

# JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

## Pengaruh Proses Pelapukan *Clay Shale* terhadap Perubahan Parameter Rasio Disintegritas ( $D_R$ )

**Idrus M Alatas**

Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN) Jl. M. Kahfi II Jagakarsa, Jakarta 12620  
E-mail: hb\_idrus@yahoo.com

**Pintor T. Simatupang**

Departemen Teknik Sipil , Universitas Mercu Buana (UMB) Jakarta  
E-mail: simatukm@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh sering terjadinya kegagalan desain geoteknik pada clay shale yang disebabkan oleh pelapukan. Rasio disintegritas adalah perbandingan perubahan fisik akibat pelapukan pada waktu tertentu terhadap kondisi awalnya. Perubahan sifat fisik clay shale akibat pelapukan ditentukan dengan rasio disintegritas ( $D_R$ ). Pelapukan clay shale akan lebih cepat terjadi akibat siklus pembasahan dan pengeringan bila dibandingkan dengan proses pengeringan. Manakala akibat bertambah jumlah pembasahan dan pengeringan pada waktu yang sama, menyebabkan pelapukan pada clay shale akan lebih cepat lagi. Sampai hari ke-80 dari waktu pengeringan,  $D_R$  clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang besarnya adalah sama yaitu  $D_R = 0,916$  (completely durable). Sedangkan akibat siklus pembasahan dan pengeringan di hari ke-32, clay shale Semarang-Bawen  $D_R = 0,000$  atau completely non durable, manakala pada clay shale Hambalang  $D_R =$  antara 0,2117 hingga 0,3344. Pada umumnya clay shale Semarang-Bawen akan lebih cepat melapuk bila dibandingkan clay shale Hambalang. Ini terjadi karena perbedaan kandungan mineralogi. Clay shale Semarang-Bawen didominasi oleh mineral Smectite, sedangkan clay shale Hambalang didominasi mineral Kaolinite dan Illite.

**Kata-kata Kunci:** Rasio disintegritas, clay shale, pelapukan, proses pengeringan, proses pembasahan dan pengeringan.

### Abstract

The background of this research because of the frequent occurrence of the failure in the geotechnical design of clay shale caused by weathering. Disintegration ratio is a comparison of physical changes due to weathering at certain times of the initial conditions. Changes in physical properties due to clay shale weathering determined by the disintegration ratio( $D_R$ ). Clay shale weathering will occur more quickly as a result of wetting and drying cycles when compared with the drying process. While due to the increased number of cycles of wetting at the same time, causing weathering on clay shale will be faster again. Until the 80th day of drying time, the magnitude  $D_R$  of Semarang-Bawen clay shale and Hambalang are the same, namely  $D_R = 0.916$  (completely durable). However, due to wetting and drying cycles on day 32, samples of Semarang-Bawen clay shale is  $D_R = 0.000$  or non durable completely, while on Hambalang clay shale in same day  $D_R$  between 0.2117 to 0.3344. Generally Semarang-Bawen clay shale will be faster weathered than Hambalang clay shale. It is caused by the mineralogy content of Semarang-Bawen clay shale has dominated by Smectite, and Hambalang clay shale has dominated mineral Kaolinite and Illite.

**Keywords:** Disintegrasi rasio, clay shale, weathering, drying process, wetting drying process.

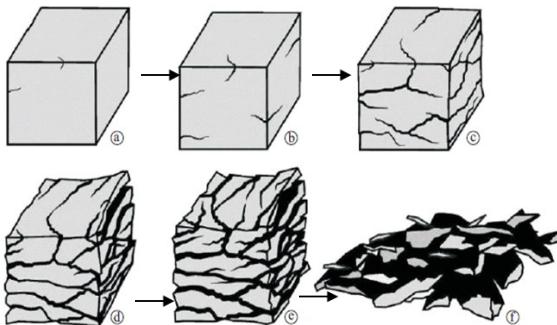
### 1. Pendahuluan

Clay shale adalah batuan lempung dimana jenis batuan sedimen yang sering dijumpai dalam struktur tanah di Indonesia khususnya di Hambalang, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, serta pada jalur Jalan Toll Semarang-Bawen Jawa Tengah dan daerah lain di Indonesia (Sadisun, et al., 2010; Irsyam, dkk., 2011). Tanah jenis ini memiliki kekuatan geser yang tinggi, akan tetapi kekuatan gesernya akan cepat menurun apabila berhubungan dengan atmosfer atau hidrosfer yang banyak mengandung Oksigen serta Hidrogen. Kekuatan geser tanah didapatkan menurun secara drastik apabila tanah tersebut terganggu, terpelapukan (Gartung, 1986), dan kehilangan tegangan akibat pekerjaan galian

(Irsyam, dkk., 2011). Jika diuji di laboratorium, nilai 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 pengaruh penurunan kekuatan geser yang signifikan.

Secara umumnya pelapukan dapat didefinisikan sebagai proses perubahan batuan yang berlaku di bawah pengaruh atmosfer dan hidrosfer. Perubahan tersebut terjadi dalam bentuk penyepian fisik dan penguraian kimia. Di kawasan iklim tropika, proses ini lebih sering terjadi bila dibandingkan pada keadaan iklim lainnya. **Gambar 1** di bawah ini adalah suatu

ilustrasi proses kehancuran *clay shale* akibat pelapukan (Sadisun, et al., 2010).



**Gambar 1. Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap waktu akibat proses pelapukan**  
(Sadisun, et al., 2010)

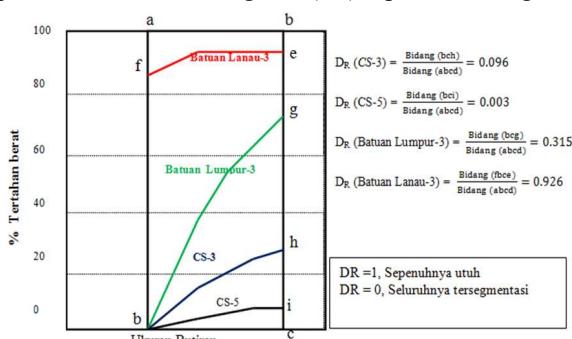
Terdapat parameter dari dua pengujian yang seharusnya diketahui untuk jenis tanah ini, yang tidak diperlukan bagi tanah lempung lain yaitu:

1. *Slake Durability Index* (ASTM D 4644-87, 1989).
2. Rasio disintegritas/ *Disintegration ratio*, menggunakan pengujian distribusi butiran ASTM D 422-72, 1989.

Di dalam penelitian ini yang digunakan adalah rasio disintegritas ( $D_R$ ), karena dengan rasio disintegritas dapat diukur perubahan fisik *clay shale* akibat terjadinya proses pelapukan.

## 2. Rasio Disintegritas ( $D_R$ )

Untuk mendapatkan pengaruh dari proses pelapukan, maka proses pelapukan *clay shale* di Laboratorium dibuat dengan proses pengeringan serta proses siklus pembasahan dan pengeringan. Pada proses pengeringan, *clay shale* ditempatkan di dalam suatu ruangan pengeringan yang dapat terkontak dengan atmosfera, akan tetapi terlindung dari hidrosfera. Pada siklus pembasahan dan pengeringan, *clay shale* dibasahi dengan cara merendam didalam air selama 5 menit, kemudian dikeringkan di udara terbuka. Frekuensi perendaman dibuat bervariasi, dimulai dari 1x, 2x dan 3x dalam interval waktu 8 hari. Ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kerapatan pembasahan terhadap percepatan pelapukan *clay shale*. Rasio Disintegritas ( $D_R$ ) dilakukan dengan ujian analisis saringan. Cara penentuan rasio disintegritas ( $D_R$ ) diperoleh dari grafik

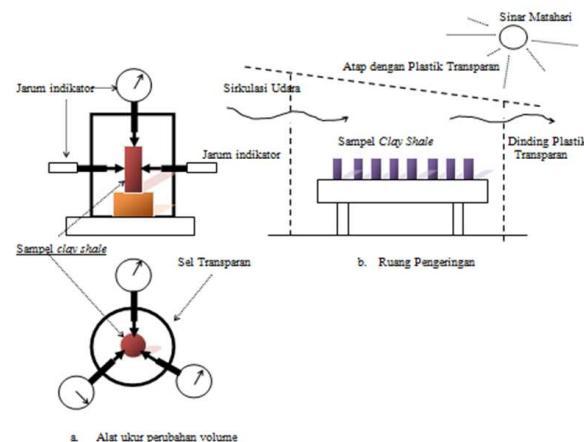


**Gambar 2. Penentuan rasio disintegritas ( $D_R$ ) dengan hasil uji analisis ayakan** (Erguler, et al., 2009)

persentase tertahan dan diameter butiran, seperti yang sampaikan pada Shakoor, et al. (2011) pada **Gambar 2**. Nilai  $D_R$  berkisar antara 0 hingga 1.  $D_R = 1$ , artinya pada *clay shale* sebelum terjadi pelapukan tidak tersegmentasi menjadi butiran yang lebih kecil (*completely durable*). Sedangkan bila  $D_R = 0$  artinya *clay shale* telah seluruhnya tersegmentasi menjadi partikel-partikel yang kecil *completely non durable* (Shakoor, et al., 2011).

## 3. Proses Pengeringan dan Siklus Pembasahan Pengeringan

Metodologi pengeringan *clay shale* dilakukan dalam pengeringan yang transparan dan dapat ditembus sinar matahari, namun terproteksi terhadap air hujan. Ruangan pengeringan *clay shale* dapat dilihat ada **Gambar 3(b)**. Manakala pengujian perubahan volume *clay shale* dilakukan dengan menempatkan sampel *clay shale* pada alat ukur perubahan volume berupa sel transparan yang dapat diisi oleh air serta dapat dikeringkan dengan membuka katup saluran pembuangan. Perubahan sampel akibat proses pengeringan dan pembasahan dalam arah vertikal, ditempatkan 1 buah *dial* indikator untuk menentukan perubahan tinggi sampel. Sedangkan perubahan dalam arah horizontal ditempatkan 3 buah *dial* indikator untuk menentukan perubahan diameter sampel. Penempatan *dial* indikator pada alat ukur perubahan volume dapat dilihat pada **Gambar 3(a)**.



**Gambar 3. Metodologi pelapukan *clay shale* dengan proses pengeringan di laboratorium**

Jadwal perendaman dalam siklus pembasahan dan pengeringan *clay shale* disusun berdasarkan **Tabel 1, 2** dan **3**, dimana siklus tersebut dilakukan selama 80 hari.

Untuk menentukan rasio disintegritas ( $D_R$ ), maka dilakukan pengujian analisis saringan dari waktu yang telah ditentukan atas sampel *clay shale* yang telah melalui proses pelapukan pengeringan maupun siklus pembasahan dsan pengeringan. Pengujian ini dilakukan pada sampel yang sama seberat 1000 grm dan dilakukan terus menerus pada waktu yang ditentukan. Sementara untuk mengetahui perubahan fisik *clay shale* akibat proses pelapukan disiapkan sampel lainnya yang terpisah untuk dilihat perubahannya, seperti pada **Gambar 4** dan **Gambar 8**.

**Table 1. Jadwal ujian dilaboratorium sampel terganggu pada proses siklus pembasahan dan pengeringan (1 kali rendam/8 hari, hingga Waktu 80 hari)**

Ujian Laboratorium	Waktu (Hari)									
	0	4	8	12	16	diteruskan ...	72	76	80	
Kadar Air (w)	✓					✓	diteruskan ...	✓		✓
Analisis Saringan	✓	Rendam 5 min.				✓	diteruskan ...	✓		✓
Pengukuran perubahan volume	✓					✓	diteruskan ...	✓	Rendam 5 min.	✓

**Table 2. Jadwal ujian dilaboratorium sampel terganggu pada proses siklus pembasahan dan pengeringan (2 kali rendam/8 hari, hingga Waktu 80 hari)**

Ujian Laboratorium	Waktu (Hari)														
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	diteruskan ...	72	74	76	78	80
Kadar Air (w)	✓				✓					diteruskan ...	✓				✓
Grained size distribution (GSD)	✓	Rendam 5 min.		Rendam 5 min.	✓	Rendam 5 min.		Rendam 5 min.		diteruskan ...	✓				✓
Pengukuran perubahan volume	✓				✓					diteruskan ...	✓	Rendam 5 min.			✓

**Table 3. Jadwal ujian dilaboratorium sampel terganggu pada proses siklus pembasahan dan pengeringan (3 kali rendam/8 hari, hingga Waktu 80 hari)**

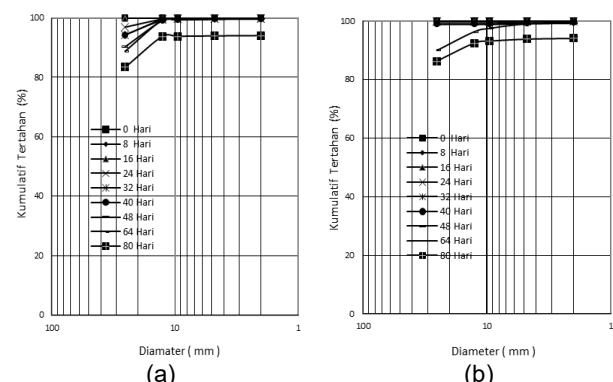
Ujian Laboratorium	Waktu (Hari)														
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	diteruskan ...	72	74	76	78	80
Kadar Air (w)	✓				✓					diteruskan ...	✓				✓
Grained size distribution (GSD)	✓	Rendam 5 min.	Rendam 5 min.	Rendam 5 min.	✓	Rendam 5 min.	Rendam 5 min.	Rendam 5 min.		diteruskan ...	✓				✓
Pengukuran perubahan volume	✓				✓					diteruskan ...	✓	Rendam 5 min.			✓

#### 4. Analisis dan Pembahasan

Perubahan sifat fisik *clay shale* Semarang-Bawen dan *clay shale* Hambalang akibat proses pengeringan dalam waktu 80 hari hasilnya seperti pada **Gambar 4**. Secara kuantitatif perubahan fisik tersebut digambarkan dalam distribusi butiran akibat proses pengeringan seperti **Gambar 5**. Dari **Gambar 5** tersebut dapat dilihat terjadinya sedikit perbedaan perilaku pada kedua *clay shale* tersebut didalam pelapukan akibat proses pengeringan. *Clay shale* Semarang-Bawen di dalam **Gambar 5(a)** sudah terjadi perubahan yang signifikan dimulai dari hari ke-24 dari waktu pengeringan. Sedangkan pada *clay shale* Hambalang di dalam **Gambar 5(b)** hal serupa mula terjadi pada waktu 48 hari proses pengeringan.



**Gambar 4. Perubahan bentuk butiran *clay shale* Semarang-Bawen dan Hambalang akibat proses pengeringan hingga waktu 80 hari**



**Gambar 5. Perubahan gradasi butitan *clay shale* akibat proses pengeringan (a) *clay shale* Semarang-Bawen (b) *clay shale* Hambalang**

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada *clay shale* Semarang-Bawen pada **Gambar 6** memperlihatkan bahwa semakin banyak jumlah pembasahan yang terjadi dalam setiap 8 hari akan menyebabkan pelapukan semakin lebih besar. Hal tersebut terlihat dari perubahan gradasi butiran, dengan dilakukan 3 kali pembasahan dalam 8 hari akan lebih cepat terjadi pelapukan bila dibandingkan dengan 2 kali pembasahan dalam 8 hari. Seterusnya pembasahan 2 kali dalam 8 hari, akan lebih cepat terjadi pelapukan bila dibandingkan dengan 1 kali pembasahan dalam 8 hari.

Pada **Gambar 6**, sifat fisik *clay shale* Semarang-Bawen yang dilakukan perendaman 1 kali dengan waktu 5 menit dalam setiap 8 hari, di hari ke-24 ukuran

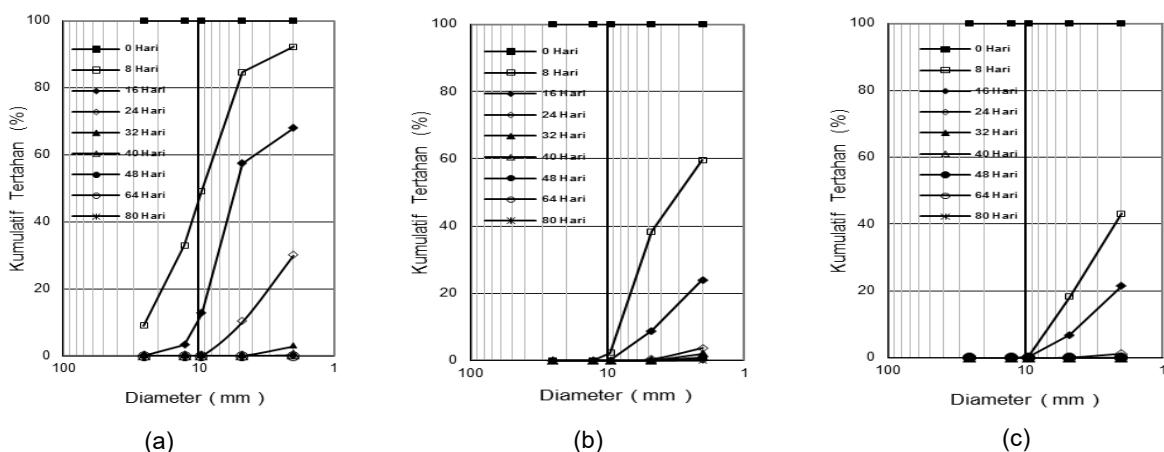
butiran 2 mm yang tertahan adalah 29,9%. Pada hari yang sama dengan perendaman 2 kali dalam setiap 8 hari ukuran butiran 2 mm yang tertahan sebanyak 3,8%, dan dengan perendaman 3 kali dalam setiap 8 hari adalah 1,3%. Pada waktu siklus pembasahan dan pengeringan lebih lama dari 24 hari dengan pembasahan 3 kali dalam setiap 8 hari menunjukkan ukuran butiran 2 mm yang terlahan lebih kecil daripada 3,8% (antara 0% hingga 3,8%).

Akibat siklus pembasahan dan pengeringan, perilaku sifat fisik *clay shale* Hambalang berbeda secara kuantitatif didalam perubahan gradasi butiran bila dibandingkan dengan *clay shale* Semarang-Bawen. Pada Gambar 7 sifat fisik *clay shale* Hambalang yang dilakukan perendaman 1 kali dalam setiap 8 hari, di hari ke-24 ukuran butiran 2 mm yang tertahan adalah 84,6%. Pada hari yang sama dengan perendaman 2 kali dalam setiap 8 hari ukuran butiran 2 mm yang tertahan adalah 82%, dan dengan perendaman 3 kali dalam setiap 8 hari adalah 60,8%. Pada waktu siklus pembasahan dan pengeringan lebih lama dari 24 hari dengan pembasahan 3 kali dalam setiap 8 hari menunjukkan ukuran butiran 2 mm yang

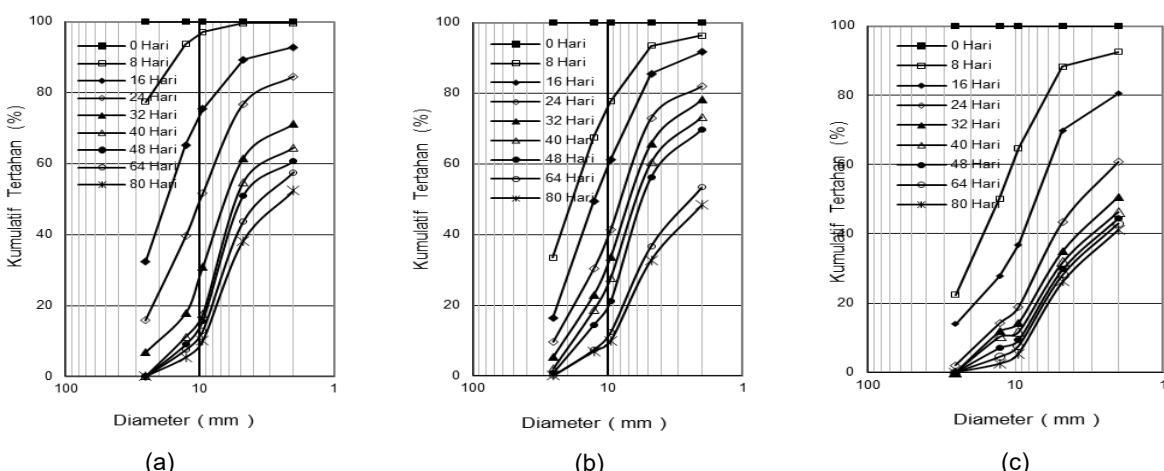
terlahan lebih kecil daripada 60,8% (antara 41,2% hingga 60,8%). Perubahan fisik *clay shale* Semarang-Bawen dan Hambalang akibat siklus pembasahan dapat dilihat pada Gambar 8.



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

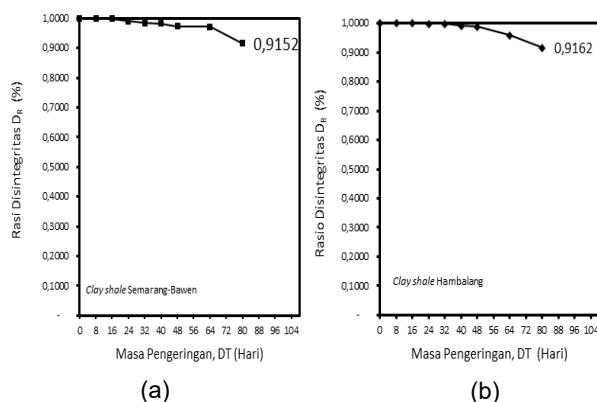


**Gambar 6. Perubahan distribusi ukuran butiran *clay shale* Semarang-Bawen akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari**



**Gambar 7. Perubahan 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**

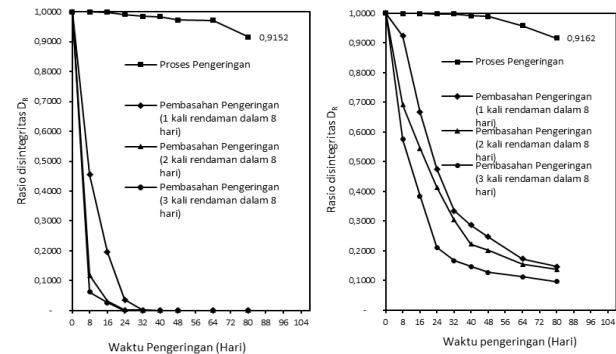
Perubahan rasio disintegritas ( $D_R$ ) akibat proses waktu pengeringan hingga hari ke-80 waktu pengeringan *clay shale* Semarang-Bawen mencapai 0,9152 manakala pada *clay shale* Hambalang 0,9162. Akibat proses pengeringan hingga waktu 80 hari, kedua *clay shale* tersebut memiliki perilaku perubahan *durability* dengan nilai rasio disintegritas  $D_R$  yang tidak terlalu berbeda. Tanpa pengaruh terkontak dengan hidrosfer, *clay shale* masih memiliki *durability* yang cukup baik sehingga masih memiliki  $D_R$  yang hasilnya mendekati 1,00. Hasil pengaruh waktu pengeringan hingga 80 hari terhadap penurunan  $D_R$  dapat dilihat pada **Gambar 9**.



**Gambar 9. Perubahan rasio disintegritas ( $D_R$ ) *clay shale* akibat proses waktu pengeringan  
(a) *clay shale* Semarang-Bawen  
(b) *clay shale* Hambalang**

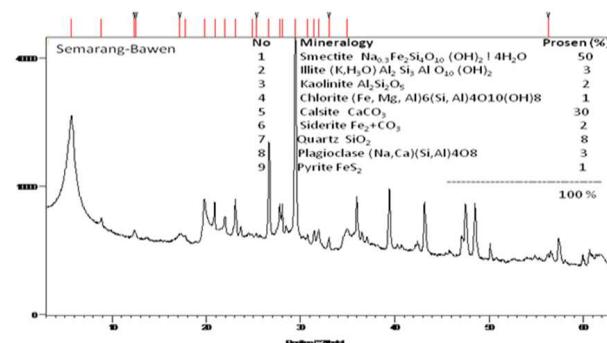
Pengujian *clay shale* akibat siklus pembasahan dan pengeringan selama waktu 80 hari dilakukan dengan melakukan variasi jumlah rendaman dalam pada waktu 8 hari. Variasi jumlah rendaman tersebut adalah 1 kali rendaman, 2 kali rendaman dan 3 kali rendaman pada waktu 8 hari. Pada setiap waktu 8 hari dilakukan pengujian analisis ayakan. Dari pengujian ini diperoleh hubungan antara kumulatif tertahan (%) dan diamater (mm), yang selanjutkan dihitung  $D_R$  seperti pada **Gambar 2**. Perhitungan  $D_R$  ini dilakukan pada tiap-tiap waktu pengeringan dan waktu siklus pembasahan dan pengeringan.

Dari hitungan rasio disintegrasi  $D_R$  seperti dilihat pada **Gambar 10** menunjukkan pengaruh dari kekerapan rendaman dalam waktu 8 hari sangat mempengaruhi perubahan  $D_R$ . Semakin kerap jumlah rendaman dalam waktu 8 hari, maka semakin besar penurunan  $D_R$  yang terjadi. Hal ini terjadi pada *clay shale* Semarang-Bawen dan Hambalang. Pada **Gambar 10** juga terlihat bahwa dua proses terjadinya luluhan yaitu proses pengeringan dan siklus pembasahan pengeringan memberikan akibat yang sangat berbeda terhadap  $D_R$ . Sehingga pada waktu pengeringan 80 hari,  $D_R$  untuk *clay shale* Semarang-Bawen sebanyak 0,9152. dan untuk *clay shale* Hambalang 0,9162. Sedangkan pada waktu yang sama akibat rendaman 1 kali dalam 8 hari,  $D_R$  *clay shale* Semarang-Bawen  $D_R = 0,000$  (*completely non durable*) dan *clay shale* Hambalang  $D_R = 0,1467$ . Manakala pada *clay shale* Semarang-Bawen  $D_R = 0,000$  telah terjadi pada waktu 32 hari dengan 3 kali rendaman pada waktu 8 hari.

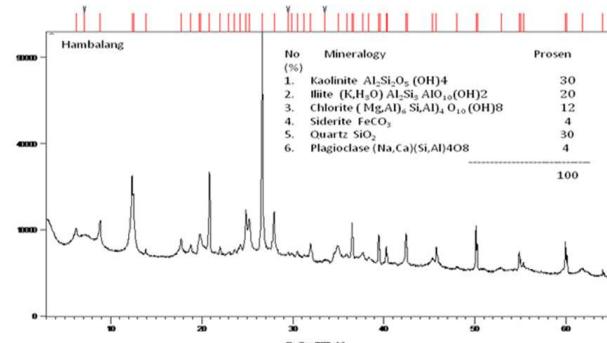


**Gambar 10. Perbandingan perubahan  $D_R$  *clay shale* akibat waktu pengeringan dan waktu siklus pembasahan pengeringan (a) *clay shale* Semarang-Bawen (b) *clay shale* Hambalang**

Untuk mengetahui keadaan yang lebih detail dari *clay shale* Semarang-Bawen dan Hambalang, maka dilakukan uji mineralogi dengan *X-Ray Defraction* serta SEM (*Scanning Electron Mikroscope*). Pengujian mineralogi dari kedua sampel *clay shale* menunjukkan jenis serta prosentase mineralogi yang berbeda. *Clay shale* Semarang-Bawen mineral lempung yang utama adalah Smectite sejumlah 50%, sedangkan Hambalang mineral lempung yang utama adalah Kaolinite 30% dan Chlorite 20%. Mineral karbonat yang utama pada *clay shale* Semarang-Bawen adalah Calsite sebesar 30%, sedangkan pada *clay shale* Hambalang adalah Siderite 6%. Hasil uji XRD kedua *clay shale* dapat dilihat pada **Gambar 11** dan **Gambar 12**.



**Gambar 11. Hasil X Ray Defraksi *clay shale* Semarang-Bawen (LEMIGAS, 2015)**



**Gambar 12. Hasil X Ray Defraksi *clay shale* Hambalang (LEMIGAS, 2015)**

## 5. Kesimpulan

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hingga hari ke-80 masa pengeringan, rasio disintegritas ( $D_R$ ) *clay shale* Semarang-Bawen mencapai 0,9152 manakala pada *clay shale* Hambalang  $D_R$  sebesar 0,9162. Kedua *clay shale* tersebut akibat proses pengeringan tidak signifikan terhadap perubahan  $D_R$ . Tanpa pengaruh reaksi dengan hidrosfer, *clay shale* masih memiliki *durability* yang cukup baik.
2. Pengaruh dari kekerapan rendaman sangat mempengaruhi perubahan rasio disintegritas ( $D_R$ ). Semakin kerap jumlah rendaman, atau semakin sering *clay shale* terkena air, maka makin besar penurunan  $D_R$  yang terjadi. Hal ini terjadi pada *clay shale* Semarang-Bawen dan Hambalang. Pada hari ke-80 akibat rendaman 1 kali dalam 8 hari, rasio disintegritas *clay shale* Semarang-Bawen  $D_R=0,000$  (*completely non-durable*) dan Hambalang  $D_R=0,1467$ . Pada *clay shale* Semarang-Bawen  $D_R=0,000$  telah terjadi pada hari ke 32 dengan 3 kali rendaman pada masa 8 hari.
3. Pelapukan *clay shale* Semarang-Bawen yang didominasi mineral Smectite (50%) akibat proses siklus pembasahan pengeringan lebih cepat terjadi bila dibandingkan *clay shale* Hambalang yang didominasi mineral Kaolinite dan Illite (50%).

## 6. Ucapan Terima Kasih

Kami sampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ir. Masyhur Irsyam MSE dari Institut Teknologi Badung (ITB) atas konsultasi dan diskusi yang telah dilakukan selama penelitian ini dilakukan.

## Referensi

- ASTM, D 4644-87, 1987, Standard Test Method for Slake Durability os Shales and Similar Weak Rocks In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM, D 422-72, 1972, Standard Method for Particle-Size Analysis of Soils. *Annual Book for ASTM Standard*.
- Erguler, Z.A., Shakoor, A., 2009, Quantification of Fragment Size Distribution of Clay-Bearing Rocks after Slake Durability Testing, *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. XV, No. 2, May 2009, pp. 81–89.
- Gartung, E., 1986, Excavation of The Hard Clays of The Keuper Formation, *Proceeding of Symposium Geotechnical Engineering Divission, Seatle, Washington*.
- Irsyam, M., Jayaputra, A.A., Himawan, A., 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.*

LEMIGAS, L., 2015, SEM and XRD Report for Semarang-Bawen and Hambalang *Clay shale*, Jakarta: LEMIGAS.

Sadisun, I.A., Shimada, H., Ichinose, M., and Matsui, K., 2010, Physical DisintegRasion Characterization of Mudrocks Subjected to Slaking Exposure and Immersion Tests, *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 5 No. 4 Desember 2010: 219-225.

Shakoor, A., Tej, P.G., 2011, Assessing The Slaking Behaviour of Clay- Bearing Rock, *10th Annual Technical Forum Geohazards Impacting Transportation In The Appalachian Region, Columbus Ohio USA*.