Karakterisasi Durabilitas Batulempung Menggunakan Uji Indeks Disintegrasi: Studi Kasus pada Lokasi Rencana Jalan Tol Cisumdawu di Daerah Ujungjaya, Sumedang, Jawa Barat***The Characterization of the Durability of the Claystones using the Disintegration Index Test: Case Study on the Plan Location of the Cisumdawu Toll Road in Ujungjaya District, Sumedang, West Java***Misbahudin^{1,2}, Imam Achmad Sadisun¹¹Kelompok Keahlian Geologi Terapan, Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132 Indonesia²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Eksplorasi dan Produksi, Universitas Pertamina, Jalan Teuku Nyak Arief, Kawasan Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12220

Naskah diterima 13 September 2017, selesai direvisi 18 Mei 2019, dan disetujui 07 Agustus 2019

e-mail: misbahudin@universitaspertamina.ac.id

ABSTRAK

Batulempung seringkali mudah hancur dalam periode singkat ketika tersingkap ke permukaan dan atau saat berinteraksi dengan air. Hal ini dapat memicu beberapa permasalahan di dalam kegiatan rekayasa. Salah satu kegiatan rekayasa yang sedang dan akan berjalan adalah pembuatan Jalan Tol Cisumdawu (Cileunyi-Sumedang-Dawuan) yang akan menjadi akses penghubung wilayah-wilayah di sekitar Bandung dan Cirebon. Jalan ini juga akan terhubung dengan Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB) di Kertajati. Bagian ruas jalan ini di daerah Ujungjaya, Sumedang akan melintasi Formasi Subang dan Kaliwangu yang memiliki litologi utama berupa batulempung. Karakterisasi durabilitas jenis batuan ini penting dilakukan untuk menunjang aspek teknis kegiatan rekayasa di sekitar area tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah pengambilan sampel tak terganggu (*undisturbed sample*) di lapangan, uji pembasahan dan pengeringan (*wetting-drying*) di laboratorium berupa uji indeks disintegrasi, uji mineralogi lempung melalui difraksi sinar X (XRD), dan uji sifat-sifat fisik batuan yang mencakup kadar air alami, densitas kering, porositas, dan absorpsi. Hasil penelitian menunjukkan indeks-indeks durabilitas batulempung dalam penelitian ini tergolong rendah. Disintegrasi batuan berlangsung cepat dan menunjukkan perilaku *body slaking*. Faktor-faktor yang berpengaruh kuat terhadap durabilitas batulempung terdiri dari porositas dan absorpsi. Rasio disintegrasi cenderung turun seiring kenaikan nilai porositas dan absorpsi batulempung.

Kata kunci: batulempung, Cisumdawu, durabilitas, rasio disintegrasi.

ABSTRACT

Claystones is often easily slaked in the short time when exposed to the surface and or when interacting with water. Claystones can trigger problems of engineering activities. One of the current and future engineering activities is the making of Cisumdawu (Cileunyi-Sumedang-Dawuan) toll road which will be the access areas around Bandung and Cirebon. Access roads will also be connected to the West Java International Airport (BIJB) in Kertajati. Part of these roads in the Ujungjaya district, Sumedang will cross Subang and Kaliwangu Formation with the main lithology of claystone. Characterization of durability of rock types is important to be done to support the technical aspects of

the engineering activities around the area. The research method used was undisturbed sampling in the field, wetting and drying processes in the form of disintegration index test, test for the clay mineralogy through X-ray diffraction (XRD) and test for the physical properties of rocks which includes the natural water content, dry density, porosity and absorption. Research results show durability indexes of the claystones have low values. Disintegration of rocks takes place rapidly and indicates the behavior of body slaking. Factors that affect durability of the claystones consist of porosity and absorption. The disintegration ratio tends to fall along with the rise in the value of the porosity and the absorption of the claystones.

Keywords: Cisumdawu, claystones, disintegration ratio, durability.

PENDAHULUAN

Batulempung merupakan bagian dari batuan lumpur (*mudrocks*) yang dalam dunia rekayasa seringkali menyebabkan permasalahan. Hal ini berkaitan dengan karakteristik batulempung yang seringkali mudah hancur dalam waktu singkat ketika tersingkap ke permukaan dan atau saat berinteraksi dengan air. Beberapa kasus relevan sering terjadi seperti kerusakan jalan dan longsoran di Jalan Tol Cipularang dan Cipali (Misbahudin, 2017). Hal ini disebabkan oleh keberadaan batuan dan tanah yang mengandung lempung. Salah satu pembuatan ruas jalan tol yang sedang digalakkan oleh pemerintah adalah Jalan Tol Cisumdawu (Cileunyi-Sumedang-Dawuan). Jalan ini akan mendukung akses ekonomi untuk wilayah-wilayah di sekitar Bandung dan Cirebon. Selain itu, jalan ini juga akan terhubung ke Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB) di Kertajati, Majalengka. Permasalahan yang dapat muncul di sekitar area tersebut adalah keberadaan batulempung Formasi Subang yang telah diketahui sering menyebabkan beberapa permasalahan rekayasa seperti pemotongan lereng dan timbunan (Sadisun dr., 2003). Pengaruh batulempung terhadap kegiatan rekayasa ditunjukkan oleh sifatnya yang mudah terkelupas dan retak dengan cepat sehingga diperlukan perhatian khusus. Pada umumnya, batulempung memiliki durabilitas yang rendah terhadap pelapukan dan proses penghancuran alamiah lainnya. Penelitian terkait durabilitas batulempung dapat memberikan gambaran teknis dalam tahap desain dan pelaksanaan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi karakteristik durabilitas batulempung di sekitar lokasi pembuatan Jalan Tol Cisumdawu menggunakan pengujian durabilitas statik, yaitu uji indeks disintegrasi. Pengujian ini dilakukan untuk meminimalisasi kerusakan mekanik yang terjadi pada uji durabilitas dinamik (*slake durability*) dan memaksimalkan proses penjenruhan

batuan oleh air seperti yang telah dipaparkan oleh beberapa peneliti seperti Moon dan Beattie (1995), Sadisun, dr. (2005), Erguler (2007), serta Erguler dan Ulusay (2009). Pada penelitian-penelitian tersebut, karakterisasi batulempung terhadap pelapukan dapat secara optimal dilakukan melalui perendaman sampel dalam air sehingga mengalami proses disintegrasi atau penghancuran tubuh batuan dalam waktu yang relatif singkat.

Objek dalam penelitian ini adalah Formasi Subang dan Formasi Kaliwangu dengan litologi utama berupa batulempung. Kehadiran batulempung yang memiliki durabilitas rendah dicerminkan oleh proses disintegrasi fisik secara cepat membuat kajian geologi mengenai karakteristik durabilitas batulempung di daerah ini menjadi penting guna menunjang informasi teknis berkaitan dengan rencana pembuatan jalan.

Lokasi penelitian berada di daerah Ujungjaya dan sekitarnya, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Daerah ini menjadi bagian dari ruas Jalan Tol Cisumdawu Seksi V Legok - Ujungjaya dengan panjang jalan 16,35 km (Kementrian PU, 2012). Lokasi penelitian terdiri dari 6 formasi batuan dari umur tertua hingga umur termuda, yaitu (Gambar 1): Formasi Subang – Anggota Batulempung (MSc), terdiri dari batulempung yang mengandung lapisan batugamping abu-abu tua, kadang-kadang juga ditemukan sisipan batupasir glaukonit hijau; Formasi Kaliwangu (Pk), terdiri dari batulempung dengan sisipan batupasir tufaan, konglomerat, kadang-kadang ditemukan lapisan-lapisan batupasir gampingan dan batugamping; Formasi Citalang (Pt), terdiri dari batupasir tufaan berwarna coklat muda, lempung tufaan, konglomerat, kadang-kadang ditemukan lensa-lensa batupasir gampingan yang keras; Batupasir Tufaan, Lempung, Konglomerat (Qos), terdiri dari lapisan-lapisan batupasir tufaan, pasir, lanau tufaan, lempung, konglomerat, breksi tufaan mengandung batupung, tersingkap sangat

luas membentuk dataran menggelombang lemah di bagian utara lembar peta; Hasil Gunungapi Muda Tak Teruraikan (Qyu), terdiri dari breksi lava bersifat andesit dan basalt, pasir tufaan, lapili. Berasal dari Gunung Tampomas dan Gunung Ciremai, biasanya batuan ini membentuk dataran atau bukit-bukit rendah dengan tanah yang berwarna abu-abu, kuning, dan kemerah-merahan; dan Aluvial (Qa), terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil; terutama endapan sungai sekarang.

Lokasi penelitian mengalami tahap geomorfik dewasa yang direpresentasikan dengan proses erosi dan pelapukan, terutama pada litologi batulempung Formasi Subang dan Formasi Kaliwangu. Erosi dan pelapukan pada kedua formasi tersebut berlangsung secara intensif, termasuk penggerusan lereng oleh aliran sungai yang bermeander dengan erosi horizontal yang dominan. Rute Jalan Tol Cisumdawu direncanakan akan melewati Formasi Subang dan Formasi Kaliwangu sehingga penelitian akan difokuskan pada sampel-sampel tersebut.

METODE PENELITIAN

Secara umum, proses pengambilan sampel mengikuti prosedur yang ditetapkan oleh Clayton drr. (1987). Sampel batulempung diambil dalam bentuk tidak terganggu (*undisturbed sample*). Hal ini berkaitan dengan potensi pelepasan tegangan (*stress release*) dari tegangan pembebanan (*overburden stress*) yang diterima sampel ketika proses pengendapan. Pelepasan tegangan ini dapat menyebabkan proses disintegrasi sampel berlangsung lebih awal. Oleh karena itu, pengambilan sampel terlebih dahulu dilakukan penggalian dengan kedalaman 0,5 – 1 m atau hingga kedalaman sampel yang tidak menunjukkan gejala retakan akibat pelepasan tegangan.

Sampel kemudian dibentuk secara hati-hati ke dalam dimensi 20 cm x 20 cm x 20 cm dan sesegera mungkin dilapisi oleh plastik *wrap* dan aluminium foil (Gambar 2). Pelapisan ini bertujuan untuk menghindarkan sampel dari perubahan kadar air alami dan suhu serta menjaga kondisi alamiah sampel. Setelah dilapisi bahan tersebut, sampel

Gambar 1. Lokasi penelitian berada pada rute Jalan Tol Cisumdawu dan melewati dua formasi batulempung, Formasi Subang dan Formasi Kaliwangu. Peta geologi bersumber dari Djuri (1973).

Gambar 2. (a) Proses pengambilan sampel dengan membentuk sampel ke dalam bentuk kubus, (b) Sampel kemudian dilapisi oleh plastik wrap dan aluminium foil serta dimasukkan ke dalam multiplex.

dimasukkan ke dalam kotak sampel yang tersusun dari lempengan *multiplex* dan dijaga terhadap guncangan mekanik menggunakan *bubble wrap* atau bahan peredam guncangan.

Pengujian pembasahan dan pengeringan (*wetting-drying*) yang disebut sebagai uji indeks disintegrasi mengikuti uji durabilitas statik terhadap batuan lumpur (*mudrocks* atau *clay-bearing rocks*) yang dilakukan oleh Erguler dan Ulusay (2009). Pengujian ini juga mengambil pertimbangan dari penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu oleh Sadisun drr. (2005). Prosedur utama uji indeks disintegrasi adalah persiapan sampel batuan dengan berat 450 – 550 gram yang dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105°C. Setelah didinginkan pada suhu ruangan, sampel kemudian direndam pada wadah berisi air selama 24 jam (Gambar 3). Sebagian besar sampel batuan akan mengalami disintegrasi fisik menjadi fragmen-fragmen kecil karena interaksi antara sampel batuan dengan air.

Indeks durabilitas yang dihasilkan dari uji indeks disintegrasi adalah indeks disintegrasi total yang dinyatakan dengan persamaan:

$$D_{(t)} = \frac{W_t}{W_o} \times 100 \quad \text{..... (1)}$$

Notasi $Di_{(t)}$ adalah indeks disintegrasi total (%),

W_t adalah berat kering sampel yang tertahan pada ayakan 2 mm (gram), dan W_o adalah berat kering awal sampel (gram).

Analisis ukuran fragmen dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran fragmen dari material hasil disintegrasi. Metode ayakan basah (*wet sieving*) digunakan dalam melakukan pemisahan material pada setiap ayakan (Gambar 4). Ayakan basah dilakukan secara manual sehingga tidak terjadi disintegrasi mekanik selama proses pengayakan. Ukuran ayakan yang digunakan dijaga agar tetap konsisten selama pelaksanaan pengujian. Ayakan yang digunakan memiliki ukuran bukaan 76,2 mm, 38,1 mm, 25,4 mm, 19 mm, 13,4 mm, 9,5 mm, 6,35 mm, 4,76 mm, dan 2 mm.

Dalam rangka menghadirkan karakteristik yang lebih representatif terhadap material hasil disintegrasi, rasio disintegrasi digunakan mengikuti penelitian yang dilakukan oleh Erguler dan Shakoor (2009). Rasio disintegrasi didefinisikan dengan persamaan:

$$D_R = \frac{A_c}{A_t} \quad \text{..... (2)}$$

Notasi D_R adalah rasio disintegrasi, A_c adalah area di bawah kurva distribusi ukuran fragmen sampel, dan A_t adalah area keseluruhan kurva distribusi ukuran fragmen yang mencakup seluruh sampel.

Gambar 3. (a) Persiapan sampel dengan masing-masing berat 450 - 550 gram, (b) Proses perendaman sampel dalam wadah berisi air.

Gambar 4. Beberapa ayakan yang digunakan dalam pengayakan basah (wet sieving).

Selain itu, indeks lain juga dapat dihasilkan dari kurva distribusi ukuran fragmen, yaitu koefisien interval distribusi yang merujuk persamaan:

$$K_D = \frac{\% \text{tertahan}(0.2 \text{ mm})}{\% \text{tertahan}(2 \text{ mm})} \dots\dots\dots (3)$$

Notasi K_{Di} adalah koefisien interval distribusi, $\% \text{tertahan}(20 \text{ mm})$ adalah persentase material yang tertahan dalam ayakan 20 mm, dan $\% \text{tertahan}(2 \text{ mm})$ adalah persentase material yang tertahan dalam ayakan 2 mm.

Difraksi sinar X (XRD) adalah metode yang sering digunakan untuk mengidentifikasi mineral lempung. Partikel yang lebih kecil dari 0,002

mm (ukuran butir lempung) digunakan untuk analisis ini. Persiapan sampel untuk analisis XRD mencakup penggunaan gelas atau keramik (*mount*) untuk sampel yang terorientasi. Sampel bubuk kasar dipersiapkan di atas gelas metalik untuk mengekstraksi material lempung. Karakteristik puncak difraksi dan intensitas relatif digunakan untuk mengidentifikasi mineral lempung. Standar mineral yang digunakan dalam identifikasi ini mengikuti *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS, 1993). Dalam persentase mineral yang dihasilkan digunakan analisis mineral *bulk*. Analisis mineral *bulk* dilakukan untuk mengetahui keberadaan mineral utama dalam sampel.

Berdasarkan penelitian Dick, dr. (1994), durabilitas

batuan dapat memiliki nilai yang tinggi karena berkaitan dengan derajat indurasi batuan yang tinggi dan dicerminkan oleh nilai densitas kering dan angka pori, sedangkan durabilitas rendah berkaitan dengan besarnya kandungan mineral ekspansif seperti grup smektit yang diindikasikan oleh nilai absorpsi dan berat jenis. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi karakteristik disintegrasi oleh sifat fisik batuan dilakukan serangkaian pengujian mengikuti standar pengujian dari ISRM (2007). Standar ini digunakan untuk menentukan kadar air alami, densitas kering, porositas, dan absorpsi batuan. Standar pengujian ini mengacu pada *ISRM 2007 Suggested Methods (Laboratory Tests) Part 1 SM for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties*. Standar untuk menentukan porositas dan absorpsi melewati proses perendaman dalam air. Sampel-sampel secara umum hancur menjadi fragmen-fragmen kecil. Untuk menghindari kondisi tersebut, perendaman diganti dengan cairan etilen glikol agar dapat meminimalisasi interaksi yang bersifat merusak antara batuan dengan air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dua formasi batuan yaitu Formasi Subang dan Kaliwangu menjadi fokus penelitian. Pada observasi di lapangan, karakteristik masing-masing batuan dalam formasi ini dijelaskan. Singkapan Formasi Subang dalam penelitian ini memiliki tingkat pelapukan dari batuan segar (*fresh rock*) hingga tanah residual (*residual soil*). Batuan segar

tersingkap secara luas yang ditemui pada lereng-lereng sungai. Deskripsi makroskopis batulempung berwarna abu-abu hingga abu-abu kehitaman, ukuran butir lempung dan dijumpai beberapa ukuran lanau, kekompakan rendah-menengah, setempat hadir pirit, dan sering dijumpai konkresi oksida besi.

Batulempung Formasi Subang memiliki durabilitas rendah dengan ciri mudah hancur (*slaked*) dalam waktu singkat. Kenampakan yang dapat diamati adalah struktur konkoidal berupa pecahnya batuan mengikuti bidang retakan. Retakan yang terjadi dapat berlangsung secara alamiah dan cepat, terutama bila dalam keadaan kering. Retakan yang terjadi memperlihatkan orientasi yang relatif sejajar dengan arah perlapisan batuan (Gambar 5).

Singkapan Formasi Kaliwangu memiliki penyebaran yang sempit. Di lokasi penelitian, singkapan batuan hanya ditemui di sebuah sungai (Sungai Cibayawak) yang merupakan lembah kecil di antara dua bukit seperti terlihat pada Gambar 1 (Sampel KC-01, KC-02, KC-03, dan KC-04). Singkapan dijumpai sebagian besar dalam keadaan segar. Deskripsi makroskopik batulempung berwarna abu-abu kehijauan, ukuran butir lempung, terdapat pecahan fosil moluska yang melimpah dengan ukuran 0,1 – 2 cm, kekompakan rendah, dan setempat terdapat nodul batugamping.

Singkapan batulempung umum dijumpai dalam keadaan segar dan mengalami proses pembasahan (*wetting process*) yang cukup intens. Batuan

Gambar 5. (a) Kenampakan batulempung Formasi Subang dengan struktur konkoidal dan kehadiran konresi oksida besi (warna coklat), (b) Retakan alamiah (sejajar arah skala meteran) yang muncul akibat tersingkap ke permukaan.

bersifat lengket jika dikupas. Beberapa retakan akibat kekar terisi oleh tanah atau bagian batuan yang lapuk. Retakan yang terjadi akibat proses disintegrasi atau *slaking* tidak berkembang dengan baik pada periode singkat. Akan tetapi dapat diamati adanya orientasi retakan alamiah mengikuti perlapisan batuan (Gambar 6).

Turki, mengemukakan hubungan kualitatif antara kandungan lempung yang tinggi (55 – 75%) berkontribusi besar terhadap proses disintegrasi. Kondisi tersebut termasuk kelas paling rendah (Kelas VI dengan *Slake Durability Rating* 0-19) atau memiliki durabilitas yang rendah. Sementara itu, Alatas dan Simatupang (2017) menemukan

Gambar 6. (a) Batulempung Formasi Kaliwangu dengan kandungan fosil moluska yang melimpah (warna putih pada batuan), (b) Retakan alamiah (sejajar skala meteran) tidak berkembang dengan baik akibat kondisi batuan yang mengalami proses pembasahan yang intens.

Berdasarkan pengamatan dan perekaman data di lapangan, sampel batulempung Formasi Subang dan Formasi Kaliwangu memiliki karakteristik yang berbeda terhadap disintegrasi batuan. Sampel Formasi Subang diduga memiliki durabilitas yang rendah dibandingkan Sampel Formasi Kaliwangu yang dicirikan oleh kerentanan yang tinggi terhadap proses disintegrasi melalui retakan-retakan alamiah yang terbentuk.

Identifikasi mineral lempung melalui pengujian difraksi sinar X (XRD) menghasilkan beberapa intensitas puncak (*peak*) mineral. Secara keseluruhan, sampel batulempung terdiri dari mineral lempung grup smektit (montmorilonit, beidelit, dan nontronit), kaolinit, dan ilit. Sementara itu, mineral kuarsa menjadi mineral paling besar kandungannya. Mineral lain yang terkandung dalam batuan adalah kalsit, plagioklas, siderit, dan pirit. Difraktogram XRD untuk sampel batulempung ditampilkan pada Gambar 7.

Persentase mineral hasil difraksi sinar X ditampilkan dalam Tabel 1. Pada tabel tersebut,

dapat diidentifikasi kandungan mineral kuarsa pada batulempung Formasi Subang lebih besar dibandingkan mineral lainnya. Jumlah mineral lempung grup smektit (montmorilonit) berkisar dari 3,1 – 10,4%. Kandungan mineral lempung lainnya, yaitu kaolinit dan ilit berturut-turut berkisar dari 11 – 28,8% dan 20 – 28,9%. Kandungan mineral sisanya terkandung pada kalsit, plagioklas, siderit, dan pirit.

Sementara itu, pada batulempung Formasi Kaliwangu mineral lempung ilit menjadi mineral yang dominan dengan kandungan sebesar 35,8% dan 53,3%. Mineral lempung grup smektit yang terdiri dari montmorilonit, beidelit, dan nontronit berturut-turut sebesar 3,3%, 8,3%, dan 8,2%. Kandungan mineral kaolinit sebesar 4,8% dan 17,7% sedangkan kandungan kuarsa sebesar 14,8% dan 21,3%. Kandungan sisanya tersebar pada mineral plagioklas, siderit, kalsit, dan pirit.

Erguler dan Ulusay (2009), dalam penelitiannya terhadap sampel batuan lumpur pada beberapa lokasi di bagian barat dan barat laut Negara

Gambar 7. (a) Difraktogram hasil difraksi sinar X pada sampel batulempung Formasi Subang, (b) Difraktogram sampel Formasi Kaliwangu. Mn montmorilonit, B Beidelit, N Nontronit, K Kaolinit, I Iilit, Q Kuarsa, P Plagioklas, Ca Kasit, Si Siderit, Py Pirit.

Tabel 1.
Persentase kandungan mineral lempung sampel batulempung. Kode SC (*Subang Claystones*), KC (*Kaliwangu Claystones*).

Mineral	Persentase Kandungan Mineral pada Sampel							
	Subang						Kaliwangu	
	SC-03	SC-04	SC-05	SC-06	SC-07	SC-09	KC-02	KC-03
Kuarsa	19,6	30,2	23,5	24	30,7	33,4	21,3	14,8
Montmorilonit	8,6	4,4	10,4	9,3	3,1	5,5	-	3,3
Nontronit	-	-	-	-	-	-	8,3	-
Beidelit	-	-	-	-	-	-	-	8,2
Kaolinit	26	28,8	24,3	16,9	16,6	11	17,7	4,8
Iilit	21	18,9	20	20,4	26,2	28,9	35,8	53,3
Pirit	5,2	3,4	4,4	4,5	4,6	5,7	-	1,8
Siderit	2,7	2,1	3,6	2	3,6	1,9	-	-
Kalsit	10	5,6	7,6	15,5	8,5	7	6,2	10,6
Plagioklas	6,9	6,6	6,2	7,4	6,7	6,6	10,7	3,2

Turki, mengemukakan hubungan kualitatif antara kandungan lempung yang tinggi (55 – 75%) berkontribusi besar terhadap proses disintegrasi. Kondisi tersebut termasuk kelas paling rendah (Kelas VI dengan Slake Durability Rating 0-19) atau memiliki durabilitas yang rendah. Sementara itu, Alatas dan Simatupang (2017) menemukan hubungan bahwa dominasi mineral grup smektit akan mempercepat proses pelapukan batuan. Hal ini diperlihatkan oleh persentase mineral grup smektit pada sampel batulempung di Semarang-Bawen yang mencapai 50% dibandingkan dengan mineral kaolinit dan ilit dengan persentase yang sama pada sampel batulempung di Hambalang. Adapun kandungan mineral lempung grup smektit tidak dominan pada lokasi penelitian.

Sifat-sifat fisik batulempung dalam penelitian ini meliputi densitas kering, porositas, absorpsi, dan kadar air alami. Nilai-nilai sifat fisik ini bervariasi akan tetapi terdapat kecenderungan nilai densitas kering dan kadar air alami pada sampel batulempung Formasi Kaliwangu lebih besar dibandingkan sampel batulempung Formasi Subang. Sebaliknya, nilai porositas dan absorpsi sampel Formasi Subang lebih besar dibandingkan sampel Formasi Kaliwangu. Secara umum, kelimpahan fraksi mineral monmorilonit pada sampel Formasi Subang lebih tinggi dibandingkan sampel Formasi Kaliwangu. Hal ini diduga berpengaruh terhadap nilai porositas dan absorpsi yang lebih besar pada

sampel Formasi Subang. Tabel 2 menampilkan rangkuman hasil uji sifat-sifat fisik sampel batuan dalam penelitian ini. Secara keseluruhan, nilai densitas kering sampel berkisar dari 1,70 – 2,18 gr/cm³, porositas 15,87 – 43,38%, absorpsi 8,38 – 24,67%, dan kadar air alami 14,62 – 32,71%.

Karakteristik durabilitas batulempung dalam penelitian ini dapat direpresentasikan secara keseluruhan melalui kurva distribusi ukuran fragmen. Gambar 8 menunjukkan kurva distribusi ukuran fragmen hasil disintegrasi untuk semua sampel. Pada kurva tersebut, dapat dilihat bahwa setiap sampel memiliki persentase material yang tertahan dalam ayakan secara berbeda-beda. Sampel KC-02 memiliki fragmen hasil disintegrasi tertahan dari ayakan 2 mm hingga 76,2 mm sedangkan Sampel SC-04 distribusi fragmen tersebar dari ayakan 2 mm hingga 6,35 mm. Gambar 9 menunjukkan beberapa sampel yang telah terdisintegrasi dan memiliki rentang ukuran fragmen yang berbeda-beda.

Dalam mengevaluasi karakteristik durabilitas batulempung dari kurva distribusi ukuran fragmen yang ditampilkan dalam Gambar 8, beberapa indeks durabilitas digunakan, mencakup indeks disintegrasi total ($Di_{(t)}$), rasio disintegrasi (D_R), dan koefisien interval distribusi (K_{Di}). Tabel 3 merangkum data pengujian indeks disintegrasi dengan tiga indeks durabilitas utama.

Tabel 2.

Rangkuman hasil uji sifat-sifat fisik batulempung. Kode SC (Subang Claystones), KC (Kaliwangu Claystones).

Sampel	Densitas Kering (gr/cm ³)	Porositas (%)	Absorpsi (%)	Kadar Air Alami (%)
KC-01	1,77	33,64	19,14	30,43
KC-02	2,18	15,87	8,38	29,10
KC-03	2,08	25,99	14,41	32,71
KC-04	1,89	32,95	18,72	21,58
SC-01	1,80	29,00	17,87	14,62
SC-03	1,72	29,33	18,89	16,39
SC-04	1,95	43,38	24,67	17,02
SC-05	1,79	37,64	23,37	18,09
SC-06	1,95	40,34	22,99	15,10
SC-07	1,81	31,33	19,27	16,41
SC-09	1,70	28,09	18,34	15,27
SC-10	1,91	30,23	17,57	15,57

Gambar 8. Kurva distribusi ukuran fragmen hasil disintegrasi dari pengujian indeks disintegrasi.

Gambar 9. Fragmen hasil disintegrasi memiliki rentang ukuran fragmen yang berbeda-beda.

Tabel 3.

Rangkuman data hasil pengujian indeks disintegrasi. Kode SC (*Subang Claystones*), KC (*Kaliwangu Claystones*).

Sampel	Indeks Disintegrasi Total, $Di_{(t)}$ (%)	Rasio Disintegrasi, D_R	Koefisien Interval Distribusi, K_{Di}
KC-01	0,17	0,0031	0,0001
KC-02	62,98	0,4462	0,6999
KC-03	27,50	0,1552	0,4655
KC-04	13,41	0,0152	0,0003
SC-01	68,08	0,1077	0,0003
SC-03	64,09	0,1692	0,0083
SC-04	1,04	0,0031	0,0001
SC-05	1,34	0,0038	0,0001
SC-06	8,23	0,0154	0,0003
SC-07	58,94	0,0769	0,0004
SC-09	54,57	0,0769	0,0004
SC-10	80,58	0,1692	0,0002

Nilai $Di_{(t)}$ menunjukkan persentase material yang tertahan dalam ayakan 2 mm. Pemilihan ukuran ayakan 2 mm sebagai acuan dalam penentuan indeks disintegrasi total berdasarkan kesamaan yang dimiliki dalam penentuan indeks *slake durability*. Sampel SC-10 menjadi sampel dengan nilai $Di_{(t)}$ tertinggi dibandingkan sampel lainnya dengan nilai 80,58% sedangkan sampel KC-01 memiliki nilai $Di_{(t)}$ terendah sebesar 0,17%.

Nilai rasio disintegrasi (D_R) merepresentasikan tingkat durabilitas batulempung. Berdasarkan penelitian Erguler dan Shakoor (2009), nilai D_R mendekati 0 menunjukkan durabilitas batuan yang rendah. Secara umum, sampel batulempung

dalam penelitian ini tergolong ke dalam durabilitas rendah. Sampel KC-02 memiliki nilai D_R tertinggi dibandingkan sampel lainnya sebesar 0,4462 sedangkan D_R terendah dimiliki oleh sampel KC-01 dan SC-04 sebesar 0,0031.

Gambar 10 menunjukkan karakteristik sampel yang secara umum mengalami *body slaking* ketika direndam dalam air. *Body slaking* ini direpresentasikan oleh nilai K_{Di} sampel batulempung yang memiliki kisaran nilai 0,0001 - 0,6999 (Erguler dan Ulusay, 2009).

Faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas batulempung ditentukan dengan melakukan analisis variabel bebas dan variabel terikat melalui

Gambar 10. (a) Kenampakan body slaking batulempung setelah proses perendaman dalam air pada Sampel SC-01, (b) Body slaking pada Sampel KC-02.

Gambar 11. Hubungan indeks disintegrasi total dengan rasio disintegrasi mengikuti suatu kurva eksponensial.

penarikan garis regresi. Metode analisis regresi merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengetahui adanya kecenderungan perubahan dua buah variabel (Davis, 1973 dan Czaka, 1994). Melalui koefisien deterministik (R^2) dapat ditentukan seberapa kuat pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Variabel bebas dalam analisis ini adalah mineralogi batulempung terutama kandungan mineral lempung grup smektit dan kandungan total mineral lempung (kaolinit, ilit, dan grup smektit), sifat-sifat fisik batuan yang meliputi kadar air alami, absorpsi, densitas kering, dan porositas sedangkan variabel terikat berupa rasio disintegrasi.

Gambar 11 menampilkan hubungan antara indeks disintegrasi total dengan rasio disintegrasi yang mengikuti suatu kurva eksponensial. Melalui koefisien deterministik (R^2), sebanyak 78,33% variasi rasio disintegrasi (D_r) dapat dijelaskan oleh kehadiran indeks disintegrasi total ($D_{i(t)}$) sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Dari kurva tersebut, dapat dilihat kecenderungan naiknya nilai rasio disintegrasi (D_r) oleh kenaikan indeks disintegrasi total ($D_{i(t)}$). Adanya perubahan kecil pada nilai indeks disintegrasi total ($\Delta D_{i(t)}$) akan menyebabkan nilai rasio disintegrasi (D_r) berubah secara drastis. Hal ini terutama berlaku ketika

nilai $D_{i(t)}$ lebih besar dari 50% maka nilai D_r naik secara drastis. Pada kurva ini juga dapat dipahami bahwa sampel batulempung dapat memiliki nilai indeks disintegrasi total yang sama tetapi memiliki distribusi ukuran fragmen (direpresentasikan oleh nilai rasio disintegrasi) yang berbeda secara nyata.

Gambar 12 memperlihatkan grafik hubungan antara mineralogi dan sifat-sifat fisik batulempung terhadap nilai rasio disintegrasi batuan. Berdasarkan gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa variabel porositas dan absorpsi memiliki pengaruh lebih kuat terhadap nilai rasio disintegrasi yang tercermin dari nilai koefisien deterministik (R^2) berturut-turut sebesar 0,6904 dan 0,5952. Kecenderungan turunnya nilai rasio disintegrasi batulempung seiring naiknya nilai porositas dan absorpsi batuan mengikuti suatu kurva eksponensial negatif. Perubahan kecil pada nilai porositas dan absorpsi akan berpengaruh terhadap perubahan nilai rasio disintegrasi secara drastis. Ketika sampel batuan memiliki nilai porositas >25% dan absorpsi >15% maka nilai rasio disintegrasi akan berkurang secara drastis. Adapun mineralogi lempung, kadar air asli, dan densitas kering memiliki hubungan yang tidak signifikan terhadap rasio disintegrasi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa secara kualitatif, semakin besar persentase mineralogi lempung maka disintegrasi

Gambar 12 Hubungan porositas dan absorpsi batulempung terhadap nilai rasio disintegrasi.

yang terjadi juga semakin besar, begitu juga dengan densitas kering dan kadar air asli. Semakin besar nilainya, maka terdapat kecenderungan tingginya disintegrasi yang terjadi pada batuan.

KESIMPULAN

Nilai indeks durabilitas berupa rasio disintegrasi batulempung dalam penelitian ini tergolong rendah dengan variasi nilai yang berbeda-beda. Sampel batulempung mengalami disintegrasi dengan cepat dan menunjukkan gejala *body slaking* yang tercermin dari nilai koefisien interval distribusi yang rendah. Sifat fisik berupa porositas dan absorpsi memiliki pengaruh lebih kuat terhadap perubahan nilai rasio disintegrasi (D_R) batulempung. Hubungan porositas dan absorpsi mengikuti suatu kurva eksponensial negatif terhadap nilai rasio disintegrasi (D_R). Nilai porositas >25% dan absorpsi >15% akan menurunkan nilai rasio disintegrasi (D_R) secara drastis. Secara umum, sampel Formasi Subang lebih rentan terhadap pelapukan dan disintegrasi dibandingkan sampel Formasi Kaliwangu. Hal ini diperlihatkan oleh sifat fisik berupa porositas dan absorpsi yang nilainya lebih tinggi pada sampel Formasi Subang dibandingkan dengan sampel Formasi Kaliwangu. Durabilitas yang rendah dan disintegrasi yang berlangsung secara cepat dapat berkontribusi terhadap keruntuhan-keruntuhan lereng atau timbunan jalan dalam kegiatan rekayasa pembuatan jalan. Karakteristik durabilitas yang rendah dan disintegrasi yang berlangsung cepat ini

juga dapat memicu adanya longsor atau gerakan tanah pada bagian lereng atas, lereng bawah, maupun badan jalan.

Secara umum, gambaran solusi yang dapat dilakukan untuk kasus material lempung dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu melalui perbaikan tanah dengan menggunakan larutan kimia dan secara fisik. Perbaikan tanah atau material batulempung secara kimiawi melalui penambahan larutan kimia asam sulfat atau dengan semen dan kapur. Cara kimiawi dapat mempengaruhi perbaikan sifat fisik dan mekanik material (Prabandiyani dkk., 2015). Sementara itu, perbaikan dengan metode fisik dapat dilakukan dengan proses pemadatan, pengeringan, atau penggantian material. Perbaikan fisik mengalirkan air pori ke luar massa tanah atau batuan. Penggantian material dilakukan dengan peningkatan gradasi butiran menjadi fraksi yang lebih besar seperti pasir sehingga memiliki parameter keteknikan yang lebih baik (Darwis, 2017).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada para penelaah yang telah memberikan saran perbaikan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alatas, I. M. dan Simatupang, P. T., 2017. Pengaruh proses pelapukan *clay shale* terhadap perubahan parameter rasio disintegrasi (D_R).

- Jurnal Teknik Sipil ITB*, Vol. 24 (1), hal 77-82.
- Clayton, C. R. I., Matthews, M. C., dan Simons, N. E., 1987. *Site Investigation*. Department of Civil Engineering, University of Surrey, hal. 15.
- Czaka, R., 1994. Determination of variability of physical properties in a selected layer (from the Baltic cliff) using statistical methods. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geologists*, Vol. 49, hal. 33 – 39.
- Darwis, 2017. *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Pustaka AQ, Yogyakarta, hal. 43 – 181.
- Davis, J. C., 1973. *Statistics and data analysis in geology*. John Willey & Sons, New York, hal. 550.
- Dick, J.C., Shakoor, A., dan Wells, N., 1994. A geological approach toward developing a mudrock-durability classification system. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 31, hal. 17 - 27.
- Djuri, 1973. *Peta Geologi Lembar Arjawinangun, Jawa, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Erguler, Z. A., 2007. *Investigation of the effect of water content on engineering behaviour of the clay-bearing rocks*. Tesis PhD, Geological Engineering Department, Hacettepe University, Turkey.
- Erguler, Z. A. dan Shakoor, A., 2009. Quantification of Fragment Size Distribution of Clay-Bearing Rocks after Slake Durability Testing. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. XV, hal. 81 – 89.
- Erguler, Z. A. dan Ulusay, R., 2009. Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: Disintegration index test and a new durability classification chart. *Engineering Geology*, Vol. 105, hal. 11 - 19.
- ISRM, 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006*.
- JCPDS, 1993. *Mineral Powder Diffraction File Databook: Search Manual for Selected PDF for Minerals*. Joint Committee on Power Diffraction Standards, Swarthmore.
- Kementrian PU, 2012. Jalan Tol Cisumdawu. [Http://www.pu.go.id](http://www.pu.go.id) [24 Agustus 2017].
- Misbahudin, 2017. *Karakterisasi durabilitas batuan lumpur (mud rock) dengan menggunakan uji indeks disintegrasi*. Tesis, Program Studi Magister Teknik Geologi, ITB.
- Moon, V.G. dan Beattie, A.G., 1995, Textural and microstructural influence on the durability of Waikato coal measures mudrocks. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 28, hal. 303 - 312.
- Prabandiyani, S., Hardiyati, S., Muhrozi, dan Pardoyo, B., 2015. Stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) pada tanah dasar di Daerah Godong – Purwodadi KM 50, Kabupaten Grobogan. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, Vol. 21 (1), hal. 13 – 22.
- Sadisun, I. A. Bandono, Shimada, H., Ichinose, M., dan Matsui, K., 2003. Slope Instability of Road Cuts Due to Rock Slaking. *12th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering*, World Scientific Publishing.
- Sadisun, I.A., Shimada, H., Ichinose, M., dan Matsui, K., 2005. Study on the physical disintegration characteristics of Subang claystone subjected to a modified slaking index test. *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 23, hal. 199 - 218.