

DAMPAK MEKANIS DARI BATU LEMPUNG YANG DISEBABKAN OLEH *SLAKING*

MECHANICAL CONSEQUENCES OF MUDSTONE INDUCED BY SLAKING

Dian Triyanto^{1*}, Andius Dasa Putra², Endro Prasetyo Wahono³

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Lampung; Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia, 35145; (0721) 701609

^{2,3}Teknik Sipil, Universitas Lampung; Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia; 35145; (0721) 701609

Received: 2022, February 2nd

Accepted: 2022, June 15th

Keywords:

Clay;

Deformation;

Slaking.

Correspondent Email:

diantriyanto93@gmail.com

How to cite this article:

Triyanto, D., Putra, A.D., & Wahono, E.P. (2022). Dampak Mekanis Dari Batu Lempung yang Disebabkan Oleh *Slaking*. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 08(03), 156-170.

Abstrak. Batuan sedimen khususnya batu lempung sampai saat ini belum banyak digunakan dalam dunia konstruksi sebagai pondasi dan material konstruksi terutama bangunan jalan, dan cenderung memiliki kualitas yang rendah karena kemampuan batu lempung yang jelek sebagai material konstruksi dan memiliki potensi deformasi yang sangat besar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh fenomena *slaking* yang memengaruhi deformasi pada batu lempung. Batu lempung yang terbentuk dari rombakan batu lainnya mengalami kompaksi dan suhu yang tinggi sehingga material tersebut menjadi padat, dan memiliki pori yang sangat kecil akibat keseragaman partikelnya. Pengujian yang dilakukan adalah analisa *X-Ray Diffraction*, *Accelerated Slaking Test*, serta *One Dimensional Compression Test*. Diketahui bahwa jenis mineral yang menyusun batuan Daerah Lemong berupa Dolomite, Boron Nitride, 3-Nitro-nitromethyl-1 H-1,2,4-triazole, dan Praseodymium. Berdasarkan hasil uji XRD tersebut dapat diketahui rata-rata penyusun batuan yang dijadikan sampel tersusun oleh mineral Kapur (dolomite), memiliki tekstur yang keras ketika padat. Berdasarkan penelitian ini menunjukkan bahwa jenis batu lempung Lemong mengalami deformasi yang sangat kecil, karena dipengaruhi adanya ukuran pori-pori butiran dalam partikel yang sangat kecil, sehingga peneliti mendapatkan solusi untuk mengetahui tingkat kemampuan batu lempung Lemong layak dijadikan material konstruksi.

Abstract. *Sedimentary rock, especially clay, has not been widely used in the world of construction as a foundation and construction material, especially road construction, and tends to have low quality due to the poor ability of clay as a construction material and has a very large potential for deformation. This study was conducted to determine the effect of the slaking phenomenon on the deformation of claystone. Claystone formed from other rock fragments undergoes compaction and*

© 2022 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi). This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

high temperatures so that the material becomes solid and has very small pores due to the uniformity of the particles. The tests carried out were the analysis of X-Ray Diffraction, Accelerated Slaking Test, and One Dimensional Compression Test. It is known that the types of minerals that make up the rocks of the Lemong area are Dolomite, Boron Nitride, 3-Nitro-nitromethyl-1 H-1,2,4-triazole, and Praseodymium. Based on the XRD test results, it can be seen that the average rock composition sampled is composed of limestone (dolomite) minerals, which have a hard texture when solid. Based on this research, it shows that the type of Lemong clay has a very small deformation, because it is influenced by the size of the grain pores in very small particles, so that researchers get a solution to determine the level of ability of Lemong clay to be suitable as a construction material.

1. PENDAHULUAN

Batuan sedimen merupakan batuan yang tersusun akibat pengendapan material hancuran dari batuan atau material lain yang memadat akibat proses kompaksi dan pemanasan. Batuan sedimen terdiri dari beberapa jenis batu salah satunya adalah batu lempung (Nofirman, 1992).

Litologi pada batuan yang mencakup batu lempung (*claystone*), batu lumpur (*mudstone*), batu lanau (*siltstone*) dan serpih (*shale*) juga dikenal sebagai *mudrocks* atau batuan sedimen yang persebarannya banyak ditemui di dunia (Nahazanan dkk., 2013). *Mudrock* merupakan batuan sedimen yang terbentuk dari susunan partikel lanau dan lempung, sehingga bentuknya cenderung melemah dan melunak ketika terkena air sehingga menimbulkan penurunan kemampuan dan stabilitas batu lumpur (Sharma, 2011) dan sangat mudah mengalami pelapukan apabila batuan tersebut mengalami proses basah dan kering secara berulang bahkan hanya satu siklus (Sharma dkk., 2017). Batu lempung terbentuk dari lumpur yang mengalami kompaksi akibat tekanan dan suhu yang sangat tinggi sehingga material tanah lempung memadat dan menjadi keras seperti batu.

Pada saat ini di Indonesia, penggunaan batu lempung dalam bidang konstruksi belum banyak, karena ketika digunakan untuk material konstruksi akan mengalami deformasi yang cukup besar, salah satunya adalah fenomena *slaking*. Fenomena *Slaking* adalah proses ketahanan pada batuan lemah

sebagai akibat aktivitas air pada batuan tersebut (Putra dkk., 2019). Siklus *slaking* secara signifikan dapat mempengaruhi proses degradasi dan distribusi perubahan ukuran partikel (Putra dkk., 2019; Putra & Kikumoto, 2016, 2017; Vallejo & Murphy, 1999). Penelitian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa penyebab distribusi ukuran partikel dan perubahan sifat mekanik adalah fenomena *slaking*, batu lempung akan mengalami penurunan durabilitas akibat degradasi yang disebut *slaking*, apabila material setelah kontak dengan air dan udara berada pada kondisi terbuka. Batu lempung memiliki sifat mekanis yang unik, pada kondisi kering, batu lempung akan menyusut dan mengeras, ketika menyerap air, batu lempung akan mengembang dan kehilangan gaya gesernya akibat beratnya sendiri, sehingga penurunan kekuatan terjadi secara tiba-tiba. Batu lempung dapat berubah menjadi tanah karena sifat kembang-susut yang dimilikinya dan dipengaruhi oleh cuaca dan iklim (Nickmann dkk., 2006, 2010). Terutama pada daerah yang memiliki perubahan drastis muka air tanah dan curah hujan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, apabila lempung kontak langsung dengan udara dan air, maka sangat mudah mengalami penurunan durabilitas dari waktu ke waktu. Lapisan lempung akan bereaksi dengan air, apabila daerah memiliki curah hujan yang cukup tinggi. (Moses & Williams, 2015). Sudah banyak dilakukan penelitian dengan menggunakan uji *slake durability* untuk mengetahui ketahanan batuan pada batuan

lemah di beberapa daerah (Chinmoy, 2010; Heidari dkk., 2015; Marques dkk., 2005; Oktaviani dkk., 2018). Batuan yang mengalami pelapukan cenderung hancur dan berubah menjadi partikel kecil yang diakibatkan adanya proses pembasahan dan pengeringan tersebut.

Dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur terutama jalan raya, beberapa titik pembangunan melewati daerah dengan keadaan geologi tersusun oleh batu lempung. Hal tersebut mengakibatkan pembangunan tersebut membutuhkan material selain batu lempung dari lokasi yang jauh, dan batu lempung di daerah pembangunan tidak digunakan, karena dengan alasan memiliki mutu yang kurang baik. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui dampak mekanis yang dialami oleh batu lempung di daerah Lemong, Kabupaten Pesisir Barat, Lampung yang diakibatkan oleh fenomena *slaking*. Dengan beberapa pengujian yang dilakukan, penelitian ini sangat penting karena dapat dijadikan sebagai pendukung referensi dalam pemanfaatan batu lempung sebagai material konstruksi.

Penelitian ini diharapkan juga dapat menambah informasi kemampuan batu lempung yang mengalami deformasi akibat fenomena *slaking*, dan dapat dijadikan rekomendasi sebagai bahan konstruksi dalam pembangunan infrastruktur khususnya jalan yang dapat dijadikan sebagai acuan awal pembangunan terutama di Provinsi Lampung. Beberapa pengujian yang dilakukan meliputi pengujian *X-Ray Diffraction*, *1D Compression Test*, *Accelerated Slaking Test*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Durabilitas adalah kemampuan material menjaga stabilitas dan integritas dalam jangka waktu yang panjang akibat pengaruh pelapukan (Chand & Subbarao, 2007). Deformasi Batu lumpur akibat *slaking* memiliki karakteristik yang berbeda karena dipengaruhi oleh adanya pori-pori intragranular dalam partikel. Evolusi grading karena *slaking* menyebabkan perubahan *irreversibel* dalam sifat mekanik batu lumpur disebabkan variasi kepadatan

dan pemadatan. Bahkan, perubahan distribusi ukuran partikel sebagai gradasi evolusi selama kompresi dapat meningkatkan kompresibilitas batu lumpur, dengan pembasahan dan pengeringan siklus menyebabkan kompresi yang signifikan meskipun tegangan efektif tetap konstan (Putra & Kikumoto, 2017).

Clay shale merupakan jenis batu lempung yang sering dijumpai pada struktur tanah di Indonesia, khususnya di Hambalang, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, dan jalur Toll Semarang Bawen Jawa Tengah dan beberapa daerah di Indonesia (Alatas dkk., 2016; Sadisun dkk., 2010). 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 didapati menurun secara drastis apabila tanah tersebut terganggu, terlapukan (Gartung, 1986) dan kehilangan tegangan akibat pekerjaan galian (Alatas dkk., 2016). Batu lempung mengalami deformasi akibat fenomena *slaking*. Fenomena ini merupakan proses penghancuran batuan akibat air melalui pembasahan dan pengeringan. Perilaku batuan lapuk telah dipelajari berupa eksperimen (Dhakar dkk., 2002; Agustawijaya, 2003; Qi dkk., 2015; Santi, 1998) melalui uji *slake durability* yang menerapkan siklus pembasahan dan pengeringan untuk mengevaluasi ketahanan batuan lapuk seperti batu serpih, batu lempung dan batu lanau. Hal ini menunjukkan bahwa siklus *slaking* secara signifikan mempengaruhi proses degradasi dan distribusi perubahan ukuran partikel (Putra & Kikumoto, 2017; Putra & Kikumoto, 2016; Putra dkk., 2019; Vallejo & Murphy, 1999). Uji *slake durability* sering digunakan untuk menilai perubahan fisik perilaku *slaking* sebagai hasil dari proses pembasahan dan pengeringan (*wetting-drying processes*) (Alatas dkk., 2016; Gautam & Shakoor, 2013; Putra dkk., 2019). Pengaruh dari kekerapan rendaman sangat mempengaruhi perubahan rasio disintegritas (DR). Semakin banyak jumlah rasio rendaman, atau semakin sering clay shale terkena air, maka makin besar penurunan DR 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 DR=0,000 (*completely non-durable*) dan Hambalang DR=0,1467 (*completely durable*). Pada *clay shale* Semarang-Bawen DR=0,000 telah terjadi pada hari ke 32 dengan 3 kali rendaman pada masa 8 hari (Alatas & Simatupang, 2017).

Batu yang mengalami fenomena slaking dapat diketahui tingkat kerusakannya dengan metode *Breakage Parameter (Br)*. Metode ini digunakan untuk melihat besar kerusakan batuan akibat mekanisme *slaking* dengan mencari luasan berdasarkan grafik uji *Accelerated Slaking Test* dengan persamaan ABCDE dan ABCD, sehingga didapatkan nilai Br sebesar 0-1. Semakin besar kerusakan batuan akibat mekanisme *slaking* maka nilai Br akan mendekati 1 (Putra & Kikumoto, 2016).

Secara umum, batu lempung Subang merupakan batuan dengan ketahanan yang rendah, dan menyebabkan hancurnya (*slaking*) batuan karena adanya kandungan mineral monmorilonit dan pirit yang memengaruhi. Pola penurunan ketahanan batu lempung Formasi Subang mengindikasikan proses pelapukan dan erosi yang berlangsung semakin cepat untuk waktu penyingkapan batuan yang lebih lama. Karakteristik ketahanan batu lempung Formasi Subang dapat menjadi informasi teknis dalam tahap desain rekayasa yang sedang dan/ atau akan berlangsung seperti pembuatan Jalan Tol Cisumdawu. Selain itu, juga dapat dicegah dampak kerugian pada tahap pemeliharaan (*maintenance*) (Misbahudin & Sadisun, 2018, 2019).

Slake durability dari *mudrocks* digunakan untuk mengetahui salah satu bentuk kerusakan yang paling umum pada batuan lumpur. Batuan ini sangat terpengaruh oleh pembasahan dan pengeringan, hal ini ditunjukkan bahwa tidak ada parameter tunggal yang dapat digunakan untuk memprediksi durabilitas semua jenis batuan lumpur. Untuk *mudrocks* yang memiliki kesamaan umur, lingkungan pengendapan, dan riwayat stress tetapi berbeda dalam komposisi (seperti *mudrock Coal Measures*),

peningkatan durabilitas slake dikaitkan dengan peningkatan kandungan kuarsa dan penurunan kandungan lempung (Akhundi dkk., 2014). Perilaku *slaking* dari *clay shale* yang dipelajari tergantung pada derajat *fissility*-nya dan apakah serpih tersebut berlumpur atau berlempung, apabila batu tersebut serpih berlempung maka mengalami fenomena *slaking* lebih besar daripada serpih berlanau, sedangkan parameter Rasio disintegrasi yang didasarkan pada distribusi ukuran butir dari material yang mengalami *slaking*, merupakan indikator dari perilaku *slaking* pada batuan yang mengandung lempung (Gautam & Shakoor, 2013).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengambil sampel di kecamatan Lemong, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung, karena pada lokasi tersebut didominasi oleh batu lempung dan pembangunan infrastruktur berupa jalan raya tepat di atas batu lempung tersebut.

3.1. Data

Data yang digunakan penelitian ini adalah sampel batu lempung yang diuji menggunakan beberapa metode. Pengambilan sampel dilakukan beberapa tahapan seperti Mencari lokasi batuan di sekitar terjadinya kerusakan jalan. Kemudian *plotting* di peta geologi sesuai lokasi terjadinya kerusakan konstruksi. Kemudian mendatangi lokasi dan mengambil sampel batuan dengan menggunakan palu geologi. Sampel diambil dengan ukuran acak berdiameter 20 – 30 cm dibawa ke laboratorium mekanika tanah.

3.2. Metode

Metode yang digunakan adalah analisa *XRD*, Analisa Geologi, *1D Compression Slaking Test*, dan *Accelerated Slaking Test*.

Analisa *XRD* merupakan contoh analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan senyawa pada batuan dengan mengamati pola pembiasan cahaya yang diakibatkan susunan atom pada kisi kristal material. Secara sederhana, prinsip kerja dari *XRD* adalah pola pantulan dan pembiasan cahaya yang khas yang diakibatkan partikel

cahaya (foton) yang datang dengan sudut tertentu mengenai susunan atom yang membentuk bidang tertentu. Jika sebuah bidang memiliki bentuk tertentu. Dengan kata lain, foton yang datang dengan sudut tertentu pada sebuah bidang dengan bentuk tertentu tidak mungkin menghasilkan pola pantulan atau pembiasan bermacam-macam.

3.2.1. *Pengujian XRD*

Pengujian *XRD* pada beberapa sampel yang bertujuan mengetahui kandungan pada setiap batuan yang diuji. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Yokohama University, Jepang.

Pengujian *XRD* digunakan untuk analisa komposisi fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi Kristal. *X-Ray Diffraction* (*XRD*) digunakan untuk mengetahui komposisi mineral dengan melihat intensitas pada sudut 2θ yang karakteristiknya berbeda untuk setiap senyawa. Untuk mengetahui struktur mineral pada material batu lempung dapat dilihat dari hasil pengujian *XRD*, dimana setiap bahan memiliki karakteristik panjang gelombang yang berbeda.

3.2.2. *Analisa Mineralogi*

Analisa mineralogi secara kualitatif dari pengujian *XRD* digunakan untuk penentuan jenis batuan. Membuat plotting pada peta geologi, kemudian membaca jenis batuan, dan sebaran batuan, lalu mendeskripsikan jenis batuan sesuai dengan mineralogi penyusunnya berdasarkan hasil dari *XRD* dan peta geologi regional.

3.2.3. *Pengujian Accelerated Slaking Test*

Pengujian ini merupakan bentuk pengamatan perilaku batuan untuk menyelidiki proses dan mekanisme *slaking* pada batuan lapukan dengan detil dan tidak diberikan tekanan pada sampel uji, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Pecahkan sampel batuan dengan menggunakan palu, kemudian disaring menggunakan saringan dan ambil sampel yang lolos saringan dengan ukuran 37,5 mm dan tertahan pada saringan dengan ukuran 9,5 mm. lalu susun sampel batuan secara rapi pada wadah dan dipastikan sampel tidak dapat berubah posisi saat direndam oleh air, selanjutnya foto sampel yang telah disusun,

lalu sampel direndam dengan air hingga sampel terendam secara penuh. Menyimpan sampel yang telah direndam pada tempat yang memiliki suhu ruangan selama 24 jam, setelah 24 jam, air sampel yang terdapat pada loyang atau wadah dikeluarkan menggunakan suntikan secara hati-hati agar posisi batuan sampel tidak ada yang berubah, kemudian memasukkan sampel ke dalam oven, lalu menyalakan oven dengan suhu 100°C selama 24 jam, setelah 24 jam, sampel dikeluarkan dan difoto, kemudian sampel direndam kembali dengan air, lakukan kembali proses pengulangan diatas, sebanyak 5 kali. Setelah pengulangan kemudian dilakukan perhitungan dengan melakukan analisa saringan terhadap sampel pada siklus ketiga dan siklus kelima. Membuat grafik perubahan ukuran partikel pada setiap sampel perbandingan antara presentase kelulusan dengan ukuran partikel. Kemudian gabungkan grafik dari siklus ketiga dan kelima pada sampel, Kemudian menghitung *Breakage Parameter* berdasarkan grafik yang didapatkan.

Pembahasan tentang *Accelerated Slaking Test* pernah dilakukan pada batu lempung, lumpur, lanau dan serpih beberapa daerah di dunia, didapatkan hasil bahwa indeks durabilitas *slake* tidak sepenuhnya mewakili sifat *slaking* dari batuan yang mengandung lempung, bahwa rasio disintegrasi adalah parameter yang lebih berarti untuk mengevaluasi perilaku *slaking* dari batuan yang mengandung lempung dalam praktik rekayasa.

Penelitian juga menyarankan bahwa setiap tindakan perbaikan yang dilakukan untuk meminimalkan *slaking* pada batuan yang mengandung lempung dalam praktik rekayasa harus dilaksanakan segera setelah batuan tersebut terkena variasi iklim (misalnya lereng yang dipotong) karena sebagian besar *slaking* terjadi selama 3-6 bulan pertama (Gautam & Shakoor, 2013). *Accelerated Slaking Test* menggunakan konsep siklus basah-kering dengan bentuk sampel batuan lapuk tidak ditentukan dan berdiameter 9,5 hingga 37,5 mm, dapat berbentuk kubus, silinder, maupun bentuk tidak beraturan dan diuji beberapa siklus, dalam satu siklus diperlukan 24 jam

pembasahan dan pengeringan menggunakan oven dengan suhu tetap 100° C. Setelah melalui 5 siklus basah-kering hal selanjutnya adalah mengamati perubahan bentuk batuan lapukan. Analisa saringan dilakukan pada siklus ketiga dan siklus kelima, sehingga didapatkan grafik perbandingan antara ukuran agregat batuan terhadap presentase lolos dari keadaan awal hingga siklus kelima (Putra & Kikumoto, 2016).

3.2.4. Pengujian 1D Compression Slaking Test

Untuk mengevaluasi adanya *slaking*, maka uji *1D Compression Slaking Test* cocok digunakan untuk mengetahui perilaku deformasi batuan lapuk dengan menggabungkan proses pembasahan dan pengeringan. Sama halnya dengan alat uji konsolidasi, uji *1D Compression Slaking Test* digunakan untuk mengetahui perbandingan antara waktu dan deformasi. Wadah spesimen yang digunakan yaitu silinder baja (cincin penahan) berukuran diameter 60 mm dan tinggi 50 mm dengan batu pori masing-masing dipasang di bagian atas dan bawah pada benda uji.

Langkah-langkah pengujian *1D Compression Slaking Test* yaitu Pemilihan sampel batuan yang lolos pada saringan no. 10 dan tertahan pada saringan no. 20. Alat uji *1D Compression Slaking Test* disiapkan, kemudian batu pori diletakkan pada bagian bawah dasar sel konsolidasi dan dilapisi dengan kertas saringan dan letakkan cincin penahan di atas cincin cetak, sampel batuan kemudian diletakkan ke dalam cincin penahan kira-kira 1/3 kemudian benda uji ditumbuk sebanyak 100 kali, masukkan lagi benda uji 2/3 lalu ditumbuk 100 kali, kemudian benda uji dimasukkan sampai penuh lalu ditumbuk 100 kali.

Setelah itu ratakan menggunakan spatula, lalu letakkan batu pori bagian atas benda uji dan lapisi dengan kertas saringan. Pembebanan dilakukan secara bertahap yaitu (9, 8, 19, 6, 39, 2, 78, 5, 157, 314 kPa). Waktu untuk setiap pembebanan yaitu 30 menit, setelah dilakukan pembebanan dilakukan proses pembasahan selama 24 jam kemudian dilakukan proses pengeringan selama 6 jam. proses pembasahan dan pengeringan dilakukan

selama 3 kali pengulangan. Pada proses pengeringan akhir, benda uji dioven selama 24 jam lalu diayak dengan gerakan memutar horizontal tanpa mengoyak secara vertikal. Pengujian *1D Compression Slaking Test*, sebelumnya juga pernah dilakukan dengan pembebanan dilakukan secara vertikal dan kemudian dilakukan pembacaan dial. Pembebanan dilakukan secara bertahap yaitu (9, 8, 19, 6, 39, 2, 78, 5, 157, 314, 628, 1256 kPa). Waktu untuk setiap pembebanan yaitu 30 menit.

Setelah pembebanan dilakukan, proses pembasahan selama 6 jam dilakukan dengan cara memasukkan air ke dalam cincin cetak. Kemudian setelah itu dilakukan proses pengeringan selama 48 jam agar benda uji benar-benar dalam kondisi kering. Siklus pembasahan dan pengeringan ini diulang tiga kali. Setelah proses pengeringan akhir kemudian benda uji di oven selama 24 jam dan selanjutnya diayak dengan gerakan memutar *horizontal* tanpa mengoyak secara *vertical*, (Putra & Kikumoto, 2016).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

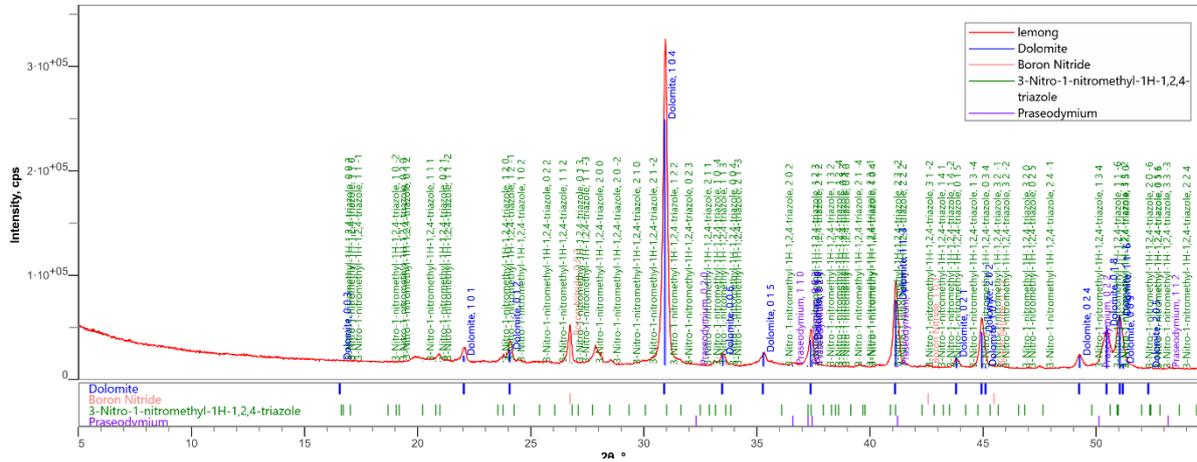
4.1. Pengujian XRD

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi penyusun batuan, sehingga dapat digunakan untuk mendukung uji slaking. Fenomena slaking sangat dipengaruhi oleh komposisi penyusun batuan, karena komposisi ini yang membuat batuan itu memiliki kekerasan, dan ketahanan terhadap pengaruh slaking, sehingga tingkat deformasi batu lempung dapat diketahui hasil dari pengujian XRD sampel batu lempung daerah Lemong **Gambar 1**. Diketahui bahwa jenis mineral yang menyusun batuan Daerah Lemong yaitu: Dolomite, Boron Nitride, 3-Nitro-nitromethyl-1 H-1,2,4-triazole, dan Praseodymium.

Berdasarkan hasil uji XRD tersebut dapat diketahui rata-rata penyusun batuan yang dijadikan sampel tersusun oleh mineral Kapur (dolomite), memiliki tekstur yang keras ketika padat. Beberapa penelitian sebelumnya hasil analisa petrografi dengan menggunakan difraksi sinar-X (XRD), *clay shale* di daerah penelitian komposisi mineral

berupa Kuarsa, Albite, Illite, Kaolinite, Kalsit, dan montmorilonit. Montmorilonit merupakan ciri mineral pada batuan *clay shale* selain mineral Illite dan Kaolinite. Mineral Illite merupakan mineral yang

banyak terdapat pada pelapukan lanjut. Illite memiliki ikatan lebih kuat dibandingkan Kaolinite sehingga lebih stabil (Oktaviani dkk., 2018).



Gambar 1. Hasil Uji XRD Sampel Batuan Lemong

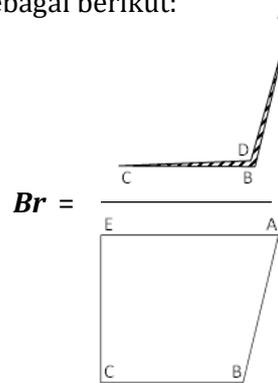
4.2. Hasil Analisa Saringan Pengujian Accelerated Slaking Test

Hasil analisa saringan pengujian *Accelerated Slaking Test* pada batu lempung Lemong dapat diketahui pada Gambar 2 yang dilakukan sebanyak 5 siklus pembasahan dan pengerigan sehingga dapat diketahui tingkat batuan dapat mempertahankan bentuknya akibat fenomena *slaking* dan analisa saringan yang dilakukan pada siklus ketiga dan kelima maka didapatkan hasil berupa grafik uji sebagai berikut Gambar 2. Setelah dilakukan analisa saringan kemudian dilakukan analisa *Breakage Parameter* untuk mengetahui tingkat kehancuran batuan yang diuji. Perhitungan ini dilakukan dengan menghitung luasan pada setiap grafik hasil *Accelerated Slaking Test* menggunakan persamaan ABCE dan ABCD.

$$Br = ABCD : ABCE \tag{1}$$

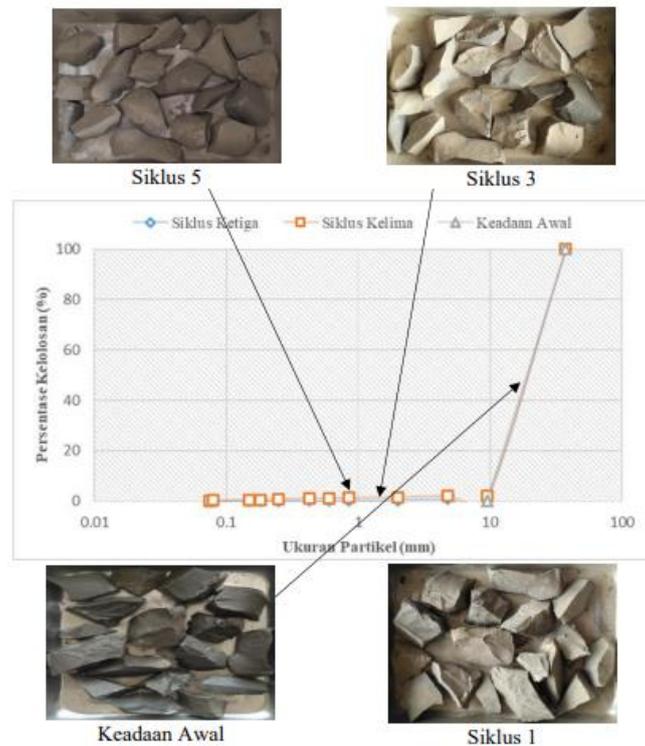
Maka diketahui nilai *Br* sebesar 0-1. Semakin besar nilai *Br* yang didapat maka semakin besar pula tingkat kerusakan atau kehancuran batuan akibat proses *slaking*. Berdasarkan hasil perhitungan nilai *Br* pada Gambar 3 didapatkan hasil luasan sebagai berikut:

$ABCD = 60,4882 \text{ mm}^2$
 $ABCE = 6.539,2338 \text{ mm}^2$
 didapatkan nilai *Breakage Parameter* sebagai berikut:

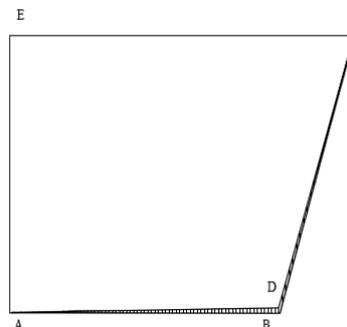


$$Br = ABCD : ABCE = 60,4882 : 6.539,2338 = 0,0093 \tag{2}$$

diketahui nilai *Br* batu lempung Lemong sebesar 0,0093, dapat diketahui bahwa batu lempung Lemong memiliki tingkat deformasi yang sangat rendah sehingga dapat dikategorikan batu lempung Lemong memiliki tingkat kemampuan batu mengalami kehancuran yang sangat rendah akibat fenomena *slaking*.



Gambar 2. Hasil Analisa Saringan Uji *Accelerated Slaking Test* sampel batuan Lemong.



Gambar 3. *Breakage Parameter* siklus ketiga batuan Lemong.

4.3. 1D Compression Slaking Test

Sama halnya dengan alat uji konsolidasi, uji *1D Compression Slaking Test* digunakan untuk mengetahui perbandingan antara waktu dan deformasi. Maka uji *1D Compression Slaking Test* sangat cocok digunakan untuk mengetahui perilaku deformasi batu lempung dengan menggabungkan proses pembasahan dan pengeringan.

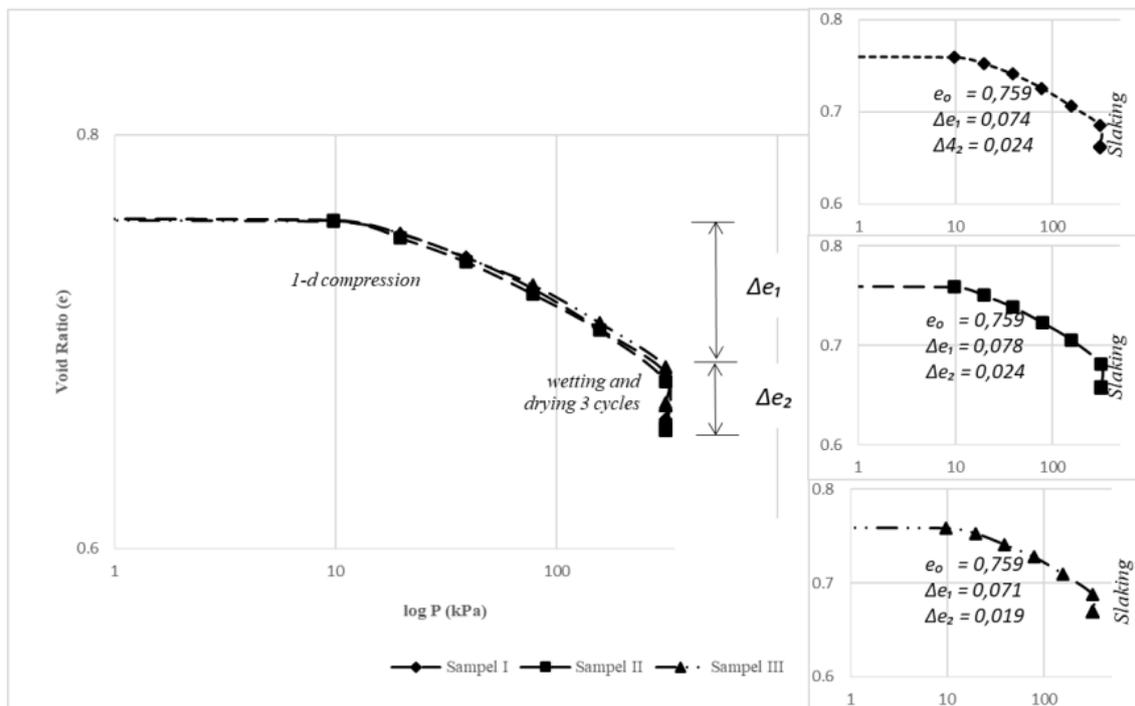
Berdasarkan hasil uji *1D Compression Slaking Test* **Gambar 4**, Batu lempung Lemong mengalami deformasi tidak terlalu

signifikan setelah dilakukan proses pembebanan dengan ketinggian 5 cm dan dibebani sampai 314 kPa. Angka pori awal batuan Pemancar ($e_0 = 0,759$) kemudian Sampel menunjukkan deformasi akibat *crushing* dengan penurunan sebesar ($\Delta e_1 = 0,074$), kemudian dilakukan proses pembasahan dan pengeringan berulang atau *slaking* yang mengakibatkan kekakuan dan kekuatan material mengalami penurunan dan terjadi ketidakstabilan. Angka pori awal pada batu lempung Lemong yaitu ($e_0 =$

0,759). Dengan angka pori awal yang kecil pada batu lempung Lemong mengakibatkan sulitnya air memasuki ruang pori-pori tersebut. Hal ini dapat dilihat saat fenomena *slaking* yang terjadi, dengan sedikit terjadi kehancuran dan kehilangan kekuatan material dari batuan tersebut akibat sedikitnya air yang masuk pada pori batuan.

Deformasi yang terjadi setelah 3 siklus pengulangan fenomena *slaking* sampel

mengalami penurunan sebesar ($\Delta e_2 = 0,022$), diketahui nilai ($\Delta e_1 > \Delta e_2$) menunjukkan bahwa deformasi akibat fenomena *crushing* lebih besar daripada fenomena *slaking*. **Tabel 1** merupakan hasil perbandingan nilai antara besarnya perubahan angka pori akibat *crushing* (Δe_1) dan akibat *slaking* (Δe_2).



Gambar 4. Hubungan *void ratio* (*e*) dan *log p* (*kPa*) pada batuan Lemong.

Tabel 1. Perbandingan nilai Δe_1 dan Δe_2 Lemong.

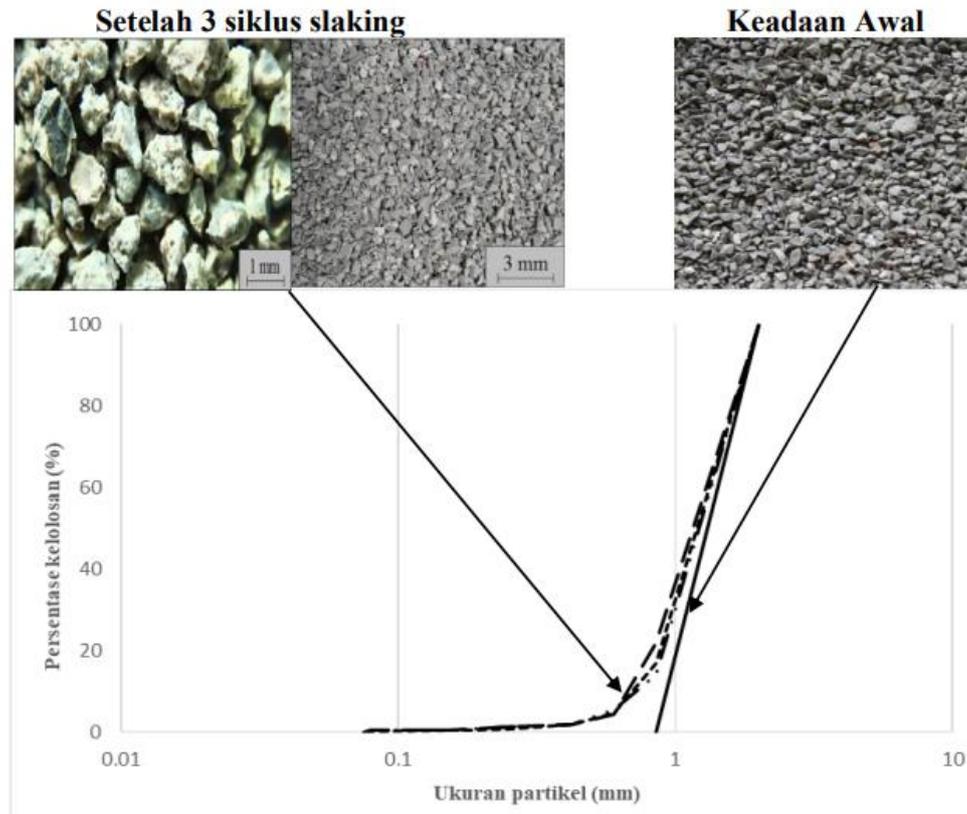
Sampel	e_0	Δe_1	Δe_2	Selisih	Keterangan	
I		0.074	0.024	$\Delta e_1 > \Delta e_2$	Direkomendasikan sebagai bahan konstruksi berupa batu belah dan split, subbase untuk timbunan	
II	0.759	0.078	0.024			0.022
III		0.071	0.019			

Setelah dilakukan pengujian *1D Compression Slaking Test* kemudian dilakukan analisa saringan untuk mengetahui distribusi partikel, yang menyusun batuan dengan cara disaring untuk memisahkan partikel sesuai dengan ukuran saringan masing-masing.

Pada sampel batu lempung Lemong kemudian dilakukan pengujian analisa saringan (*sieve analysis*). Berat awal sampel batuan (*wS*) yang digunakan adalah sebesar 216 gram. Berdasarkan grafik **Gambar 5**, sampel batuan Lemong memiliki tingkat kehancuran yang sangat kecil karena grafik tersebut menunjukkan bahwa sampel pada

keadaan awal dilakukan proses *slaking* siklus ketiga mengalami prosentase kelolosan yang rendah dan grafik menunjukkan angka mendekati nol atau berhimpitan dan sejajar dengan grafik pada keadaan awal, kemudian pada siklus kelima prosentase kelolosan juga tidak jauh berbeda dan mendekati nol atau sama

dengan siklus ketiga, jika prosentase kelolosan tinggi maka grafik akan menunjukkan angka menjauhi angka nol, setelah tiga kali dilakukan pengulangan tekanan dan proses *slaking*. Persentase lolos saringan (%) batuan Lemong dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 5. Distribusi ukuran partikel batuan Lemong.

Tabel 2. Persentase lolos saringan (%) batuan Lemong.

Sampel	Sebelum uji		Setelah uji		Keterangan
	Lolos Saringan no. 10 (%)	Lolos Saringan no. 20 (%)	Lolos Saringan no. 10 (%)	Lolos Saringan no. 20 (%)	
Lemong	100	0	100	30.84	Tidak terjadi penghancuran yang signifikan

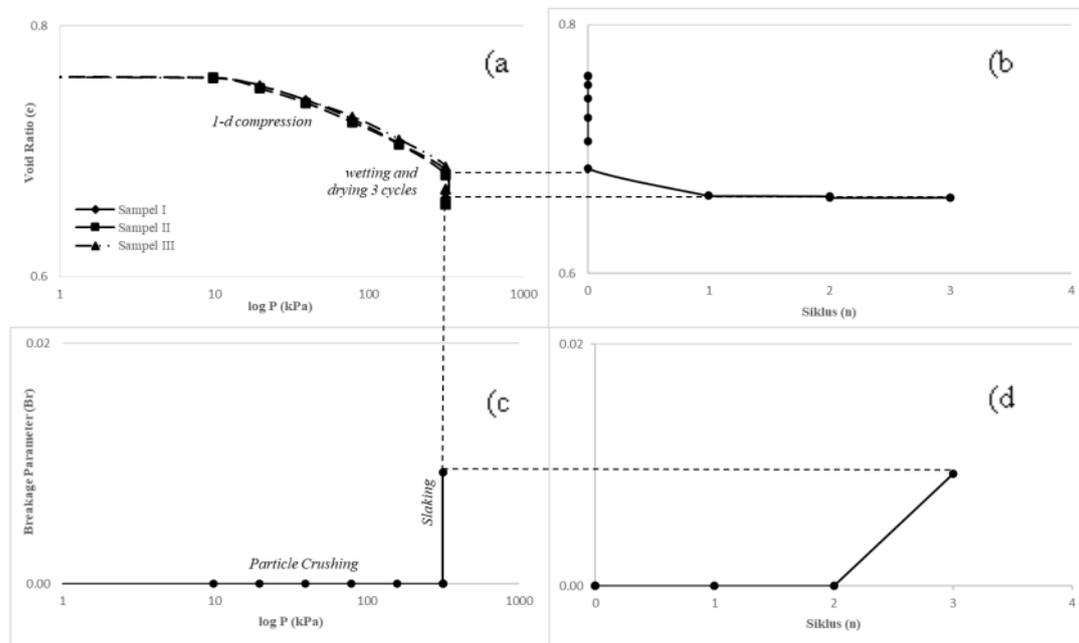
4.4. Analisa Perubahan Sifat Tekan dan Ukuran Partikel

Dari perilaku batuan sedimen daerah Lemong yang ditunjukkan pada **Gambar 6**, terlihat jelas bahwa nilai Br (**Gambar 6(c)**)

meningkat menjadi 0,009 pada 314 kPa, yang konsisten dengan penghancuran partikel setelah siklus pembasahan dan pengeringan, berupa garis tekanan di plot semi-logaritmik e dan $\log v'$ yang menjadi

lebih curam, dan benda uji mengalami tekanan yang cukup signifikan, sehingga terjadi penurunan *void ratio* lebih besar dari 0,7. Dapat diketahui bahwa *slaking*

disebabkan oleh siklus pembasahan dan pengeringan sehingga menyebabkan angka *void ratio* (e) menurun.



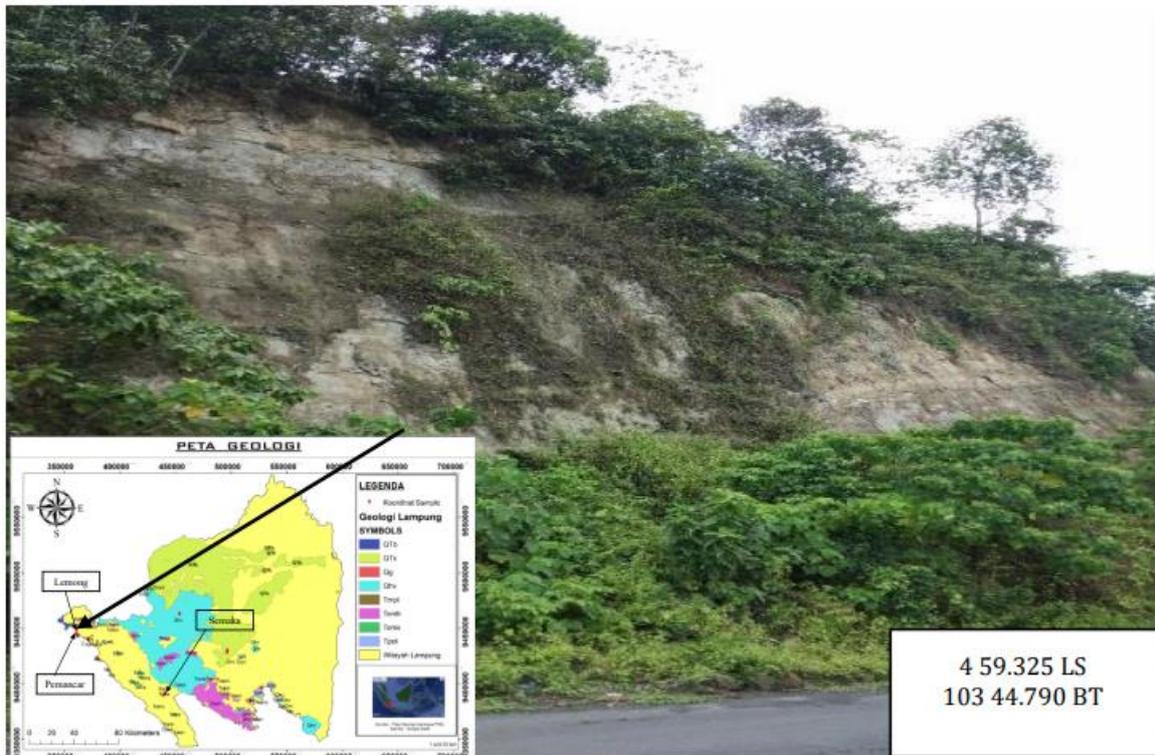
Gambar 6. Perubahan sifat tekan dan ukuran partikel batuan Lemong selama pengujian *1D Compression Slaking Test*.

4.5. Analisa Persebaran Batuan Sedimen dan Lapuk

Berdasarkan peta geologi regional dan survei langsung di lapangan dapat diketahui beberapa persebaran batuan sedimen dan lapuk di Provinsi Lampung. Persebaran tersebut digolongkan menjadi beberapa formasi dan litologi batuan sesuai **Gambar 7**. Formasi dan litologi batuan di provinsi Lampung bagian permukaan lebih banyak didominasi oleh batuan sedimen dan lapuk yang sebagian besar merupakan perubahan dari batuan gunung api berupa pasir andesit, tufa, lanau, breksi, sisa tumbuhan, lempung dan serpih. Sehingga pada pembangunan infrastruktur, sangat membu-tuhkan material selain batuan sedimen, tetapi setelah dilakukan beberapa pengujian dan analisa pada batuan sedimen khususnya

batu lempung, batu lempung dapat dijadikan sebagai material pengganti batuan lain dan dapat diambil dari daerah sekitar lokasi pembangunan infrastruktur sarana prasarana publik terutama jalan raya dan gedung.

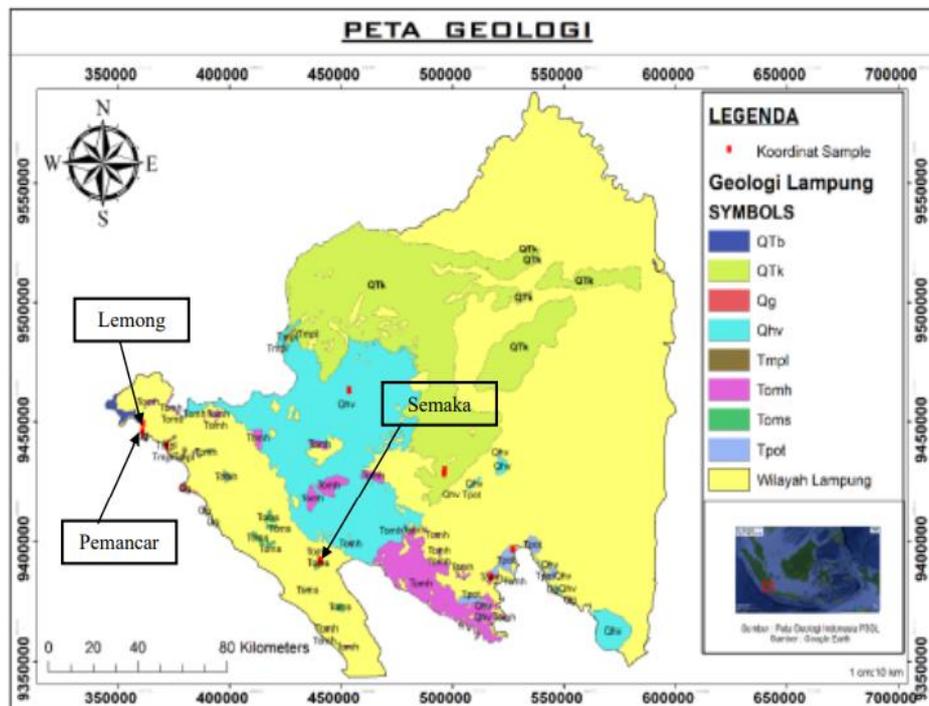
Penelitian ini hanya untuk mengetahui deformasi batuan akibat fenomena slaking dan sedikit menyajikan data referensi umum tentang deformasi yang dialami oleh batu lempung, perlu dilakukan penelitian lanjutan yang dapat mengetahui deformasi batu lempung akibat faktor lainnya, sehingga dapat menjadi rujukan pembangunan infrastruktur dengan menggunakan material sedimen yang saat ini belum digunakan secara maksimal, dan lebih banyak menggunakan material dari batuan beku dan metamorf.



Gambar 7. Lokasi Sampel batuan Sedimen dan lapuk Kec. Lemong (Mangga dkk., 1994).



Gambar 8. Sampel batuan Sedimen dan lapuk Kec. Lemong (Mangga dkk., 1994).



Gambar 9. Peta Geologi Regional Provinsi Lampung (Mangga dkk., 1994) dengan modifikasi.

5. KESIMPULAN

Melalui penelitian ini dapat diketahui bahwa pengujian *Accelerated Slaking Test* dan *1D Compression Slaking Test* dapat digunakan untuk mengetahui dampak mekanis berupa deformasi batuan sedimen. Sehingga dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Deformasi sedimen akibat mekanisme *crushing* dan *slaking* sangat dipengaruhi oleh distribusi partikel batuan berupa mineral penyusun yang berbeda-beda, Sebagian besar mineral penyusun batu lempung Lemong berupa Kapur (*Dolomite*) memiliki tingkat ketahanan terhadap aktivitas air dalam batuan, pada kondisi padat. Diketahui dari hasil pengujian *Accelerated Slaking Test* dan *1D Compression Slaking Test* bahwa deformasi batu lempung Lemong akibat pengaruh mekanisme *crushing* (Δe_1) pada batuan Lemong sebesar 0,074, dan pengaruh dari fenomena *slaking* (Δe_2) pada batuan Lemong sebesar 0,022.
- Batu lempung daerah Lemong direkomendasikan sebagai bahan konstruksi

terutama untuk timbunan seperti *Sub-base* karena memiliki nilai (Δe_1) > (Δe_2) atau memiliki tingkat deformasi batuan yang sangat rendah, sehingga penggunaan material yang selama ini menggunakan material selain batuan sedimen dapat menggunakan batuan sedimen terutama lempung di daerah Lemong, dan dapat diketahui sebaran batuan tersebut sesuai formasi penyusun batuan tersebut dilihat dari peta geologi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Lampung yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustawijaya, D.S. (2003). Modelled Mechanisms in the Slake-Durability Test for Soft Rocks. *Civil Engineering Dimension*, 5(2), 87–92.
- Akhundi, H., Ghafoori, M., & Lashkaripour, G, R. (2014). Prediction of Shear Wave Velocity Using Artificial Neural Network Technique, Multiple Regression and Petrophysical Data:

- A Case Study in Asmari Reservoir (SW Iran). *SciRes*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2014.47023>.
- Alatas, I. M., Kamaruddin, S. A., Nazir, R., & Irsyam, M. (2016). Effect of Weathering on Disintegration and Shear Strength Reduction of Clay Shale. *Jurnal Teknologi*, 78(7-3), 93-99.
- Alatas, I. M., & Simatupang, P. T. (2017). Pengaruh Proses Pelapukan Clay Shale Terhadap Perubahan Parameter Rasio Disintegritas (DR). *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 24(1), 77-82.
- Chand, S. K., & Subbarao, C. (2007). Strength and Slake Durability of Lime Stabilized Pond Ash. *Journal of Material in Civil Engineering. ASCE*, 19(7), 601-608.
- Chinmoy, S. (2010). *Determination of Rock Strength from Slake Durability Tests, Protodyakonov Impact Tests and Los Angeles Abrasion Resistance Tests*. Bachelor of Technology in Mining Engineering National Institute of Technology Rourkela.
- Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M., & Kaneko, K. (2002). Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 65(1), 31-45.
[https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00101-6](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00101-6)
- Gartung, E. (1986). Excavation of The Hard Clays of The Keuper Formation. *Proceeding of Symposium Geotechnical Engineering Division*.
- Gautam, T. P., & Shakoor, A. (2013). Slaking Behavior of Clay-Bearing Rocks During a One-Year Exposure to Natural Climatic Conditions. *Engineering Geology*, 166, 17-25.
- Heidari, M., Rafiei, B., Mohebbi, Y., & Torabi-Kaveh, M. (2015). Assessing the Behavior of Clay-Bearing Rocks Using Static and Dynamic Slaking Indices. *Geotechnical and Geological Engineering*, 33(4), 1017-1030.
- Mangga S.A., Amiruddin, Suwardi, T., Gafoer, S., & Sidarto. (1994). Geologi Lembar Tanjung Karang Skala (Scale) 1:200.000. In *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Departemen Pertambangan dan Energi*.
- Marques, E. A. G., Vargas, E. D. A., & Antunes, F. S. (2005). A Study of The Durability of Some Shales, Mudrocks and Siltstones from Brazil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 23(3), 321-348.
- Misbahudin, M., & Sadisun, I. A. (2018). Analisa Ketahanan (Durability) Batulempung Formasi Subang di Daerah Ujungjaya dan Sekitarnya, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Bulletin of Geology*, 2(1), 163-174.
- Misbahudin, M., & Sadisun, I. A. (2019). The Use of Disintegration Ratio in Evaluating Rock Durability in Selected Mudrock Samples in Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 4(3), 158.
- Moses, C., & Williams, R. (2015). Weathering and durability of the Goldsworthy Chalk Stones, South Downs, West Sussex, England. *Environ Geol*, 56, 495-506.
- Nahazanan, H., Clarke, S., Asadi, A., Md. Yusoff, Z., & Huat, B. K. (2013). Effect of Inundation on Shear Strength Characteristics of Mudstone Backfill. *Engineering Geology*, 158, 48-56.
- Nickmann, M., Sailer, S., Ljubescic, J., & Thuro, K. (2010). Engineering Geological Investigations into The Border Between Hard and Weak Rocks. *Taylor & Francis Group*, 2265-2272.
- Nickmann, M., Spaun, G., & Thuro, K. (2006). Engineering Geological Classification of Weak Rocks. *International Association for Engineering Geology and The Environment*, 492(9).
- Nofirman, N. (1992). *Perilaku Material Geologis Padat*.
- Oktaviani, R., Rahardjo, P. P., & Sadisun, I. A. (2018). *The Clay Shale Durability Behavior of Jatiluhur Formation Based on Dynamic and Static Slaking Indices: Vol. 9(5)* (pp. 1266-1281).
- Putra, A. D., & Kikumoto, M. (2017). Weathering-induced deformation of geomaterials derived from weakrocks. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(12), 3858-3868.
- Putra, A. D., & Kikumoto, M. (2016). Slaking of Mudstone and Its Mechanical Consequences in 1D Compression Condition. *50th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2016*, 183-190.
- Putra, A. D., & Kikumoto, M. (2017). Weathering-Induced Deformation of Geomaterials Derived from Weakrocks. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(12), 3858-3868.
- Putra, A. D., Takahashi, M., & Kikumoto, M. (2019). Weathering-induced deformation of crushed weak rocks and its countermeasure. *E3S Web of Conferences*, 92, 09003.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199209003>
- Qi, J., Sui, W., Liu, Y., & Zhang, D. (2015). Slaking Process and Mechanisms Under Static Wetting and Drying Cycles Slaking Tests in a Red Strata Mudstone. *Geotechnical and Geological Engineering*, 33(4), 959-972.

- <https://doi.org/10.1007/s10706-015-9878-4>
- Sadisun, I. A., Bandonu, B., Shimada, H., Ichinose, M., & Matsui, K. (2010). Physical Disintegration Characterization of Mudrocks Subjected to Slaking Exposure and Immersion Tests. *Indonesian Journal on Geoscience*, 5(4), 219–225.
- Santi, P. M. (1998). Improving the jar slake, slake index, and slake durability tests for shales. In *Environmental and Engineering Geoscience* (Vol. 4, Issue 3, pp. 385–396).
- Sharma, K. (2011). *Influence of Cyclic Wetting and Drying on Strength and Strain of Crushed Mudstone in Direct Shear Test*.
- Sharma, K., Kiyota, T., & Kyokawa, H. (2017). Effect of Slaking on Direct Shear Behaviour of Crushed Mudstones. *Soils and Foundations*, 57(2), 288–300.
- Vallejo, L. E., & Murphy, A. S. (1999). Fractal Pores and the Degradation of Shales. *Fractals*, 229–243. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0873-3_1