestabilan lereng pada clay shale pada masa depan, metode yang betul adalah perlu bagi penelitian lapangan sebenar pada lereng. Perkara utama yang perlu ditentukan dalam penelitian ialah geologi terperinci pada lapangan

lereng clay shale yang ada keruntuhan pada masa lalu, tanpa harus melakukan kerja-kerja galian terlebih dahulu. Penelitian ini perlu dilengkapi dengan penelitian topografi untuk memberi gambaran sebenar yang terjadi pada lapangan. Penelitian kasus dapat dilanjutkan pada keruntuhan lereng clay shale yang terjadi tanpa adanya kerja-kerja galian untuk validasi penentuan kekuatan geser yang terjadi daripada uji di laboratorium.

Selanjutnya disarankan juga supaya melakukan ujian kekuatan geser pada tegangan puncak hingga tegangan sisa akibat pelapukan dengan menggunakan metode kekuatan geser yang lain seperti kotak geser langsung pembalikan (*reversal direct shear box*). Ujian laboratorium kekuatan geser sisa tersebut juga dicadangkan supaya dikaji dengan metode sistem tahap berbilang.

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..*
- ASTM D 422-72 (1989). Standard Method for Particle-Size Analysis of Soils. *Annual Book for ASTM Standard*.
- ASTM D 653-88 (1989). Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 854-83 (1989). Test Method for Specific Gravity of Soils. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 2216-80 (1989). Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil, Rock, and Soil-Aggregate Mixtures. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 2850-87 (1989). Test Method for Unconsolidated Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression. 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*

- Briaud, J. L., Zhang, X. and Moon, S. (2003). Shrink Test-Water Content Method for Shrink and Swell Predictions. *Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering* , Vol.129 No.7, July 1, 2003 : 590-600.
- Chen, F. H. (1988). *Foundation on Expansive Soil, 2nd Edition, Ersevier, New York.*
- Effendi, A. C. (1974). Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa Bandung, Indonesia: Direktorat Geologi Bandung.
- 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.*
- Fauziah, A. and Syukri (2006). Characterization and Geotechnical Properties of Penang Residual Soils with Emphasis on Landslides. *American Journal of Environmental Sciences, Vo.2 (4): 121-128, 2006.*
- Fityus, S. G., Smith, D. W. and Allman, M. A. (2004). Expansive Soil Test Site Near Newcastle. *Jornal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE / JULY 2004.*
- Gartung, E. (1986). Excavation of The Hard Clays of The Keuper Formation. *Proceeding of Symposium Geotechnical Engineering Divission, Seatle, 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.*
- Geoinves (2014). Laboratory and Field Soil Test Equitment. In *Company Profile PD. Laboratorium Teknik Sipil Geoinves.*
- .
- 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.*
- Himawan, A. (2013). Alternatif Mitigasi Kelongsoran dan Perkuatan Lereng Galian Tower SUTT STA 19+255 Pembangunan Jalan Tol Semarang - Solo Tahap I Ruas Ungaran - Bawen Paket V Tinalun - Lemah Ireng STA 18+000 - 21+825 In *Technical Report LAPI ITB PT.*
- Indrawan, I. G. B., Rahardjo, H. and Leong, E. C, (2006). Effects of Coarse-Grained Materials on Properties of Residual Soil. *Journal of Engineering Geology 82, 154-164.*

- Irsyam, M. Denny, T., Imam, D. S., Suyud, R. K. and Abdul H. T. (1999). Solving Landslide Problem in Shale Cut Slope in The Construction of The Valve Chamber of The TULIS Hydro Electric Power Power. *Proceeding of the '99 Japan Korean Joint Symposium on Rock Mechanics*.
- 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 Decemebr 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.
- Olsen, H. W., Krosley, L., Nelson, K., Chabrilat, S., Goetz, A. F. H. and David, C. N. (2000). Mineralogy-Swelling Potential Relationships For Expansive Shales
- Panjaitan, and Sumitro. (2000). Pengaruh Perubahan Siklus Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Kuat Tekan Tanah Mengembang dengan Kondisi Awal Slurry dan Pematatan Statik Optimum, Fakultas Pasca Sarjana ITS, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Surabaya.
- Petrosol, PT. (2012). Laporan Akhir Pekerjaan Penyelidikan Tanah Untuk Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Tahap I. In *Technical Report PT. Adhi Karya*,.
- Pineda, J.A., Alonso, E. E. and Romero, E. (2014a). Environmental degradation of claystones. *Geotechnique*, 64 64-82 (2014)
- Pineda, J. A., Romero, E., De Gracia, M. and Sheng, D. (2014b). Shear strength degradation in claystones due to environmental effects', . *Geotechnique*, 64 493-501 (2014).

- Sadisun, I. A., Shimadai, H., Ichinosei, M. and Matsui, K. (2005). Study on the physical disintegration characteristics of Subang claystone subjected to a modified slaking index test. *Geotechnical and Geological Engineering (2005) 23: 199–218*.
- 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., Bandonu, 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*.
- Sadisun I, A., Hideki, S., Ichinose, M. and Matsui, K. (2002). An experimental study of swelling strain in some argillaceous rocks by means of an improvedunconfined swelling test. *Rock Engineering Problems and Approches in Underground Constuction, Choi, Ryu, Jeon & Moon (eds)*.
- Sadisun, I. A., Hideki, S., Ichinose, M. and Matsui, K. (2003). Experimental Insights on the Characteristics of Rock Slaking with Particular Reference to the Sedimentary Argillaceous Rocks. *Department of Geology, Bandung Institute of Technology, INDONESIA*.
- Sadisun, I. A., Hideki, S. and Matsui, K. (2001). Determination of Strength Degradation of Subang Formation Claystone Due to Weathering. Paper presented at Proceeding of the 3rd Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment (ASEGE) at Yogyakarta, September 3 - 6, 2001.
- Sarman, R. and Shakoor, A. (1994). A Multiple Regression Approach To Predict Swelling in Mudrocks. *Bulein of The Association of Engineering Geologists, Vol. XXXI No.1, pp. 107-121*.
- Shakoor, A. and Brock, D. (1987). Relationship Between Fissility, Composition, and Engineering Properties of Selected Shales From Northeast Ohio. *Buletin of The Association of Engineering Geologists , Vol XXIV, No.3, pp. 363-379*.
- 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 Tecnical Forum Geohazards Impacting Transportation In The Appalachian Region, Columbus Ohio USA*.

Skempton, A. W. (1977). *Slope Stability of Cuttings in Brown Clay*. Tokyo.

.

Thanden, R.E., Sumadirdja, H., Richard, P.W., Sutisna, K. and Amin, T.C, (1996). Lembar Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Sheets, Jawa. Bandung: Puslitbang Geologi Bandung.

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.

..

Wikipedia (2015). Jalan Tol Trans Jawa https://id.wikipedia.org/wiki/Jalan_Tol_Trans_Jawa.

LAMPIRAN A



Gambar L 1 Peralatan uji tri-axial di makmal Geoinves, Jakarta, Indonesia



Gambar L 2 Uji perubahan berat isi pada proses pengeringan dan ruang pengeringan



Gambar L 3 Pengambilan sampel pada lokasi Semarang Bawen dan Hambalang