

Analisis Pengaruh *Number of Cycles* terhadap Pengujian *Durability Slake* Batulempung pada Formasi Balikpapan dan Formasi Kampung Baru Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur

Muhammad Ashar Alias Suara ^{1*}, Tommy Trides ², Rety Winonazada ³, Revia Oktaviani ⁴, Windhu Nugroho ⁵, Lucia Litha Respati ⁶, Henny Magdalena ⁷

¹⁻⁷ Universitas Mulawarman, Indonesia

Korespondensi penulis: muhammad.aswar125@gmail.com

Abstract. *Durability is defined as a measure of a rock's resistance to weathering and disintegration when the rock undergoes weathering processes over a short period of time. The susceptibility of rocks to disintegration is related to their low durability. Rock durability is often measured using the slake durability test. The slake durability test is widely used to assess physical changes resulting from wetting-drying processes (Franklin and Chandra, 1972). Therefore, slake durability testing is conducted to understand the weathering of rocks caused by heat and water, particularly clay stones which are one of the constituent rocks on a slope. The sampling location is around Sanga-sanga and Muara Badak. Sampling was conducted with coordinate points and the Balikpapan and Kampungbaru formations. The claystone samples taken were then brought to the Mineral and Coal Technology Laboratory of the Engineering Faculty of Mulawarman University for Slake Durability tests. In this study, the lowest index value obtained was 45.7% and the highest value was 93%, indicating high to very high durability. The difference in the durability index values of claystone at the research locations indicates the presence of variables that can affect the slake durability index values of the claystone in the Balikpapan and Kampungbaru formations, including grain size and mineral content as well as geological conditions at the research site. Based on the results of the claystone durability tests, the durability index value (I_d2) was obtained, indicating that the sandstone at the research location falls into the classification of high to low.*

Keywords: *Durability, Mud, Decay.*

Abstrak. Ketahanan (*durability*) didefinisikan sebagai ukuran resistensi batuan terhadap pelapukan dan disintegrasi, ketika batuan mengalami proses pelapukan dalam jangka waktu yang singkat. Kerentanan batuan terhadap disintegrasi berkaitan dengan rendahnya durabilitas yang dimiliki batuan. Ketahanan batuan sering diukur dengan uji *slake durability*. Uji ketahanan *slake* banyak digunakan untuk menilai perubahan fisik sebagai akibat dari proses pembasahan-pengeringan (Franklin dan Chandra, 1972). maka dilakukan pengujian *slake durability* untuk mengetahui pelapukan pada batuan yang disebabkan oleh panas dan air khususnya batu lempung yang merupakan salah satu batuan penyusun pada suatu lereng. Lokasi pengambilan sampel berada di sekitar Sanga-sanga dan Muara Badak. Pengambilan sampel dengan titik koordinat dan Formasi Balikpapan dan Kampungbaru. Sampel batulempung yang diambil kemudian dibawa ke Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara Fakultas Teknik Universitas Mulawarman yang kemudian dilakukan pengujian Uji *Slake Durability*. Dalam penelitian ini diperoleh nilai *index durability* terendah 45,7 % dan nilai tertinggi 93%, yang menunjukkan ketahanan tinggi hingga tinggi. Perbedaan nilai *index durability* batulempung pada lokasi penelitian menunjukkan adanya variabel yang dapat mempengaruhi nilai *slake durability index* batulempung pada formasi Balikpapan dan Kampungbaru antara lain ukuran butir dan kandungan mineral serta kondisi geologi pada lokasi penelitian. Berdasarkan hasil pengujian *durability* batulempung diperoleh nilai *index durability* (I_d2) yang menunjukkan bahwa batupasir pada lokasi penelitian termasuk klasifikasi tinggi hingga rendah.

Kata Kunci : *Durability, Batulempung, Pelapukan.*

1. LATAR BELAKANG

Batuan adalah benda alam yang menjadi penyusun utama bumi. Kebanyakan batuan merupakan campuran mineral yang tergabung secara fisik satu sama lain. Beberapa batuan terutama tersusun dari satu jenis mineral saja, dan sebagian kecil lagi dibentuk oleh gabungan mineral, bahan organik serta bahan-bahan vulkanik (Nandi, 2010).

Mempelajari pengaruh pelapukan batuan terhadap kondisi batuan dan karakteristik sifat keteknikannya merupakan bagian yang sangat penting dalam investigasi geologi teknik. Maka, dalam upaya mengetahui secara rinci karakteristik sifat keteknikan batuan, studi pengaruh pelapukan batuan terhadap beberapa sifat keteknikannya dapat menjadi parameter masukan yang penting guna menunjang kegiatan perencanaan pembuatan desain perkuatan lereng.

Menurut Fookes (1971) ketahanan (*durability*) didefinisikan sebagai ukuran resistensi batuan terhadap pelapukan dan disintegrasi, ketika batuan mengalami proses pelapukan dalam jangka waktu yang singkat. Kerentanan batuan terhadap disintegrasi berkaitan dengan rendahnya durabilitas yang dimiliki batuan. Ketahanan batuan sering diukur dengan uji *slake durability*. Uji ketahanan *slake* banyak digunakan untuk menilai perubahan fisik sebagai akibat dari proses pembasahan-pengeringan (Franklin dan Chandra, 1972). Menurut Vivoda (2016) *slaking* dan pelapukan batuan yang lemah mengakibatkan ketidakstabilan lereng.

Untuk itu, maka dilakukan pengujian *slake durability* untuk mengetahui pelapukan pada batuan yang disebabkan oleh panas dan air khususnya batulempung yang berpengaruh pada pengujian *number of cycles*.

2. KAJIAN TEORITIS

Definisi Batuan

Batuan adalah agregat yang terbentuk secara alami dan koheren dari satu atau lebih banyak mineral. Ada tiga kelas utama batuan beku, sedimen, dan metamorf. Masing-masing dari ketiga kelas ini adalah dibagi lagi menjadi kelompok dan jenis. Batuan beku terbentuk dari batuan yang meleleh disebut magma. Saat magma memadat bawah tanah, batuan intrusi seperti granit dibuat. Batuan intrusif adalah disebut juga batuan plutonik. Jika magma mengalir ke permukaan tanah atau dasar laut, batuan ekstrusif seperti basal, terbentuk. Batuan sedimen biasanya dibuat deposit yang ada di permukaan bumi oleh air, angin, atau es. Mereka hampir selalu terjadi berlapis-lapis atau strata. Stratifikasi bertahan dari pemadatan dan sementasi dan merupakan pembeda ciri batuan sedimen. Beberapa batuan sedimen yang berasal dari kimia, telah diendapkan dalam bentuk padat dari sebuah solusi. Lainnya adalah biokimia asal dan sebagian besar terdiri dari senyawa kalsium karbonat. Ketika batuan yang ada terkena terhadap suhu atau tekanan ekstrim, atau keduanya, komposisi, tekstur, dan struktur internal dapat diubah menjadi membentuk batuan metamorf. Asli batuan dapat berupa batuan beku, sedimen, atau metamorf (Bonewitz, 2005).

Batu Sedimen

Menurut Tucker (2001) Sedimen adalah kelompok batuan yang beragam, mulai dari

batulumpur berbutir halus, melalui batu lempung hingga konglomerat dan breksi berbutir kasar. Sedimen sebagian besar terdiri dari biji-bijian (klast) yang berasal dari batuan beku, metamorf dan sedimen yang sudah ada sebelumnya. Butiran klastik dilepaskan melalui pelapukan mekanis dan kimia proses, dan kemudian diangkut ke pengendapan situs oleh berbagai mekanisme, termasuk angin, gletser, arus sungai, gelombang, arus pasang surut, aliran puing dan arus kekeruhan. Konglomerat dibuat terutama dari kerikil dan batu besar, dan ini dapat berupa berbagai jenis batuan. Batu lempung juga mengandung fragmen batuan, tetapi sebagian besar butiran adalah kristal individu, terutama kuarsa dan feldspar, terkelupas ke berbagai derajat. Produk penguraian yang lebih halus dari batuan asli, terbentuk selama pelapukan dan sebagian besar terdiri dari mineral lempung, dominan dalam lumpur dan membentuk matriks menjadi beberapa batu lempung dan konglomerat. Dalam arti luas, komposisi sedimen silisiklastik merupakan cerminan dari proses pelapukan, yang sangat ditentukan oleh iklim dan geologi daerah sumber (asal dari sedimen). Daerah sumber umumnya adalah dataran tinggi, daerah pegunungan mengalami pengangkatan, tetapi detritus juga dapat dipasok dari erosi di dataran rendah dan daerah pesisir. Komposisi sedimen juga terpengaruh berdasarkan jarak transpor sedimen dan diagenetik proses.

Batulempung

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 batu lempung 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).

Pelapukan Batuan

Proses pelapukan dapat didefinisikan sebagai proses perubahan batuan yang terjadi akibat pengaruh langsung atmosfer dan hidrosfer. Proses perubahan dicapai melalui dua proses utama, yaitu pelapukan fisik dan pelapukan kimia, yang berada dalam sebuah keseimbangan fisika-kimia baru. Berlangsungnya kedua proses tersebut dapat dikatakan relatif lambat, tetapi keberadaannya dalam batuan menjadi hal yang cukup penting dari sudut pandang keteknikan

(Sadisun dkk., 1998).

Slaking

Slaking merupakan keadaan tanah atau batuan yang tidak dapat mempertahankan konsistensinya karena adanya gangguan dari air. *Slaking* juga merupakan penyebab dalam distribusi perubahan ukuran partikel dan perubahan sifat mekanik (Putra dkk, 2016).

Number Of Cycles / Jumlah Siklus Pengujian Durability

Ketahanan (*durability*) didefinisikan sebagai ukuran resistensi batuan terhadap pelapukan dan disintegrasi, ketika batuan mengalami proses pelapukan dalam jangka waktu yang singkat (Fookes dkk., 1971). Uji *Slake durability* merupakan salah satu pendekatan kuantitatif yang dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan suatu batuan. Secara umum, tujuan dari uji *Slake durability* adalah untuk mempercepat proses pelapukan secara maksimal melalui perendaman, pemutaran, dan pengayakan (Sadisun dkk., 2002). Uji *Slake durability* digunakan secara luas untuk menilai perubahan fisik dan / atau perilaku slaking sebagai hasil dari proses pembasahan dan pengeringan (*wetting drying processes*) (Koncagul dan Santi, 1999). Hasil uji *Slake durability* batuan dapat mencerminkan tingkat kemudahan batuan untuk mengalami pelapukan dan erosi.

3. METODE PENELITIAN

Dalam kegiatan penelitian ini akan dibagi menjadi tiga tahapan yaitu pertama tahap pra lapangan berupa studi literatur, perumusan masalah serta metodologi penelitian. Tahap kedua adalah kegiatan tahap lapangan berupa pengambilan data. Data-data diambil dari lapangan dan uji laboratorium. Tahap ketiga berupa pasca lapangan yaitu mengolah data yang diperoleh dari tahap kedua, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan pengaruh *number of cycle* terhadap Uji *Slake durability*.

Tahap Pra Lapangan

Tahap pra lapangan yang dilakukan untuk penelitian ini meliputi :

- Studi Literatur

Studi Literatur, Kegiatan studi literatur ini dimaksudkan untuk mencari literatur yang berhubungan dengan penelitian sehingga dapat membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. Literatur dapat berupa buku-buku maupun jurnal ilmiah seperti mekanika batuan dan referensi yang berkaitan dengan penelitian ini.

- Persiapan Peralatan Uji Di Laboratorium

Peralatan untuk preparasi contoh, uji sifat fisik, dan uji *durability* terlebih dahulu dicek

kondisinya. Kemudian dilakukan perbaikan jika ada yang rusak atau penambahan komponen-komponen alat yang masih kurang untuk mendukung kelancaran penelitian. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- Palu geologi, untuk menghancurkan bongkah batuan menjadi fragmen- fragmen kecil.
- GPS, untuk mengetahui koordinat.
- Komparator Batuan, untuk mengetahui ukuran butir batuan.
- Mesin uji *durability*, untuk menguji ketahanan batuan.
- Oven, untuk mengeringkan conto.
- Neraca analitik, untuk menimbang berat conto dalam uji sifat fisik.
- Alat Pelindung Diri (APD)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Batuan

Dalam proses pengambilan sampel juga dilakukan deskripsi batuan guna mengetahui jenis batuan yang akan diteliti. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan oleh peneliti terhadap batuan pada lokasi penelitian yaitu formasi Balikpapan dan Kampungbaru termasuk dalam jenis batuan sedimen klastik dengan pemerian sesuai dengan hasil deskripsi megaskopik langsung dilapangan menggunakan komparator yaitu batulempung yang memiliki warna abu abu. Dari hasil pengamatan lebih lanjut mengenai sampel batuan didapatkan derajat pemilahan yang termasuk batuan terpilah baik, untuk derajat pembundaran yaitu membundar sempurna dan untuk kemas batuan merupakan kemas tertutup. Untuk matriks batuan merupakan lempung dan semen yang dimiliki batuan adalah non karbonat yang diketahui melalui pengujian menggunakan HCL. Berikut adalah gambar perbandingan antara sampel batulempung dengan komparator batuan.



Gambar 1. Komparator dan Sampel Batulempung

Hasil Pengujian Durability

Dalam penelitian kali ini dilakukan pengujian *durability* dengan menggunakan sampel batulempung dari Formasi Balikpapan dan Kampungbaru. Berdasarkan hasil pengujian *slake durability* dilakukan pengolahan data untuk memperoleh *Slake Durability Index* untuk menentukan klasifikasi ketahanan batuan pada daerah penelitian yaitu Formasi Balikpapan dan Kampungbaru. Berikut adalah tabel hasil pengolahan data *slake durability index*.

Tabel 1. Nilai *Slake Durability Index*(%) Batulampung

No	Kode Sample	Id ₂ (%)	Klasifikasi	Keterangan
1	S1 (BP1)	71.6	Medium	Formasi Balikpapan 1
2	S2 (BP1)	65.3	Medium	Formasi Balikpapan 1
3	S3 (BP1)	47.7	Low	Formasi Balikpapan 1
4	S4 (BP1)	63.6	Medium	Formasi Balikpapan 1
5	S5 (BP1)	77.5	High	Formasi Balikpapan 1
6	S6 (KB1)	75.3	High	Formasi Kampungbaru 1
7	S7 (KB1)	66.0	Medium	Formasi Kampungbaru 1
8	S8 (KB1)	67.1	Medium	Formasi Kampungbaru 1
9	S9 (KB1)	74.8	Medium	Formasi Kampungbaru 1
10	S10 (KB1)	66.9	Medium	Formasi Kampungbaru 1
11	S11 (KB1)	52.8	Medium	Formasi Balikpapan 2
12	S12(KB1)	50.7	Medium	Formasi Balikpapan 2
13	S13 (KB1)	45.7	Low	Formasi Balikpapan 2
14	S14 (KB1)	53.5	Medium	Formasi Balikpapan 2
15	S15 (KB1)	54.3	Medium	Formasi Balikpapan 2
16	S16 (KB1)	81.9	High	Formasi Kampungbaru 2
17	S17 (KB1)	65.8	Medium	Formasi Kampungbaru 2
18	S18 (KB1)	77.2	High	Formasi Kampungbaru 2
19	S19 (KB1)	63.5	Medium	Formasi Kampungbaru 2
20	S20 (KB1)	73.8	Medium	Formasi Kampungbaru 2

Pada Tabel 1 ditunjukkan nilai *slake durability index* dari pengujian dalam beberapa siklus. Pada sampel 1 dengan nilai indeks *durability* (Id₂) 71,6 % masuk dalam klasifikasi medium. Pada sampel 2-20 dengan nilai indeks *durability* (Id₂) 77,5 % - 81,9 % masuk dalam tinggi. Berdasarkan nilai indeks *durability* yang diperoleh dan Menurut Tabel Klasifikasi Ketahanan Batuan (Franklin dan Chandra,1972) batulampung pada lokasi penelitian sampel 1 termasuk dalam klasifikasi medium dan sampel 2-20 termasuk dalam klasifikasi tinggi.

Dalam penelitian ini diperoleh nilai *index* terendah 45,7 % dan nilai tertinggi 93%, yang menunjukkan ketahanan sangat tinggi hingga rendah. Perbedaan nilai *index durability* batulempung pada lokasi penelitian menunjukkan adanya variabel yang dapat mempengaruhi nilai *slake durability index* batulempung pada formasi Balikpapan dan kampungbaru antara lain ukuran butir dan kandungan mineral serta kondisi geologi pada lokasi penelitian. Menurut Misbahudin dkk (2018)

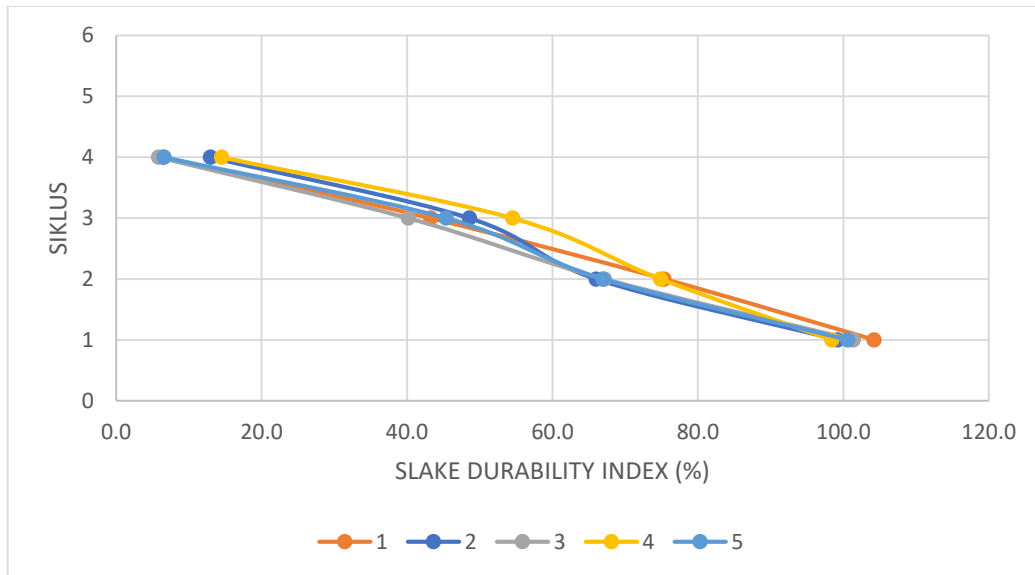
Pengaruh Jumlah Siklus Terhadap Pengujian *Slake Durability*

Dalam penelitian ini, peneliti membatasi jumlah siklus yang digunakan yaitu 4 siklus pengujian. Pembatasan jumlah siklus ini dilakukan karena selama pengujian berlangsung perubahan kondisi fisik sampel batulempung begitu signifikan pada tiap siklusnya. Dari hasil pengujian dan pengolahan data diperoleh grafik perbandingan antara jumlah siklus dengan *slake durability index* (Id_2). Berdasarkan grafik indeks *durability* (Gambar 4.6) terlihat bahwa dari siklus awal hingga akhir kekuatan batuan penurunan ketahanan yang terjadi pada sampel batuan dari tiap siklusnya begitu besar.

Tabel 2. Pengujian *Slake Durability*

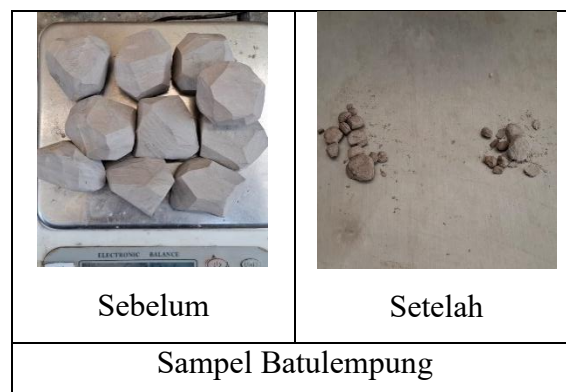
Sampel	SIKLUS			
	1	2	3	4
FORMASI BALIKPAPAN 1				
1	99,6	71,6	29,9	16,2
2	99,2	65,3	23,1	9,2
3	99,5	47,7	2,4	0
4	100,6	63,6	3,2	0
5	101,2	77,5	44,8	8,3
FORMASI KAMPUNGBARU 1				
6	104,2	75,3	43,2	6,5
7	99,2	66	48,5	12,9
8	101,3	67,1	40,1	5,8
9	98,4	74,8	54,5	14,5
10	100,6	93	96,37	6,6
FORMASI BALIKPAPAN 2				
11	108,9	52,8	29,2	8,9
12	89,3	50,7	15,6	2,2
13	110,7	45,7	37,7	9,2
14	105,7	53,5	22,1	8,2
15	99,4	54,3	32,8	11,5
FORMASI KAMPUNGBARU 2				

16	108,9	81,9	47,9	8
17	102,1	65,8	49,2	3,5
18	97,1	77,2	53,9	12,8
19	92,6	63,5	47	12,3
20	95,8	73,8	52,6	9,4



Gambar 2. Grafik Pengaruh Siklus Terhadap Nilai *Index Durability* (Id_2) Batulempung

Ketahanan batuan dapat juga diidentifikasi melalui perilaku penurunan ketahanan batuan hingga siklus pengujian keempat. Berdasarkan hasil pengujian *slake durability* dengan menggunakan 4 siklus pengujian, batulempung pada daerah penelitian merupakan kelompok batuan dengan ketahanan tinggi hingga rendah. Pola penurunan ketahanan berdasarkan grafik mengindikasikan proses pelapukan dan erosi yang berlangsung cepat.



Gambar 3. Bentuk Fragmentasi Sampel Batulempung

Namun dalam penelitian kali ini, jumlah siklus pengujian berpengaruh besar terhadap perubahan kondisi fisik pada pengujian *durability* sampel batulempung di Formasi Balikpapan dan Kampungbaru. Dapat disimpulkan bahwa jumlah siklus pengujian pada uji *durability*

batulempung berpengaruh secara signifikan pada kehancuran batuan. Perubahan kondisi sampel dapat dilihat pada gambar 3. Dari perubahan bentuk yang terlihat pada gambar perbandingan sampel saat sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian siklus ke 4 dapat dinilai bahwa sampel batulempung pada lokasi penelitian memiliki ketahanan yang tinggi terhadap erosi.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan pengolahan data pada pengujian kali ini diperoleh kesimpulan seperti berikut:

- Hasil pengujian *durability* didapatkan nilai *Slake durability index* (Id2) dengan nilai *index* terendah 45,7% pada formasi balikpapan 2 dan nilai tertinggi 93% pada formasi kampungbaru 1
- Hasil pengujian *durability* batulempung diperoleh kurva *index durability* yang menunjukkan penurunan nilai *index* relatif besar dari siklus satu ke siklus berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah siklus pada pengujian *durability* berpengaruh secara signifikan terhadap kehancuran batulempung pada Formasi Balikpapan dan Kampungbaru.
- Berdasarkan hasil pengujian *durability* batulempung diperoleh nilai indeks *durability* (Id2) yang menunjukan bahwa batulempung pada lokasi penelitian termasuk klasifikasi tinggi hingga rendah.

Saran

Setelah melakukan pengujian pada penelitian kali ini, adapun saran pada penelitian kali ini ataupun untuk penelitian berikutnya, yaitu:

- Penelitian selanjutnya dapat menggunakan sampel batuan yang beragam guna mengetahui perilaku yang dapat ditimbulkan pada tiap batuan.
- Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan bentuk sampel batuan yang beraturan untuk melihat pengaruh bentuk sampel terhadap hasil pengujian *Slake Durability*.

DAFTAR REFERENSI

- Abdurohman, A. (2021). *Analisis pengaruh air hujan terhadap kinerja campuran beraspal panas tipe Laston (AC-WC)*. Universitas Siliwangi.
- Amalia, A. S., & Hartono, E. (2019). *Pengujian slake durability pada tanah mudrock dengan metode stabilisasi dry dan spray coating*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Arif, I. I. (2016). *Geoteknik tambang*. Gramedia Pustaka Utama.

- ASTM. (2001). *Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks: D4644-87 (Reapproved 1992)*. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, PA.
- Balfas, M. D. (2015). *Geologi untuk pertambangan umum*. Graha Ilmu.
- Basari, A., & Hadi, S. S. (2012). Pengaruh paduan abu vulkanik dan tanah liat terhadap sifat abrasif dan kuat tekan dingin sebagai bahan refractory. *Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Diponegoro University*.
- Bonewitz, R. L. (2005). *Smithsonian rock and gem: The definitive guide to rocks, minerals, gems, and fossils*. Smithsonian.
- Dwikasih, F. P., & Koesnaryo, S. (2020). Pengaruh struktur ketidakhomogenan pada kestabilan lereng penggalian batuan. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 2(1), 443–450.
- Fookes, P. G., Dearman, W. R., & Franklin, J. A. (1971). Some engineering aspects of rock weathering with field examples from Dartmoor and elsewhere. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 4(3), 139–185.
- Franklin, J. A., & Chandra, R. (1972). The slake-durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 9(3), 325–328.
- Kurniawan, P., & Hadimuljono, B. (2021). *Applied geotechnics for engineers*. ANDI.
- Misbahudin, & Sadisun, I. A. (2018). Analisis ketahanan (durability) batulempung Formasi Subang di daerah Ujungjaya dan sekitarnya, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Geologi Lingkungan*, 6(2), 163–174.
- Nandi. (2010). *Batuan, mineral dan batubara*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Noor Djajuhari. (2009). *Pengantar geologi*. Deepublish.
- Nuryadi, T., Dwi Astuti, E., & Budiantara, M. (2017). *Dasar-dasar statistik penelitian*. SIBUKU MEDIA.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2014). *Mekanika batuan*. Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang, Institut Teknologi Bandung.
- Sadisun, I. A., Shimada, H., Ichinose, M., & Matsui, K. (2002). Evaluation of physical deterioration of slake-prone rock subjected to static slaking test. *The 11th Japan National Symposium for Rock Mechanics*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1003.3280>
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *Cara uji sifat tahan lekang batu (SNI 3406:2011)*.
- Tamanak, M. A., Berhиту, T., Ode, D. G., & Cahyono, Y. D. G. (2020). Pengaruh pelapukan terhadap kekuatan batuan andesit. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 2(1), 599–604.
- Tucker, M. E. (Ed.). (2001). *Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks*. John Wiley & Sons.
- Ulusay, R., Arian, F., Yoleri, M. F., & Çağlan, D. (1995). Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in a strip mine, SW Turkey. *Engineering Geology*, 40(1–2), 77–101.

Vivoda Prodan, M., & Arbanas, Ž. (2016). Weathering influence on properties of siltstones from Istria, Croatia. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 7839650. <https://doi.org/10.1155/2016/7839650>