

ANALISIS KETAHANAN (*DURABILITY*) BATULEMPUNG FORMASI SUBANG DI DAERAH UJUNGJAYA DAN SEKITARNYA, KABUPATEN SUMEDANG, JAWA BARAT

MISBAHUDIN, IMAM ACHMAD SADISUN

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB),
Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40132, Email: meljameel@gmail.com

Sari – Saat ini pembangunan skala besar sedang direncanakan di sekitar wilayah Sumedang, Jawa Barat yang meliputi pembangunan Bandara Internasional Kertajati, Jalan Tol Cisumdawu, Sentra Industri Ujungjaya, dan Bendungan Cipanas. Aktivitas pembangunan tersebut dapat terkendala permasalahan geologi teknik karena berada di atas batulempung Formasi Subang. Batulempung jenis ini diketahui memiliki pengaruh signifikan dalam aktivitas rekayasa karena sifatnya yang mudah hancur (*slaking*) ketika mengalami kontak dengan udara dan/ atau air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik ketahanan (*durability*) batulempung Formasi Subang di Daerah Ujungjaya, Kabupaten Sumedang. Penelitian dilakukan melalui observasi lapangan dan pengambilan sampel batulempung segar dalam bentuk sampel tak terganggu. Selanjutnya sampel dibawa ke laboratorium dan dilakukan pengujian *slake durability* serta analisis mineral lempung melalui uji difraksi sinar X. Dari hasil pengujian tersebut, batulempung Formasi Subang di daerah penelitian memiliki ketahanan rendah. Kandungan mineral monmorilonit dan pirit yang ditemukan pada sampel batulempung Formasi Subang menjadi faktor penyebab rendahnya nilai ketahanan batuan tersebut.

Kata kunci: Batulempung, Formasi Subang, *slake durability*, Sumedang

Abstract – Currently, a large-scale development is being planned around the Sumedang area, West Java, which includes the construction of the Kertajati international airport, Cisumdawu highway, Ujungjaya industrial centers, and Cipanas Dam. These development activities can be constrained by geological engineering problems because the constructions are conducted on the claystone of the Subang Formation. The type of this claystone is known to have a significant influence on the engineering activities because it easily slakes when in contact with air and water. The purpose of this study was to determine the durability characteristics of the Subang Formation claystone in the Ujungjaya Region, Sumedang Regency. The study was conducted with field observation and sampling of fresh undisturbed claystone. The samples were taken and tested for their *slake durability* characteristics as well as analysis of clay minerals by X-Ray Diffraction. Based on the results, claystone of Subang Formation in the study area have a low durability. The content of montmorillonite and pyrite that found in the sample into the factors causing the low value of the durability of claystone.

Keywords: Claystone, Subang Formation, Sumedang, *slake durability*

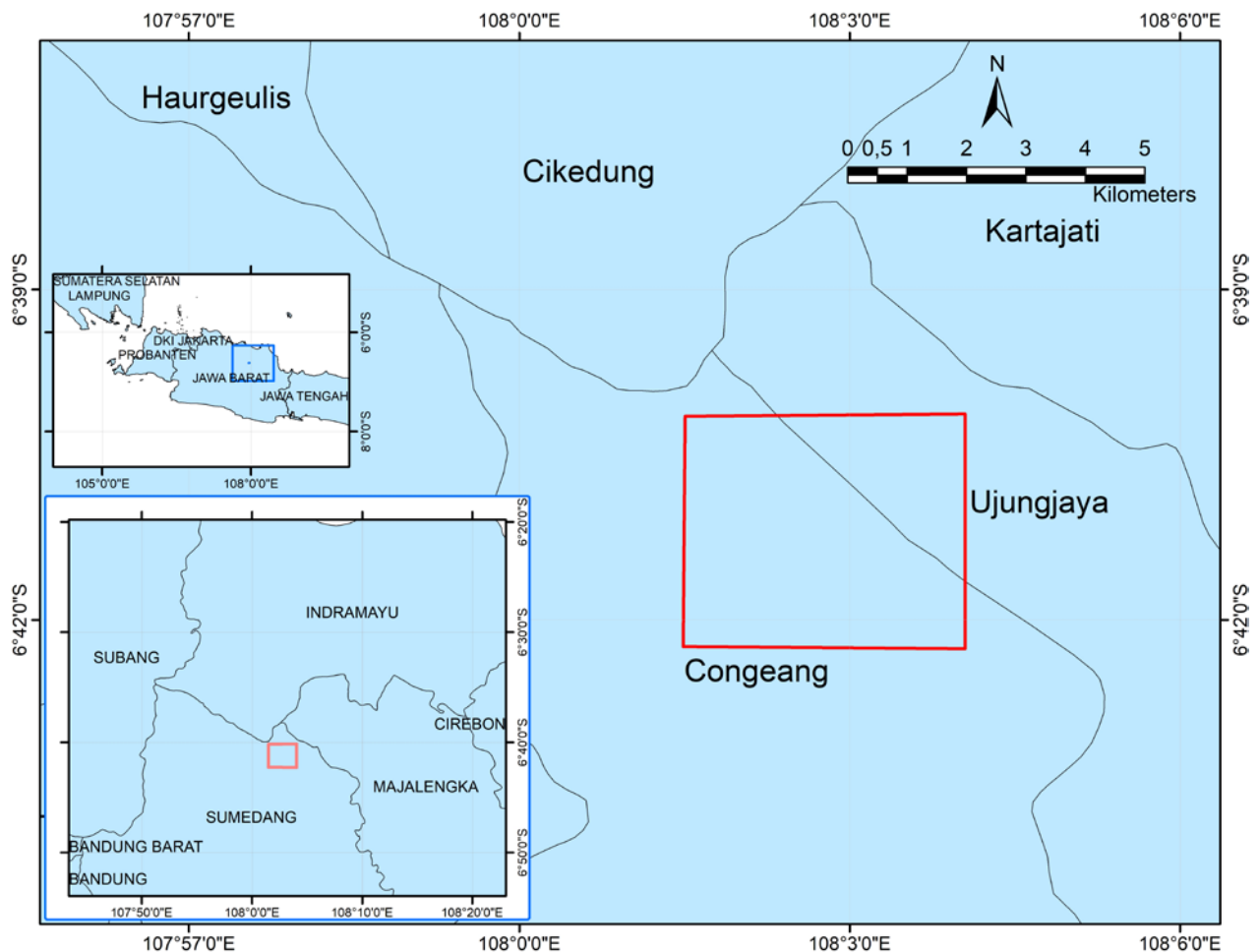
1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan pada aktivitas rekayasa yang dilakukan pada daerah yang mengandung batulempung, terjadi ketika upaya pencegahan atau minimalisasi dampak dari sifat batulempung yang sensitif tidak dilakukan. Pada saat pemotongan lereng untuk pembuatan jalan atau pengairan, batulempung yang memiliki sifat mengembang (*swelling*) cukup tinggi akan mengembang ke arah bukaan lereng, kemudian terjadi proses penggerusan (*slaking*) pada bagian dekat permukaan.

Ketika keadaan menjadi kering, maka akan terjadi runtuh yang membentuk endapan cukup masif di bawah kupasan lereng tersebut.

Selain itu, keberadaan batulempung akan membuat kondisi jalan cepat rusak dan bergelombang sehingga membutuhkan biaya perawatan yang besar. Batulempung dapat mengalami pengembangan tubuh batuan ketika berada dalam kondisi basah dan kemudian menyusut (*shrinking*) ketika kondisi berubah menjadi kering.



Gambar 1. Lokasi area penelitian.

Perubahan kembang-susut ini yang membuat lapisan permukaan untuk jalan dapat rusak karena permukaan batulempung menjadi tidak stabil dan hancur.

Permasalahan juga terjadi pada saat pembuatan lubang untuk pondasi dalam atau pengeboran yang menembus batulempung dengan ketahanan rendah. Setelah lubang terbentuk, apabila dinding bor tidak langsung ditutup (pemasangan *casing*), dinding lubang bor ataupun pondasi akan mengembang ke arah dalam dan kemudian runtuh.

Secara administratif, daerah penelitian terletak di Kecamatan Ujungjaya dan sekitarnya serta terletak juga pada area yang merupakan bagian dari Kecamatan Congeang, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat (**Gambar 1**). Di daerah tersebut sedang direncanakan pembangunan secara

besar-besaran meliputi pembangunan Bandara Internasional Kertajati, Jalan Tol Cisumdawu, Sentra Industri Ujungjaya, dan rencana Bendungan Cipanas. Aktivitas pembangunan tersebut dapat terkendala permasalahan geologi teknik karena berada di atas batulempung Formasi Subang. Batulempung Formasi Subang memiliki karakteristik khusus yaitu sering dijumpai dalam keadaan hancur (*slaking*) ketika tersingkap ke permukaan dan/ atau ketika berada dalam kondisi basah pada periode waktu singkat, sehingga memicu beberapa permasalahan yang signifikan dalam aktivitas kerekayasaan (Sadisun dkk., 2005). Misalnya, ketika lereng batuan sedang tersingkap karena penggalian, penghancuran lapisan permukaan yang bersifat progresif akan menjadi masalah utama selama kegiatan rekayasa berlangsung. Masalah ini dapat menghasilkan biaya perawatan yang

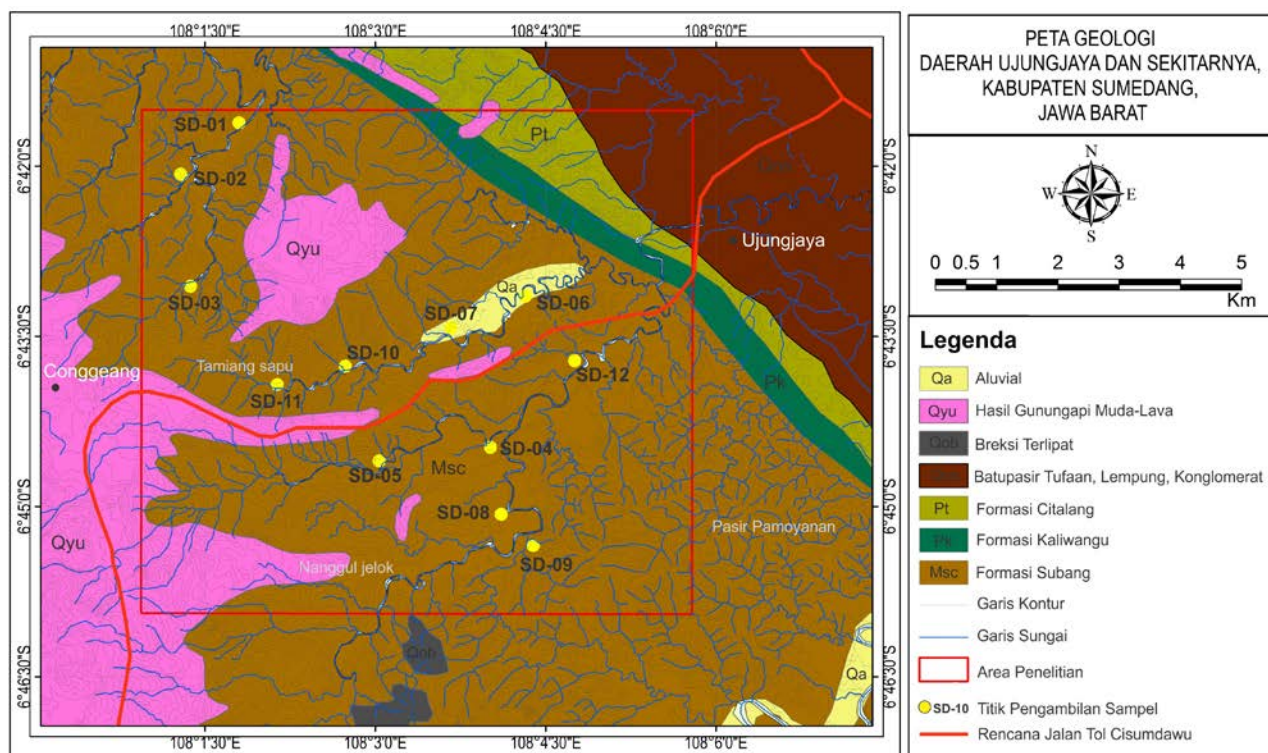
tinggi dan memberikan dampak bahaya *hazard*).

Quine (1993) menjelaskan *slaking* sebagai pengembangan batuan akibat interaksi mineral-mineral lempung dengan air dan menyebabkan disintegrasi batuan. Sementara itu, 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*) (Moon dan Beattie, 1995; Koncagul dan Santi, 1999; Gokceoglu dkk., 2000; Sadisun dkk., 2005). Hasil uji *slake*

dalam keamanan lereng (*safety durability*) batuan dapat mencerminkan tingkat kemudahan batuan untuk mengalami pelapukan dan erosi.

1.2 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

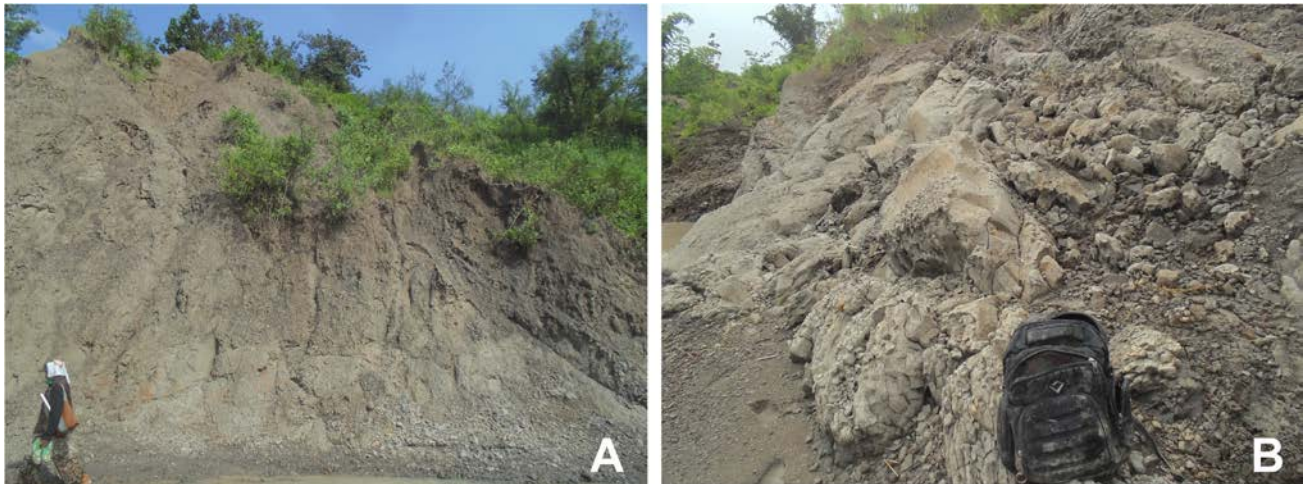
Secara fisiografi, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Bogor, antiklinorium yang tersusun atas satuan batuan berumur Neogen dan Kuarter yang terlipat kuat. Inti antiklinorium ini terdiri dari perlapisan batuan berumur Miosen dan sayap-sayapnya terbentuk oleh endapan Miosen dan Plistosen Bawah (van Bemmelen, 1949). Daerah penelitian tersusun atas satuan batuan Anggota Batulempung-Formasi Subang (MSc), Formasi Kaliwangu (Pk), Formasi Citalang (Pt), batupasir tufaan, lempung, konglomerat (Qos), hasil gunungapi muda tak teruraikan (Qyu), dan aluvial (Qa) (Djuri, 1973) (**Gambar 2**). Daerah penelitian dipengaruhi oleh pola struktur regional Jawa dengan arah relatif barat - timur (Martodjojo, 1984). Struktur-struktur geologi seperti sesar naik, lipatan, dan sesar geser juga dijumpai di daerah penelitian.



Gambar 2. Peta geologi Daerah Ujungjaya dan sekitarnya (digambar ulang dari Djuri (1973)) serta lokasi pengambilan sampel batulempung Formasi Subang.

Struktur-struktur geologi tersebut merupakan bagian dari Sesar Baribis dengan pola struktur relatif barat-timur. Tahapan geomorfik daerah penelitian termasuk ke dalam tahap dewasa, dicirikan oleh proses

denudasi yang terus berlangsung secara intensif, seperti longsor, pelapukan, dan erosi. Selain itu, sungai-sungai utama telah menunjukkan bentuk *meander* dengan erosi lateral yang dominan.



Gambar 3. (A) Kondisi lereng batulempung Formasi Subang dengan kehadiran alur-alur air yang mengerosi lereng. (B) Lereng tidak stabil dengan fragmen batuan yang hancur berada pada kaki lereng.



Gambar 4. (A) Gejala *slaking* pada lereng batulempung membuat lereng mudah runtuh. (B) Batulempung menunjukkan kenampakan fragmen yang hancur, retak, dan lapisan permukaan batuan terkelupas.

Di daerah penelitian, batulempung Formasi Subang memperlihatkan kondisi lereng yang tidak stabil dengan fragmen-fragmen yang terbentuk dari batulempung yang hancur akibat proses *slaking* dan erosi alur yang teramati pada lereng (**Gambar 3**). Hasil *slaking* pada batulempung menunjukkan kenampakan fragmen batuan yang terkelupas lapisan permukaannya, hancur dan retak

(**Gambar 4**).

1. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dibagi ke dalam tahap pengambilan sampel, tahap pengujian laboratorium yang terdiri dari uji *slake durability* dan difraksi sinar X, serta tahap analisis dan interpretasi data.

2.1 Pengambilan Sampel (*sampling*)

Di daerah penelitian, batulempung Formasi Subang mudah dijumpai pada lereng-lereng sungai. Pengambilan sampel tidak dapat dilakukan pada setiap lereng sungai yang ditemukan di lapangan. Hal ini berkaitan dengan kondisi beberapa lereng yang mengalami longsor dan pelapukan yang intensif. Secara umum, jarak pengambilan sampel antara dua sampel yang saling berdekatan berkisar pada jarak 1 – 2 km dengan distribusi pengambilan seluruh sampel relatif merata pada semua sisi area cakupan penelitian.

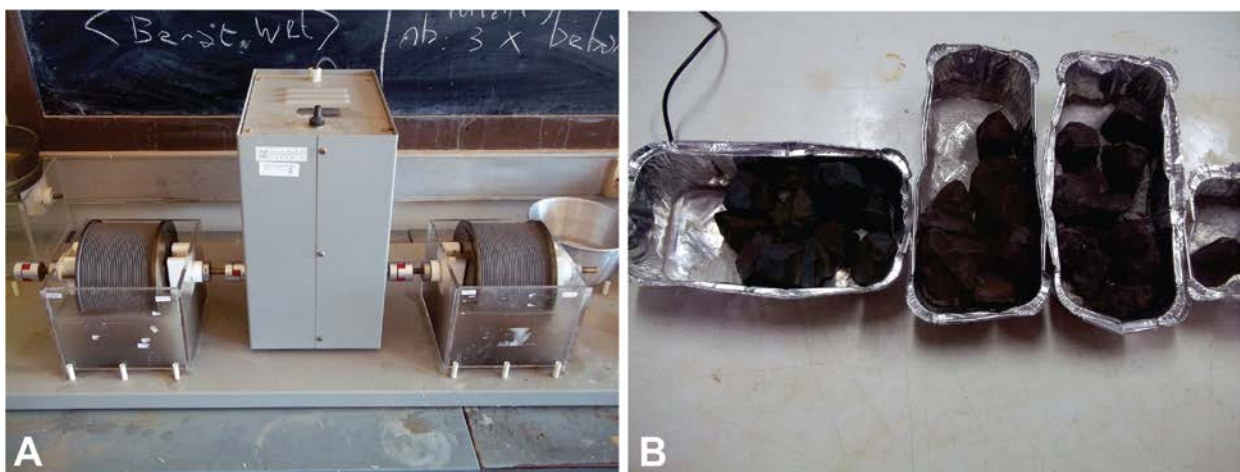
Sampel yang akan diuji diambil dari singkapan batuan yang segar. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan kotak sampel (*sample box*) berukuran 20 cm x 20 cm x 20 cm. Sampel diambil dalam keadaan tidak terganggu (*undisturbed sample*) untuk menjaga kondisi alamiah batuan. Dua belas sampel diambil dari lokasi yang berbeda di Daerah Ujungjaya dan Conggeang, Kabupaten Sumedang yang merupakan bagian dari batulempung Formasi Subang (lihat **Gambar 2**).

2.2 Uji *Slake Durability*

Alat uji *slake durability* terdiri dari mesin pemutar dan bak berisi air untuk tempat drum (**Gambar 5 (A)**). Prosedur yang digunakan dalam uji *slake durability* mengikuti standar dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2001) D4644-87 sebagai

berikut:

- Siapkan satu sampel yang diambil dari lapangan. Satu sampel ini kemudian dipecah menjadi sepuluh fragmen dengan bentuk tak beraturan. Masing-masing fragmen memiliki berat antara 40 dan 60 gram (**Gambar 5 (B)**).
- Sampel selanjutnya ditempatkan dalam oven selama 4 - 6 jam atau hingga massanya konstan. Proses pengeringan dalam oven merupakan tahap pengeringan sampel. Sampel kemudian didinginkan selama 20 menit dan ditimbang berat keringnya.
- Sampel dimasukkan ke dalam drum pengujian yang kemudian ditempatkan dalam bak air dengan ketinggian 20 mm di bawah sumbu drum. Kemudian sampel diputar menggunakan mesin *slake durability* dengan kecepatan 20 rotasi per menit selama 10 menit. Proses pemutaran sampel dalam bak air ini merupakan tahap pembasahan sampel.
- Drum pengujian diangkat dari bak air kemudian sampel diambil dan proses pengeringan dilakukan lagi dengan menempatkan sampel dalam oven selama 4 - 6 jam, lalu ditimbang berat keringnya.
- Proses pembasahan dan pengeringan (*wetting-drying*) diulangi untuk beberapa kali siklus pengujian.
- Sampel lain dilakukan pengujian dengan prosedur yang sama.



Gambar 5. (A) Alat uji *slake durability*. (B) Preparasi sampel dalam bentuk fragmen tak beraturan.

Dari pengukuran berat-berat kering tersebut, dapat diperoleh nilai *slake durability index* (I_d). *Slake durability index* merepresentasikan ukuran ketahanan suatu batuan terhadap perilaku mekanik batuan akibat batuan mengalami kontak dengan air dan udara (Fookes dkk., 1971). *Slake durability index* (I_d) dirumuskan sebagai rasio perbandingan antara berat kering akhir (W_s) dari fragmen batuan yang tertahan dalam drum setelah proses pembasahan dan pengeringan (*wetting-drying*) dengan berat kering awal (W_o),

$$I_d = \frac{W_s}{W_o} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Nilai *slake durability index* (I_d) dapat dihitung untuk masing-masing siklus pengujian. *Slake durability index* pada siklus kedua (I_{d2}) secara luas digunakan untuk menilai dan mengklasifikasikan tingkat ketahanan batuan. Franklin dan Chandra (1972) membuat standar klasifikasi ketahanan batuan seperti ditampilkan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Klasifikasi ketahanan batuan (Franklin dan Chandra, 1972).

I_{d2} (%)	Klasifikasi Durabilitas
0 - 25	Sangat Rendah
25 - 50	Rendah
50 - 75	Menengah
75 - 90	Tinggi
90 - 95	Sangat Tinggi
95 - 100	Ekstrem Tinggi

Untuk mengidentifikasi perilaku ketahanan batuan dalam rentang waktu yang lebih lama, maka pengujian *slake durability* dilakukan hingga siklus pengujian kelima.

2.3 Difraksi Sinar X

Komposisi mineral batulempung sulit untuk diidentifikasi melalui analisis petrografi sehingga untuk menentukan komposisi mineral tersebut digunakan metode difraksi

sinar X (*X-Ray Diffraction*) atau biasa disingkat XRD. Metode XRD sering digunakan untuk mengidentifikasi mineral pada batuan ukuran butir halus seperti batulempung. Karakteristik puncak (*peak*) difraksi dan intensitas relatif digunakan untuk mengidentifikasi mineral lempung. Standar mineral yang digunakan dalam identifikasi ini mengikuti data difraksi dari *International Center for Diffraction Data* (ICDD, 2002). Puncak pertama dari pola difraksi sinar X biasanya adalah identifikasi mineral yang paling berguna. Meskipun begitu, pola difraksi keseluruhan juga dipelajari.

Identifikasi mineral lempung secara semi kuantitatif dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *X-Powder Ver. 2004.04.01* dengan menggunakan data intensitas mineral dan *Reference Intensity Ratio* (RIR) yang terdapat dalam *database* perangkat lunak tersebut.

2.4 Regresi Dua Variabel (*Bivariate Analysis*)

Untuk memperkuat analisis pengaruh mineral lempung terhadap ketahanan batulempung Formasi Subang, maka dilakukan analisis regresi dua variabel (*bivariate analysis*). Analisis regresi merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengetahui adanya kedekatan dan kecenderungan perubahan dua buah variabel (Czajka, 1994; Davis, 2002). Koefisien deterministik (R^2) dapat menentukan seberapa kuat pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Nilai R^2 berkisar dari 0 hingga 1. Jika nilai R^2 mendekati 0, maka pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat semakin lemah, sebaliknya pengaruh variabel bebas akan semakin kuat terhadap variabel terikat jika nilai R^2 mendekati 1. Variabel bebas yang digunakan adalah persentase mineral lempung, sedangkan variabel terikat adalah *slake durability index* siklus kedua, I_{d2} .

Tabel 2. Persentase (%) kandungan mineral pada sampel batulempung Formasi Subang di daerah penelitian.

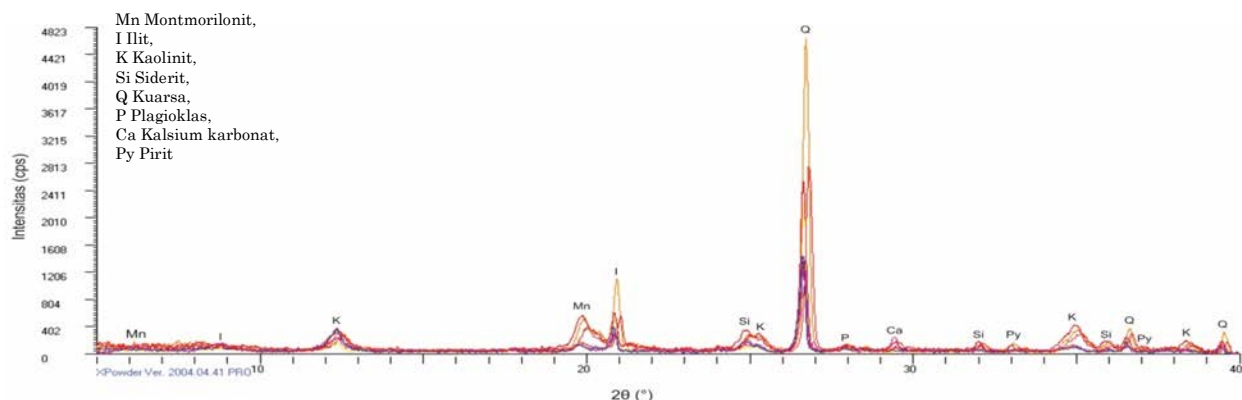
Mineral	Sampel				
	SD-01	SD-04	SD-05	SD-07	SD-08
Kuarsa	45,32	30,2	19,60	23,50	24,00
Montmorilonit	5,60	4,40	8,60	10,40	9,30
Kaolinit	24,86	28,80	26,00	24,30	16,90
Ilit	-	18,90	21,00	20,00	20,40
Pirit	-	3,40	5,20	4,40	4,50
Siderit	-	2,10	2,70	3,60	2,00
Kalsit	-	5,60	10,00	7,60	15,50
Plagioklas	24,22	6,60	6,90	6,20	7,40

2. HASIL

3.1 Deskripsi Litologi dan Kandungan Mineral

Secara megaskopis, batulempung Formasi Subang yang tersingkap di daerah penelitian berwarna abu-abu kecoklatan hingga abu-abu kehitaman, memiliki pecahan konkoidal, mengandung sedikit kalsium karbonat, memiliki konkresi oksida besi dan getas. Lima sampel batulempung Formasi Subang dilakukan analisis XRD, yang mewakili

keseluruhan sisi area penelitian. **Gambar 6** memperlihatkan difraktogram uji XRD terhadap sampel-sampel batulempung tersebut. **Tabel 2** menampilkan kandungan mineral yang berbeda-beda pada tiap sampel. Komposisi mineral kuarsa dan kaolinit kelima sampel terlihat relatif dominan dibandingkan dengan mineral-mineral lempung dan mineral sekunder lainnya seperti montmorilonit, pirit, kalsit, plagioklas, dan siderit.



Gambar 6. Difraktogram XRD sampel batulempung yang memperlihatkan kandungan montmorilonit, intensitas (cps) pada sumbu y dan sudut difraksi 2θ (°) pada sumbu x.

3.2 Karakteristik Ketahanan Batuan

Setelah melewati siklus pengujian pertama, semua sampel hancur menjadi fragmen besar dan fragmen yang lebih kecil, disertai retakan-retakan pada fragmen-fragmen tersebut. Sampel pada siklus kelima memperlihatkan kenampakan fisik berupa fragmen-fragmen kecil (**Gambar 7**).

Nilai berat kering setiap siklus pengujian

untuk seluruh sampel batulempung dirangkum dalam **Tabel 3**, sedangkan nilai *slake durability index* pada masing-masing siklus pengujian ditampilkan dalam **Tabel 4**. Berdasarkan klasifikasi ketahanan batuan, sampel SD-01, SD-03, SD-05, SD-07, SD-08, SD-09, SD-10, dan SD-11 dapat diklasifikasikan ke dalam golongan batuan dengan ketahanan sangat rendah (rentang I_{d2} = 0,08 - 23,51%), sedangkan sampel SD-02

dan SD-03 termasuk ke dalam golongan batuan dengan ketahanan rendah dengan I_{d2} berturut-turut 49,05% dan 26,80%. Sementara itu, sampel SD-06 dan SD-12 tergolong ke dalam batuan dengan ketahanan menengah dengan nilai I_{d2} secara berturut-turut 68,89% dan 67,00%.

Ketahanan batuan dapat juga diidentifikasi melalui perilaku penurunan ketahanan batuan hingga siklus pengujian kelima. Perilaku penurunan ketahanan ini ditampilkan dalam bentuk grafik *slake durability index* terhadap siklus pengujian (**Gambar 8**). Terdapat dua pola penurunan ketahanan batuan dari siklus pertama menuju siklus kelima. Pola pertama adalah pola penurunan nilai I_{d2} secara konstan yang kemudian diikuti dengan penurunan nilai I_{d2} secara akseleratif (*linear-deccelerated*) pada sampel SD-01, SD-03, SD-04, SD-05, SD-07, SD-08, SD-09, SD-10, dan SD-11. Pola kedua adalah pola penurunan nilai I_{d2} yang relatif konstan (*linear*).

3.3 Pengaruh Mineral Batuan Terhadap Durabilitas Batuan

Gambar 9 (A) menunjukkan grafik yang menghubungkan persentase mineral montmorilonit dengan *slake durability index* siklus kedua (I_{d2}). Nilai koefisien deterministik (R^2) sebesar 0,8686 mengindikasikan kuatnya pengaruh montmorilonit terhadap ketahanan batuan. Sementara itu, nilai $R^2 = 0,7138$ (**Gambar 9 (B)**) juga menunjukkan pengaruh kuat mineral pirit terhadap ketahanan batulempung Formasi Subang.

3. INTERPRETASI DAN DISKUSI

Berdasarkan nilai *slake durability index* seluruh sampel, dengan kisaran nilai sebesar 0,08% hingga 67,00% untuk I_{d2} , batulempung Formasi Subang dalam penelitian ini tergolong ke dalam batuan dengan ketahanan sangat rendah hingga menengah. Ketahanan yang umumnya rendah ini disebabkan kandungan montmorilonit dan pirit yang terkandung dalam batulempung. Kuatnya pengaruh montmorilonit dan pirit terhadap tingkat ketahanan batulempung Formasi Subang dalam penelitian ini tercermin dari nilai koefisien deterministik (R^2) yang tinggi.

Tabel 3. Hasil pengukuran berat kering masing-masing sampel pada tiap siklus pengujian (g); W_o menunjukkan berat kering awal, W_{s1} - W_{s5} menunjukkan berat kering pada siklus ke-1-5.

Sampel	W_o (g)	W_{s1} (g)	W_{s2} (g)	W_{s3} (g)	W_{s4} (g)	W_{s5} (g)
SD-01	487,10	269,90	113,10	50,70	10,10	4,30
SD-02	494,00	389,40	242,30	129,00	64,80	21,40
SD-03	477,20	326,10	127,90	57,40	23,90	7,30
SD-04	463,88	305,70	109,06	24,04	8,67	3,89
SD-05	438,92	189,33	17,18	1,61	0,61	0,18
SD-06	432,29	378,96	297,80	214,46	152,43	101,62
SD-07	405,02	28,97	0,33	0,30	0,29	0,28
SD-08	420,05	17,83	2,00	0,92	0,50	0,38
SD-09	437,52	79,10	6,74	0,82	0,51	0,35
SD-10	439,41	283,50	87,14	19,00	5,00	0,95
SD-11	432,07	244,65	74,20	12,40	2,01	0,18
SD-12	445,86	386,91	298,73	180,84	110,44	56,46

Tabel 4. Nilai indeks *slake durability* (I_d) masing-masing sampel pada setiap siklus pengujian; I_{d1} - I_{d5} menunjukkan nilai *slake durability index* pada siklus ke-1-5.

Sampel	I_{d1} (%)	I_{d2} (%)	I_{d3} (%)	I_{d4} (%)	I_{d5} (%)
SD-01	55,41	23,22	10,41	2,07	0,88

SD-02	78,83	49,05	26,11	13,11	4,33
SD-03	68,33	26,80	12,03	5,00	1,53
SD-04	65,90	23,51	5,18	1,87	0,84
SD-05	43,14	3,91	0,37	0,14	0,04
SD-06	87,66	68,89	49,61	35,26	23,51
SD-07	7,15	0,08	0,07	0,07	0,07
SD-08	4,24	0,48	0,22	0,12	0,09
SD-09	18,08	1,54	0,19	0,12	0,08
SD-10	64,52	19,83	4,32	1,14	0,22
SD-11	56,62	17,17	2,87	0,47	0,04
SD-12	86,78	67,00	40,56	24,77	12,66

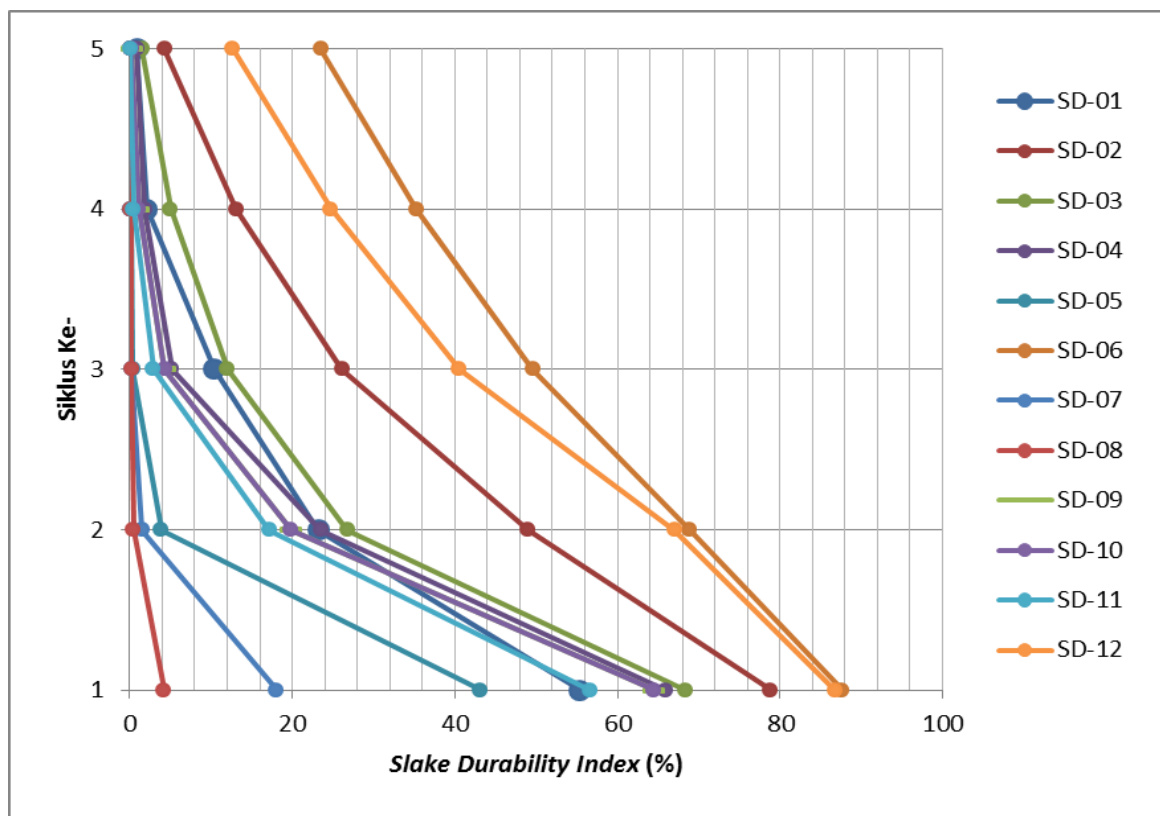
Menurut Taylor dan Spears (1970), Hopkin dan Deen (1984), serta Brattli dan Broch (1995), batuan yang mengandung mineral montmorilonit dan pirit dapat mengalami kehancuran atau disintegrasi ketika tersingkap ke udara dan/ atau mengalami interaksi dengan air. Struktur montmorilonit terdiri dari lapisan - lapisan unit silika - alumunium silika yang dipisahkan oleh ion H_2O yang sangat mudah lepas. Mineral ini dapat dikatakan sangat tidak stabil pada kondisi jenuh air. Air dengan mudah masuk ke dalam sela antar lapisan mineral sehingga mineral dapat mengembang. Pada waktu mengering, air di antara lapisan-lapisan montmorilonit juga mengering sehingga menyusut.

Selain kandungan montmorilonit, pirit, yang juga berperan dalam mempengaruhi nilai ketahanan batulempung, teridentifikasi pada sampel dalam penelitian ini. Ketika mineral pirit mengalami kontak dengan permukaan, maka akan terjadi oksidasi pirit menjadi sulfida besi ($FeSO_4$) dan asam sulfida bebas (H_2SO_4). Apabila terdapat kalsium karbonat ($CaCO_3$), asam sulfur yang terbentuk dari

oksidasi pirit kemudian dapat berubah menjadi ion sulfat (gypsum/ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$), memicu sedikit peningkatan volume dan akhirnya menghasilkan retakan batuan (Sadisun dkk., 2004). Pola penurunan ketahanan batulempung Formasi Subang dalam penelitian ini hingga siklus kelima menunjukkan dua pola berbeda. Perbedaan kedua pola, *linear-deccelerated* dan *linear*, mengindikasikan tingkat penurunan ketahanan yang berbeda. Secara umum dapat diinterpretasikan bahwa sifat batulempung Formasi Subang di daerah penelitian cenderung mengalami pelapukan dan erosi secara lambat pada tahap awal. Selanjutnya, semakin lama batulempung mengalami kontak dengan permukaan, semakin cepat pelapukan dan erosi berlangsung. Dasar dari interpretasi ini adalah uji *slake durability* merupakan percepatan atau kondisi terburuk dari proses pelapukan dan penghancuran alamiah terhadap batuan. Semakin lama batuan tersingkap ke permukaan, maka pelapukan dan erosi akan semakin meningkat (Moon dan Beattie, 1995; Koncagul dan Santi, 1999; Gokceoglu dkk., 2000; Sadisun dkk., 2002; Sadisun dkk., 2005).



Gambar 7. Perubahan fisik sampel sebelum dan setelah uji *slake durability*.



Gambar 8. Grafik indeks *slake durability* terhadap urutan siklus pengujian.

Tingkat ketahanan batulempung Formasi Subang di daerah penelitian yang rendah dan semakin cepatnya proses penurunan ketahanan ketika tersingkap ke permukaan mengindikasikan daerah penelitian relatif mudah mengalami ketidakstabilan lereng dan memiliki potensi terjadinya amblesan, tempat aktivitas rekayasa akan dilakukan, seperti dalam pembuatan Jalan Tol Cisumdawu yang dibangun di atas batulempung Formasi Subang. Berkaitan dengan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan upaya pencegahan atau minimalisasi dampak kerugian yang ditimbulkan, seperti upaya penghilangan material lempung melalui pengerukan atau penggalian untuk kemudian ditimbun dengan material yang lebih baik ketahanannya. Selain itu, dapat pula dilakukan pemasangan lapisan kedap air (plastik dan CaCO_3) untuk mencegah air meresap melalui retakan-retakan atau bidang kontak batulempung Formasi Subang sebelum pembuatan jalan dilakukan.

Selain menganalisis kandungan mineral lempung terhadap ketahanan batuan, perlu dilakukan juga kajian lebih lanjut mengenai keberadaan retakan-retakan pada batuan (*pre-existing fracture*) akibat pengaruh struktur geologi di daerah penelitian. Retakan ini dapat berperan sebagai jalur masuknya air yang dapat berinteraksi dengan mineral ekspansif di dalam batuan, seperti montmorilonit, yang pada akhirnya memicu terjadinya kehancuran batuan. Selain itu, kajian tentang pembebanan akibat sedimentasi (*overburden stress*) dan lepasnya tegangan tersebut (*release stress*) akibat pengangkatan dan erosi juga perlu dilakukan.

4. KESIMPULAN

Secara umum, batulempung Formasi Subang di daerah penelitian merupakan kelompok batuan dengan ketahanan rendah. Kandungan mineral monmorilonit dan pirit mempengaruhi rendahnya ketahanan batuan

dan menyebabkan hancurnya (*slaking*) batuan. Pola penurunan ketahanan batulempung Formasi Subang di daerah penelitian mengindikasikan proses pelapukan dan erosi yang berlangsung semakin cepat untuk waktu penyingkapan batuan yang lebih lama. Karakteristik ketahanan batulempung Formasi Subang di daerah penelitian dapat menjadi informasi teknis dalam tahap desain kegiatan rekayasa yang sedang dan/ atau akan berlangsung seperti pembuatan Jalan Tol Cisumdawu. Selain itu, juga dapat dicegah dampak kerugian pada tahap pemeliharaan (*maintenance*).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Tim Laboratorium Geologi Teknik ITB, Jona Maharani Kusuma, Satrio Dwijayanto, Arlangga Vidi Baswara, dan Teguh Winari atas bantuan dan kerjasamanya selama di lapangan dan pengujian di laboratorium. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Elfarino Trizani yang telah membantu dalam preparasi sampel dan pengoperasian perangkat lunak *X-Powder* untuk uji XRD di Laboratorium Hidrogeokimia ITB. Selain itu, penulis juga mengucapkan banyak terimakasih kepada penelaah, Maria S. Proborukmi, yang banyak memberikan masukan dan saran konstruktif sehingga artikel penelitian ini dapat ditampilkan dengan baik.

REFERENSI

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.

Brattli, B., Broch, E., 1995. Stability problems in water tunnels caused by expandable minerals: swelling pressure measurement and mineralogical analysis. *Eng. Geology* 39, 151–169.
doi:10.1016/0013-7952(95)00009-5

Czajka, R. 1994. Determination of variability of physical properties in a selected

layer (from the Baltic Cliff) using statistical methods. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geologists* 49, 33–39.
doi: 10.1007/BF02594998

Davis, J.C., 2002. Statistics and data analysis in geology, ed. 3. John Wiley & Sons Inc., New York, USA, 190–191.

Djuri, 1973. Peta Geologi Lembar Arjawinangun, Jawa. Direktorat Geologi, Bandung.

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* 4, 139–185.
doi: 10.1144/GSL.QJEG.1971.004.03.01

Franklin, J.A., Chandra, R., 1972. The slake-durability test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 9, 325–341.
doi:10.1016/0148-9062(72)90001-0

Gokceoglu, C., Ulusay, R., Sonmez, H., 2000. Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology* 57, 215–237.
doi:10.1016/S0013-7952(00)00031-4

Hopkins, T.C., Deen, R.C., 1984. Identification of shales. *Geotech. Testing J.* 7, 10–18.
doi: 10.1520/GTJ10479J

ICDD, 2002. The power diffraction file PDF2 database. International Centre for Diffraction Data, USA.

Koncagul, E.C., Santi, P.M., 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 36, 139–153.
doi: 10.1016/S0148-9062(98)00174-0

Martodjojo, S., 1984. Evolusi Cekungan Bogor. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

- Moon, V.G., Beattie, A.G., 1995. Textural and microstructural influence on the durability of Waikato coal measures mudrocks. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 28, 303–312.
doi: 10.1144/GSL.QJEGH.1995.028.P3.08
- Quine, R.L., 1993. Stability and deformation of mine waste dumps in north central Nevada. University of Nevada, Reno.
- 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, Jepang.
doi: 10.13140/2.1.1003.3280
- Sadisun, I.A., Shimada, H., Ichinose, M., Matsui, K., 2004. Textural and mineralogical properties of argillaceous rocks in relation to their propensity to slaking, *Engineering Geology for Sustainable Development in Mountainous Areas*, Free & Aydin. Geological Society of Hongkong.
doi: 10.13140/2.1.2287.4248
- Sadisun, I.A., Shimada, H., Ichinose, M., Matsui, K., 2005. Study on the physical disintegration characteristics of Subang claystone subjected to a modified slaking index test. *Geotechnical and Geological Engineering* 23, 199–218.
doi: 10.1007/s10706-003-6112-6
- Taylor, R.K., Spears, D.A., 1970. The breakdown of British coal measure rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 7, 481–501.
doi: 10.1016/0148-9062(70)90002-1
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia 1A* Martinus Nijhof. The Hague, The Netherland.