



STUDI TINGKAT SLAKING INDEX PADA BATULEMPUNG FORMASI BALIKPAPAN DAERAH SAMARINDA DAN KUTAI KARTANEGARA

Yogi Budi Utama,¹ Revia Oktaviani², Windhu Nugroho³, Sakdillah⁴, Tommy Trides⁵

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda
ybutama@gmail.com

Diterima: 03-12-2022

Review: 18-12-2022

Publish: 27-12-2022

Abstrak:

Batulempung merupakan batuan di alam yang dalam rekayasa geoteknik seringkali membuat permasalahan. Hal ini berkaitan dengan karakteristik batulempung yang mudah hancur dalam waktu singkat ketika tersingkap ke permukaan dan atau saat berinteraksi dengan air. Karena permasalahan tersebut, batulempung selalu mengalami penurunan durabilitas dari waktu ke waktu. Durabilitas batulempung dapat dihitung dengan menggunakan nilai indeks slaking. Indeks slaking merupakan persentase nilai tingkat daya tahan batuan yang dihitung berdasarkan berat material batuan yang terdegradasi. Slaking sendiri merupakan perilaku batuan yang apabila kontak langsung dengan air dan temperatur sering menyebabkan hancurnya partikel, retakan-retakan serta mengelupasnya lapisan permukaan batuan dalam waktu tertentu. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengamati reaksi pelapukan dan kehancuran sampel batulempung yang direndam kedalam air. Sampel batulempung akan digolongkan pada masing-masing tingkat kehancuran sesuai dengan tingkatannya yang terbagi kedalam 6 kelas yaitu 0-5% *very low*, 5-10% *low*, 10-25% *medium*, 25-50% *high*, 50-75% *very high*, dan 75-100% *extremely high*. Dari hasil pengujian 12 sampel batulempung, diperoleh nilai indeks slaking dengan rentang nilai paling rendah sebesar 84,77% pada sampel JW CS2 dan paling tinggi sebesar 100% untuk sampel LD CS1 – LD CS3 dan BK CS1 – BK CS3. Dengan rentang nilai persentase indeks slaking seperti itu, sampel pengujian termasuk kedalam kelas 6 dengan klasifikasi indeks slaking *extremely high* yang berarti sampel batuan yang diuji mengalami tingkat disintegrasi atau kehancuran yang tinggi akibat proses perendaman air dan pengeringan.

Kata kunci: Batulempung, Durabilitas, *Static Slaking*, *Slaking Index*

Abstract:

Claystone is a natural rock which in geotechnical engineering often causes problems. This is related to the characteristics of claystone which is easily destroyed in a short time when it is exposed to the surface and/or when it interacts with water. Because of these problems, claystone always experiences a decrease in durability over time. The durability of claystone can be calculated using the slaking index value. The slaking index is the percentage value of the rock resistance level which is calculated based on the weight of the degraded rock material. Slaking itself is a rock behavior that when in direct contact with water and temperature often causes the destruction of particles, cracks and peeling of the surface layer of rock within a certain time. The purpose of this test is to observe the weathering and destruction reactions of claystone samples immersed in water. Claystone samples will be classified at each level of destruction according to its level which is divided into 6 classes, namely 0-5% very low, 5-10% low, 10-25% medium, 25-50% high, 50-75% very high, and 75-100% extremely high. From the test results of 12 claystone samples, a slaking index value was obtained with the lowest value range of 84.77% for the JW CS2 sample and the highest 100% for the LD CS1 – LD CS3 and BK CS1 – BK CS3 samples. With such a range of slaking index percentage values, the test samples belong to class 6 with an extremely high, meaning that the rock samples tested experienced a high degree of disintegration or destruction due to water immersion and drying processes.

Keywords: Claystones, Durability, *Static Slaking*, *Slaking Index*



PENDAHULUAN

Fenomena tanah dan batuan merupakan salah satu persoalan besar geoteknik yang harus segera ditangani (Andriyanto & Rahman, 2020). Sejumlah besar kerugian harus ditanggung masyarakat maupun perusahaan sejak disadari efek merusaknya pada sejumlah bangunan maupun infrastruktur dalam kegiatan pertambangan, khususnya daerah Samarinda dan Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. Dari berbagai jenis tanah dan batuan, batulempung adalah batuan yang banyak ditemukan dalam kebanyakan masalah keteknikan, karena sifat batulempung yang dipengaruhi iklim dan cuaca dapat mengubah batulempung menjadi tanah (MUHAMMAD, 2012).

Batulempung merupakan batuan di alam yang dalam dunia rekayasa geoteknik seringkali membuat permasalahan (Dwikasih & Koesnaryo, 2020). Hal ini berkaitan dengan karakteristik batulempung yang mudah hancur dalam waktu singkat ketika tersingkap ke permukaan dan atau saat berinteraksi dengan air dan temperature (Dwi Kurniawan, 2022). Karena permasalahannya tersebut, batulempung selalu mengalami penurunan durabilitas dari waktu ke waktu. Durabilitas batulempung dapat dihitung dengan menggunakan nilai Slaking Index atau Indeks Slaking. Indeks Slaking merupakan persentase nilai tingkat daya tahan batuan yang dihitung berdasarkan berat material batuan yang terdegradasi (Abdurohman, 2021). Slaking sendiri merupakan perilaku batuan yang apabila kontak langsung dengan air dan temperature sering menyebabkan hancurnya partikel, retakan-retakan serta mengelupasnya lapisan permukaan batuan dalam waktu tertentu (BASARI & Suryo, 2012). Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat daya tahan batuan yang dihitung berdasarkan nilai Indeks Slaking serta potensi mengembang dari batulempung seiring berkurangnya daya tahan batuan yang diakibat oleh keadaan basah dan kering.

Uji Ketahanan batuan dilakukan untuk menilai pengaruh pelapukan pada batuan dan hancurnya. Uji ini merupakan salah satu pendekatan kuantitatif yang dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan suatu batuan (Ridha, Farian, & Koesnaryo, 2020). Kehadiran gaya-gaya yang bekerja pada suatu material dapat menimbulkan suatu ketidakstabilan pada daerah di mana massa material itu berada (Abdillah, 2020). Umumnya, keruntuhan akan timbul pada titik-titik di sepanjang daerah yang memiliki ketidakstabilan. Statis tes adalah tes pada batuan untuk mengamati bentuk perilaku batuan yang dapat digunakan untuk menyelidiki proses dan mekanisme runtuhnya tanah lempung secara lebih rinci (Oktaviani, Rahardjo, & Sadisun, 2018). Uji slaking statis ini merupakan pengembangan dari modifikasi pengujian slake index yang dilakukan oleh Deo (1972), Santi (1998) dan dikembangkan lebih lanjut oleh (Sadisun, Shimada, Ichinose, & Matsui, 2005)

(Ekaputra, 2017) menyatakan bahwa *slaking* adalah mekanisme degradasi fisik paling umum yang mempengaruhi tanah liat dan batuan yang kaya tanah liat. Prosedur utama dari uji slaking statis yang dilakukan dalam penelitian ini menjadi sasaran lima siklus kering-basah dari batu utuh dalam gelas 500 ml, yaitu uji slaking index. Pada tingkat yang lebih mendasar untuk memahami mekanisme detail kerusakan *slake*, pengembangan diskontinuitas yang baru jadi menjadi fraktur terbuka juga sedang diselidiki dengan paparan *slaking*, perendaman *slaking*, dan uji pengamatan *slaking* siklus basah-kering melibatkan pengamatan kualitatif dari proses slaking secara berurutan untuk

mengidentifikasi mekanisme prinsip kemunduran (Dibiyosaputro & Haryono, 2020). Semua sampel dijelaskan dalam hal pengembangan retak dan disintegrasi yang mungkin terjadi.

Untuk mengetahui perilaku slaking statis pada batulempung, dilakukan pengujian indeks slaking statik yang mengacu pada rekomendasi pengujian dari (Sadisun et al., 2005) yang membagi nilai dan kelas indeks slaking statik menjadi 6 kelas. Pembagian Kelas tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai kelas dan Klasifikasi Indeks Slaking Statik Siklus Tunggal (Sadisun dkk, 2005)

Kelas	Slaking Indeks (%)	Klasifikasi
1	0-5	Very Low
2	5-10	Low
3	10-25	Medium
4	25-50	High
5	50-75	Very High
6	75-100	Extremely High

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pendekatan masalah yang berkaitan judul penelitian berupa pengambilan bahan, baik berupa dasar teori maupun data-data objek yang diamati secara langsung di lapangan (Rukin, 2019). Studi literatur yaitu pencarian literatur-literatur yang berkaitan dengan judul penelitian guna menunjang pengetahuan selama penelitian berlangsung (Juliandi & Manurung, 2014). Untuk tahap ini literatur-literatur yang menjadi acuan sebagai bahan penunjang penelitian seperti jurnal penelitian, skripsi dan beberapa buku terkait judul penelitian. Pengamatan lapangan yang dilakukan adalah pengamatan terhadap lokasi penelitian. Tahap ini dilakukan dengan melihat langsung kondisi lapangan guna menyesuaikan metode atau cara pengambilan data dalam proses penelitian. Penelitian dilakukan pada dua tahap yaitu tahap penelitian lapangan dan tahap pengujian di laboratorium.

Metode Pengumpulan Data

Pengambilan sampel batuan dengan material berupa batulempung dilakukan disekitar wilayah Kota Samarinda dan Kab. Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Pengambilan sampel dilakukan secara acak yaitu pada 4 (Empat) titik lokasi berbeda. Pengambilan sampel dari lapangan dilakukan secara langsung dan merupakan contoh tanah yang terganggu (*disturbed sample*) dan tanpa perlakuan khusus. Pengambilan sampel menggunakan palu geologi, linggis dan alat penggali sejenis dan dimasukkan kedalam plastik sampel. Uji durabilitas batuan yaitu dengan menggunakan 12 sampel batulempung (*claystone*). Persiapan sampel uji dilakukan mulai dari pemotongan sampel dan penimbangan berat sampel dengan ukuran berat berkisar 200–300-gram kemudian dilanjutkan dengan proses pengeringan sampel untuk menghilangkan kadar air. Pengujian durabilitas dilakukan dengan menggunakan metode *slaking static* atau pengujian siklus basah-kering sebanyak 5 siklus. Pada uji slaking statis, setelah siklus pengeringan-basah, analisis dilakukan menggunakan 25,4 – 2 mm ayakan. Sampel batuan yang ditahan pada setiap saringan kemudian dikeringkan hingga berat konstan pada 105°C dan ditimbang, dan berat potongan yang tertahan dicatat. Penimbangan berat sampel

dilakukan sebelum dan sesudah proses siklus basah-kering berlangsung. Persentase ditahan dihitung dengan membagi berat kering dipertahankan oleh berat sampel kering asli.

Metode Analisis Data

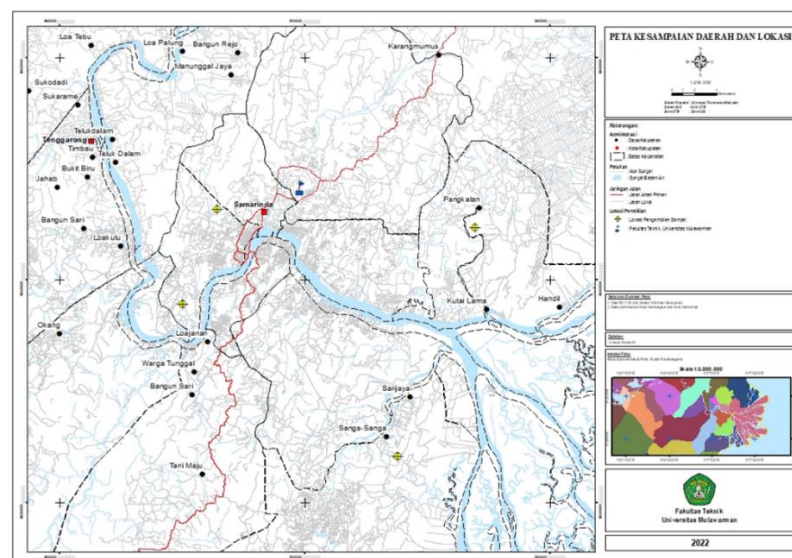
Tahapan analisis data yang dilakukan untuk mengetahui dan mendapatkan nilai tingkat disintegrasi atau kehancuran batuan yang pada penelitian ini menggunakan sampel batulempung dengan menggunakan nilai Indeks Slaking (*Is*) yang merupakan persentase nilai berat sampel ditahan dengan berat sampel kering asli. Tujuan uji slaking statis adalah untuk mengamati reaksi pelapukan dan kehancuran sampel batulempung yang direndam kedalam air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

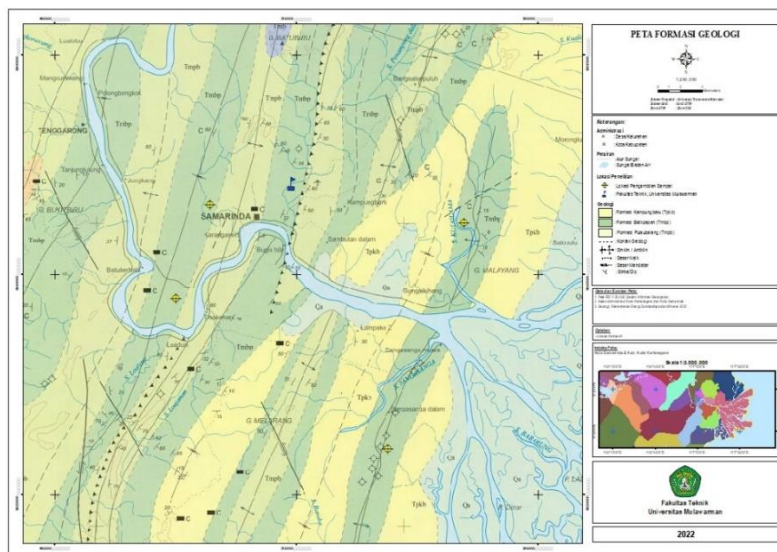
Penelitian dilaksanakan pada lereng bukit atau bekas lokasi galian yang ada di daerah sekitar Kota Samarinda dan Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. Penulis mencari lokasi penelitian yang didalam lokasi tersebut terdapat lapisan batulempung. Sampel berupa bongkahan batulempung dalam keadaan terganggu (*disturbed*) yang dimana tidak bisa terjamin kesegaran kualitasnya. Namun penulis tetap berusaha mempertahankan kondisi sampel agar tidak berubah dengan cara membungkus sampel dengan menggunakan alumunium foil dan plastik wrapping. Selanjutnya sampel dibawa ke lokasi pengujian pada Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara Fakultas Teknik Universitas Mulawarman. Adapun titik koordinat lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 2 dan digambarkan pada Peta Lokasi Gambar 1.

Tabel 2. Koordinat Lokasi Pengambilan Sampel

No	Sampel	Lokasi	Koordinat	
			Bujur Timur (BT)	Lintang Selatan (LS)
1	LD CS	Loa Duri Seberang	117° 03' 48"	0° 33' 45"
2	JW CS	Anggana, Kutai Lama	117° 17' 56.65"	0° 30' 00.85"
3	BK	Sanga-Sanga	117° 14' 11.68"	0° 41' 10.28"
4	RB CS	Lok Bahu, Sungai Kunjang	117° 05' 28"	0° 29' 06"



Gambar 1. Peta Lokasi



Gambar 2. Peta Formasi Geologi

Berdasarkan pengambilan data koordinat dilapangan menggunakan GPS yang selanjutnya koordinat tersebut dilakukan plotting pada peta geologi lembar Samarinda. Diketahui lokasi pengambilan sampel penelitian dilakukan pada Formasi Balikpapan di daerah Kota Samarinda dan Kabupaten Kutai Kartanegara (Gambar 2). Kondisi Batulempung yang didapatkan peneliti dengan ciri-ciri berwarna abu-abu muda sampai gelap, dengan tekstur butir yang sangat halus saat dipegang menggunakan tangan.

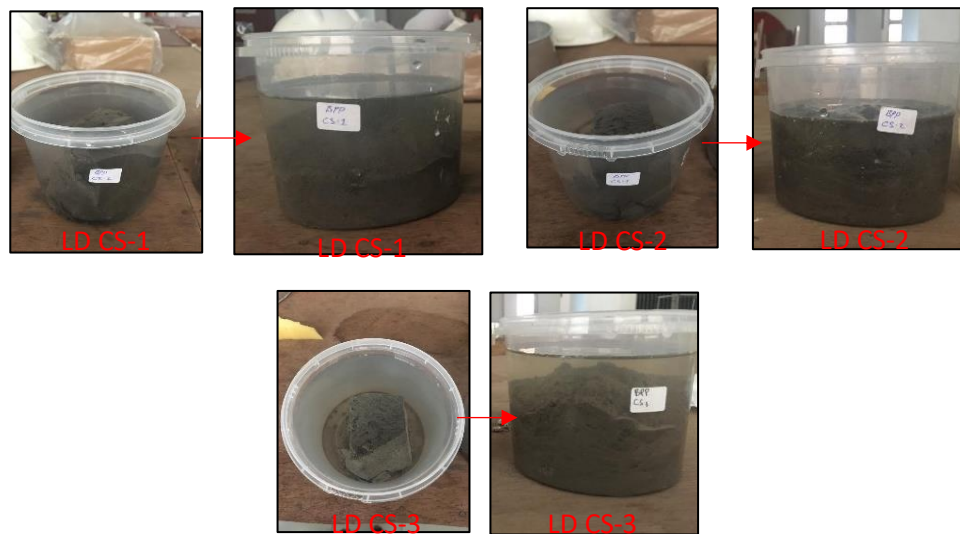
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan mendapatkan nilai tingkat disintegrasi atau kehancuran batuan yang pada penelitian kali ini digunakan sampel batulempung. Tujuan uji slaking static adalah untuk mengamati reaksi pelapukan dan kehancuran sampel batulempung yang direndam kedalam air. Sampel pengujian batulempung akan digolongkan pada masing-masing tingkat kehancuran. Sesuai dengan tingkatannya, tingkat klasifikasi slaking index digolongkan kedalam 6 kelas. Mulai dari *very low* dengan nilai Indeks Slaking (I_s) 0-5%, *low* 5-10%, *medium* 10-25%, *high* 25-50%, *very high* 50-75%, dan *extremely high* 75-100%. Berdasarkan kelas tersebut, nilai indeks slaking diartikan sebagai tingkat kehancuran batuan, yang berarti semakin tinggi persentase nilai indeks slaking (I_s) semakin tinggi pula tingkat kehancurannya.

Berbeda dengan indeks slaking, Slake durability atau indeks durabilitas merupakan suatu uji ketahanan material yang tujuan pengujiannya dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan (Setiawan, 2010). Dengan cara yang sama seperti indeks slaking, indeks durabilitas juga dilakukan dengan proses perendaman namun ditambahkan dengan diberikan gaya putar terhadap suatu material dan menyebabkan material yang diuji akan mengalami disintegrasi atau tidak sesuai dengan tingkat ketahanan material tersebut.



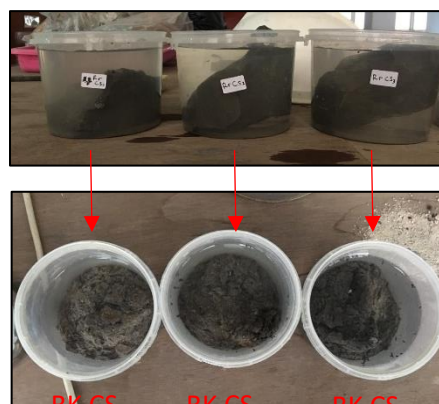
Gambar 3. Sampel Uji Batulempung

Sampel batulempung yang terdapat pada Gambar 3 merupakan contoh dari 12 sampel pengujian untuk uji indeks slaking statis. Sampel tersebut sebelumnya telah dilakukan pengeringan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu 105°C untuk menghilangkan kadar air yang terkandung didalamnya. Dapat dilihat pada gambar tersebut, bahwa pada pengujian indeks slaking statis tidak menggunakan bentuk, dimensi maupun ukuran spesifik untuk proses pengujiannya, namun khusus pengujian kali ini dilakukan dengan menggunakan berat sampel berkisar antara 200-300 gram. Sampel yang telah dihilangkan kadar airnya, kemudian masuk kedalam proses siklus pembasahan, dimana sampel direndam dengan air berkisar 500 ml atau lebih pada wadah transparan dan merendam seluruh bagian sampel batulempung.



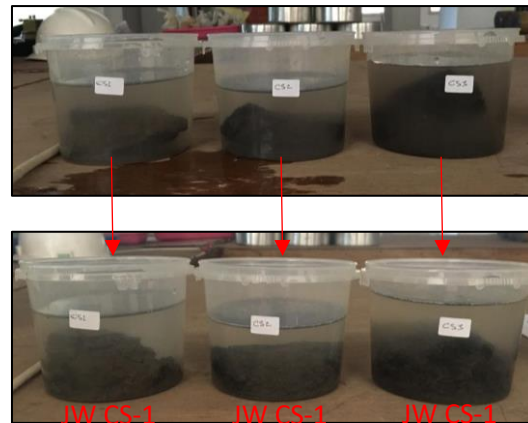
Gambar 4. Sampel Uji LD CS1 – LD CS3

Pada pengujian sampel LD-CS1 sampai dengan LD-CS3 (Gambar 4), saat proses perendaman berlangsung terdapat perubahan-perubahan yang terjadi pada sampel batulempung tersebut. Terjadi pergerakan retakan hingga pelapukan yang sangat cepat ketika air telah memenuhi seluruh wadah dan menutupi keseluruhan sampel. Ketiga sampel tersebut secara bersamaan sedikit demi sedikit terlihat mengalami pelapukan hingga tingkat kehancuran yang cukup cepat, pada sampel LD-CS1 sampai dengan LD-CS3 dalam kurun waktu perendaman 3 jam pertama, keseluruhan sampel sepenuhnya telah mengalami kehancuran seperti terlihat pada gambar.



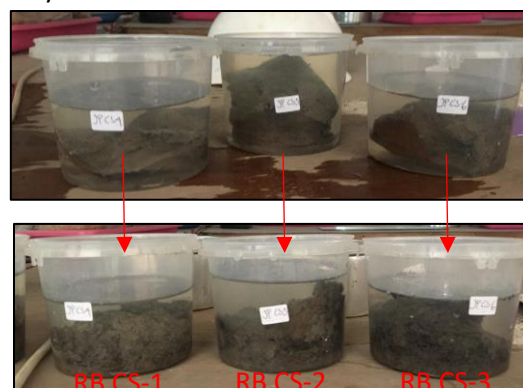
Gambar 5. Sampel Uji BK CS1 – BK CS3

Pada pengujian sampel BK-CS1 sampai dengan BK-CS3 (Gambar 5), saat proses perendaman berlangsung terdapat perubahan yang terjadi hampir sama dengan yang terjadi pada sampel LD-CS1 sampai dengan LD-CS3. Ketiga sampel tersebut mengalami proses retakan dengan pecahan kecil pada awal proses perendaman, kemudian mengalami proses peretakan lebih lanjut dan mengalami tingkat kehancuran yang baik dengan material yang terendapkan sangat banyak pada siklus pertama.



Gambar 6. Sampel Uji JW CS1 – JW CS3

Pada sampel uji JW-CS1 sampai dengan JW-CS3 saat proses perendaman berlangsung mengalami perubahan berupa retak-retak hingga pecahan kecil. Ketiga sampel tersebut juga mengalami tingkat pelapukan dan pengendapan yang cukup lambat dibandingkan dengan sampel BK dan LD. Dapat dilihat pada Gambar 6, setelah proses perendaman berlangsung selama 24 jam ketiga sampel tersebut masih terlihat belum mengalami tingkat kehancuran yang baik, masih terdapat pecahan-pecahan sampel yang cukup besar sehingga harus dilakukan siklus perendaman dan pengeringan yang kedua dengan rentang nilai indeks slaking pada siklus pertama sebesar 84,76% sampai dengan 87,94%. Pada siklus kedua, didapatkan hasil bahwa sampel JW-CS1 hingga JW-CS3 seluruhnya telah mengalami tingkat kehancuran yang sangat baik dan keseluruhan sampel tersebut telah terendapkan sepenuhnya.



Gambar 7. Sampel Uji RB CS1 – RB CS3

Pada sampel uji RB CS1 – RB CS3 saat proses perendaman berlangsung terjadi perubahan berupa retak-retak hingga pecahan kecil, sedikit partikel pasir dan lumpur yang mulai terendapkan. Hampir sama dengan sampel uji JW, pada sampel RB CS1 hingga RB CS3 mengalami tingkat pelapukan yang cukup lambat. Setelah proses perendaman berlangsung selama 24 jam pada siklus 1, dapat dilihat pada gambar 7 yang menunjukkan perubahan yang terjadi pada ketiga sampel. Perubahan

setelah proses perendaman tersebut, ketiga sampel masih terlihat belum terendapkan sepenuhnya, masih terdapat pecahan-pecahan yang cukup besar dan material yang terendapkan masih cukup sedikit dengan hasil nilai indeks slaking pada siklus pertama dengan rentang nilai sebesar 85,09% hingga 91,26%. Pada sampel uji RB CS1 hingga RB CS3, mengalami proses siklus hingga 3 kali dan pada siklus ketiga mengalami tingkat kehancuran yang baik dan seluruh material sampel terendapkan.

Tabel 3. Nilai Slaking Indeks Per Siklus

No.	Sampel	I _s 1 (%)	I _s 2 (%)	I _s 3 (%)
1	LD CS1	100		
2	LD CS2	100		
3	LD CS3	100		
4	BK CS1	100		
5	BK CS2	100		
6	BK CS3	100		
7	RB CS1	85,098	98,861	100
8	RB CS2	91,268	94,624	100
9	RB CS3	87,67	92,429	100
10	JW CS1	87,948	100	
11	JW CS2	84,766	100	
12	JW CS3	87,702	100	

Tabel 4. Nilai Uji Indeks Slaking

No.	Sampel	Indeks (I _s)	Slaking	Klasifikasi Indeks	Slaking
1	LD CS1	100			Extremely High
2	LD CS2	100			Extremely High
3	LD CS3	100			Extremely High
4	JW CS1	87,948			Extremely High
5	JW CS2	84,766			Extremely High
6	JW CS3	87,702			Extremely High
7	BK CS1	100			Extremely High
8	BK CS2	100			Extremely High
9	BK CS3	100			Extremely High
10	RB CS1	85,098			Extremely High
11	RB CS2	91,268			Extremely High
12	RB CS3	87,670			Extremely High

Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat bahwa 12 sampel batulempung yang diuji diperoleh nilai indeks slaking dengan rentang nilai paling rendah sebesar 84,77% pada sampel JW CS2 dan paling tinggi sebesar 100% untuk sampel LD CS1-LD CS3 dan BK CS1-BK CS3. Dengan rentang nilai persentase indeks slaking seperti itu, sampel pengujian termasuk kedalam kelas 6 dengan klasifikasi slaking indeks extremely high yang berarti sampel batuan yang diuji mengalami tingkat disintegrasi atau kehancuran yang tinggi akibat proses perendaman air dan pengeringan. Nilai indeks slaking yang digunakan merupakan nilai indeks slaking pada siklus pertama, karna pada siklus pertama tersebutlah sampel mengalami tingkat kehancuran yang sebenar-benarnya yang diakibatkan oleh proses pengeringan

kadar air sebelum proses perendaman hingga pada saat siklus basah atau perendaman telah berlangsung.

KESIMPULAN

Nilai indeks slaking yang didapatkan pada seluruh sampel penelitian termasuk kedalam kelas 6 dengan klasifikasi indeks slaking berupa *Extremely High* yang berarti sampel penelitian mengalami tingkat disintegrasi atau kehancuran yang tinggi akibat proses perendaman air dan pengeringan. Pada sampel LD CS1 sampai dengan LD CS3 mendapatkan nilai Indeks Slaking sebesar 100%, begitu pula dengan sampel BK CS1 hingga CS3 dengan nilai Indeks Slaking sebesar 100%. Pada sampel JW CS1 hingga JW CS3 secara berurutan mendapatkan nilai Indeks Slaking sebesar 87,94%, 84,76% dan 87,70%. Pada sampel RB CS1 hingga RB CS3 secara berurutan mendapatkan nilai Indeks Slaking sebesar 85,09%, 91,26%, dan 87,67%.

Untuk menentukan dan memaksimalkan tingkat klasifikasi slaking index, dalam penelitian selanjutnya peneliti dapat mencoba menggunakan variasi formasi batuan, lokasi dan jenis batuan yang berbeda guna mendapatkan data yang lebih bervariasi dan informatif untuk disajikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, Fauzan Umarah. (2020). *ANALISIS KARAKTERISASI LERENG BATUAN DAN KEMANTAPAN LERENG MENGGUNAKAN METODE SLOPE MASS RATING DAN LIMIT EQUILIBRIUM DI LERENG SIDEWALL UTARA (Studi Kasus Longsoran Pit Merandai, PT Cipta Kridatama Site BBE, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur)= ROCK SLOPE CHARACTERIZATION AND SLOPE STABILITY ANALYSIS USING SLOPE MASS RATING AND EQUILIBRIUM LIMIT METHODS ON THE NORTH SIDEWALL SLOPES (Case Study of Pit Merandai Landslide, PT Cipta Kridatama BBE site, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province)*. Universitas Hasanuddin.
- Abdurohman, Abdurohman. (2021). *ANALISIS PENGARUH AIR HUJAN TERHADAP KINERJA CAMPURAN BERASPAL PANAS TIPE LASTON (AC-WC)*. Universitas Siliwangi.
- Andriyanto, M. P., & Rahman, M. S. Khabibur. (2020). *Kerawanan Longsor Pada Lereng Tanah Lunak dan Penanganannya*. Penerbit Lakeisha.
- BASARI, ACHMAD, & Suryo, Sumar Hadi. (2012). *PENGARUH PADUAN ABU VULKANIK DAN TANAH LIAT TERHADAP SIFAT ABRASIF DAN KUAT TEKAN DINGIN SEBAGAI BAHAN REFRACTORY*. mechanical engineering department, faculty engineering of Diponegoro university.
- Dibiyosaputro, Suprpto, & Haryono, Eko. (2020). *Geomorfologi dasar*. UGM PRESS.
- Dwi Kurniawan, Riko. (2022). *GEOLOGI DAN PENGARUH STRUKTUR GEOLOGI TERHADAP POLA SEBARAN DAN KEMENERUSAN SEAM BATUBARA PT. SEBUKU TANJUNG COAL PADA CEKUNGAN ASEM-ASEM, FORMASI TANJUNG, PULAU LAUT, KABUPATEN KOTABARU, KALIMANTAN SELATAN*. UPN" Veteran Yogyakarta.
- Dwikasih, Finanti P., & Koesnaryo, S. Koesnaryo S. (2020). Pengaruh Struktur Ketidakmenerusan Pada Kestabilan Lereng Penggalan Batuan. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 2(1), 443–450.
- Ekaputra, Fiqri Sanubari. (2017). *Studi Pengaruh Variasi Jenis Binder Terhadap Derajat Reduksi dan Morfologi Briket Pasir Besi Dalam Pembuatan Sponge Iron*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Juliandi, Azuar, & Manurung, Saprinal. (2014). *Metodologi Penelitian Bisnis, Konsep dan Aplikasi: Sukses Menulis Skripsi & Tesis Mandiri*. Umsu Press.
- MUHAMMAD, BUDIMAN. (2012). *Geologi dan Studi Kestabilan Lereng Daerah Dlingo dan Sekitarnya Kecamatan Dlingo Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. UPN" Veteran" Yogyakarta.
- Oktaviani, Revia, Rahardjo, Paulus P., & Sadisun, Imam A. (2018). The Clay Shale Durability Behavior of Jatiluhur Formation Based on Dynamic and Static Slaking Indices.

International Journal of Scientific and Engineering Journal, 9(5), 1266–1281.

Ridha, Agustina Elfira, Farian, Yulius Romario, & Koesnaryo, S. Koesnaryo S. (2020). KAJIAN PENGARUH TINGAT PELAPUKAN TERHADAP KEKUATAN BATUAN PADA BATU ANDESIT, PARANGTRITIS, KEC. KRETEK, KAB. BANTUL, PROV. DI YOGYAKARTA. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 2(1), 349–358.

Rukin, S. Pd. (2019). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Yayasan Ahmar Cendekia Indonesia.

Sadisun, Imam A., Shimada, Hideki, Ichinose, M., & Matsui, K. (2005). Study on the physical disintegration characteristics of Subang claystone subjected to a modified slaking index test. *Geotechnical & Geological Engineering*, 23(3), 199–218.

Setiawan, Denny Adhiaharta. (2010). *Kajian sifat teknis agregat lokal di sekitar kabupaten Blora terhadap durabilitas campuran laston*. UNS (Sebelas Maret University).