



Analisis Derajat Pelapukan Massa Batuan Menggunakan Analisis Petrografi dan Uji Kuat Tekan Uniaksial (UCS) Pada Penambangan Kaolin Daerah Semin, Gunung Kidul, Yogyakarta

Mohammad Suriyaidulman Rianse[✉], Erwin Anshari, Abdul Hadid Rahman Ulfa, Tri Utomo Taliding

Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Halu Oleo, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: June 17, 2025

Accepted: September 01, 2025

Published: September 12, 2025

Keywords:

derajat pelapukan

kaolin

petrografi

uji kuat tekan uniaksial

geomekanika

Corresponding author:

Mohammad Suriyaidulman Rianse

Email: idel.rianse@uho.ac.id

Read online:



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

Copyright © 2025 Authors



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRACT

Pelapukan massa batuan merupakan proses yang sangat mempengaruhi kekuatan dan kestabilan lereng, terutama di area penambangan, seperti yang terjadi di Semin, Gunung Kidul. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis derajat pelapukan massa batuan pada penambangan kaolin di daerah tersebut dengan menggunakan analisis petrografi dan uji kuat tekan uniaksial (UCS). Sampel batuan diambil dari tiga lokasi yang mewakili kondisi material yang berbeda secara kenampakan megaskopis. Semua sampel yang diambil merupakan jenis litologi batulumpur teralterasi. Conto I dominan dengan mineral primer (plagioklas) dan sedikit mineral lempung, tergolong segar (kelas I). Conto II, yang menunjukkan peningkatan kandungan mineral sekunder dan pori, termasuk dalam kategori sedikit lapuk (kelas II). Sementara itu, Conto III, yang didominasi oleh mineral sekunder (lempung dan oksida) dan dengan nilai UCS yang sangat rendah, tergolong sangat lapuk (kelas V). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi derajat pelapukan, semakin besar kandungan mineral sekunder dan semakin rendah nilai kuat tekan batuan. Proses pelapukan, baik fisika maupun kimia, menyebabkan perubahan komposisi mineral yang membuat batuan lebih rapuh dan rentan terhadap kerusakan mekanis. Penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai pengaruh pelapukan terhadap kestabilan massa batuan di area pertambangan, dengan implikasi pada perencanaan dan pengelolaan tambang yang lebih aman.

ABSTRAK

Rock mass weathering is a crucial process that affects the strength and stability of slopes, particularly in mining areas such as Semin, Gunung Kidul. This study aims to analyze the degree of weathering of rock masses in the kaolin mining area using petrographic analysis and uniaxial compressive strength (UCS) testing. Rock samples were collected from three different locations representing varying material conditions based on macroscopic appearance. All the samples are of Altered Mudrock lithology. Sample I is dominated by primary minerals (plagioclase) with a small amount of clay minerals, classified as fresh (grade I). Sample II, which exhibits increased secondary mineral content and porosity, is categorized as slightly weathered (Grade II). Sample III, dominated by secondary minerals (clay and oxides) and with a very low UCS value, is classified as completely weathered (grade V). The results indicate that as the degree of weathering increases, the content of secondary minerals also increases, while the rock strength decreases. Weathering processes, both physical and chemical, alter the mineral composition of rocks, making them more brittle and susceptible to mechanical failure. This study offers valuable insights into how weathering impacts rock stability in mining areas, with implications for safer mine planning and management.

How to cite: Rianse, M.S., Anshari, E., Ulfa, A.H.R., Taliding, T.U. (2025). Analisis Derajat Pelapukan Massa Batuan Menggunakan Analisis Petrografi dan Uji Kuat Tekan Uniaksial (UCS) Pada Penambangan Kaolin Daerah Semin, Gunung Kidul, Yogyakarta. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 7(2), pp. 11-18. <https://doi.org/10.56099/ophi.v7i2.p59-66>

1 Pendahuluan

Pelapukan secara umum didefinisikan sebagai proses perubahan dan hancurnya batuan dekat permukaan bumi akibat aktifitas fisik, kimia dan biologi sehingga menyebabkan perubahan dalam batuan (Carroll, 1970). Umumnya, proses pelapukan akan menyebabkan perubahan karakteristik mineralogi, fisik dan geomekanika batuan. Perubahan mineralogi pada batuan disebabkan rentannya mineral penyusun batuan mengalami pelapukan. Pelapukan massa batuan secara signifikan mempengaruhi integritas dan durabilitas lereng batuan setelah penggalian (Fell dkk., 2005).

Proses pelapukan batuan dan massa batuan bergantung pada kondisi lingkungan seperti permukaan dan air tanah, iklim, dan batas penggunaan lahan. Kerentanan terjadinya pelapukan batuan dan massa batuan bergantung pada komposisi batuan tersebut. Secara umum tiga proses yang terlibat dalam pelapukan batuan yaitu pelapukan fisika (mekanik), kimia, dan biologi. Pelapukan fisika melibatkan pemecahan mekanis batuan tanpa mengubah komposisi kimianya. Teknik seperti Schmidt Hammer dan Point Load Index (PLI) digunakan untuk menilai kekuatan fisik batuan lapuk, menunjukkan bahwa peningkatan pelapukan berkorelasi dengan penurunan kekuatan batuan (Hanifah dkk., 2021; Sumbung dkk., 2020). Pelapukan kimia mengubah komposisi kimia batuan, seringkali mengarah pada pembentukan mineral baru. Misalnya, di iklim tropis seperti Kabupaten Lingga, pelapukan kimia berkontribusi pada pembentukan endapan bauksit dan ferit (Irzon, 2022). Pelapukan biologis melibatkan proses fisik dan kimia. Organisme seperti lumut secara fisik menembus permukaan batuan, menciptakan retakan dan meningkatkan porositas, yang memfasilitasi pelapukan kimia lebih lanjut (Chizhikova dkk., 2016; Depetris dkk., 2014).

Pelapukan dapat menyebabkan degradasi kekuatan batuan, membuat lereng lebih rentan terhadap kegagalan. Hal ini sangat relevan di daerah pertambangan di mana penggalian dan kegiatan lainnya dapat memperburuk proses pelapukan alami. Penelitian Wang dkk. (2023) telah menunjukkan bahwa degradasi kekuatan yang disebabkan oleh pelapukan dapat menyebabkan berbagai pola kegagalan lereng, seperti gelinciran dan runtuh yang menimbulkan risiko signifikan dalam operasi pertambangan. Tingkat pelapukan mempengaruhi sifat rekayasa batuan, seperti kekuatan tekan dan porositasnya. Misalnya, batuan yang sangat lapuk dapat menunjukkan pengurangan yang signifikan dalam kuat tekan uniaksial, yang sangat penting untuk menilai kapasitas bantalan beban struktur batuan di area pertambangan (Jaques dkk., 2020).

Memahami perubahan ini sangat penting untuk merancang operasi penambangan yang aman dan efektif.

Pelapukan mempengaruhi sifat rekayasa batuan, seperti kekuatan dan porositas. Misalnya, pelapukan dapat menyebabkan pembentukan mineral sekunder seperti mineral lempung, yang dapat menurunkan kekuatan batuan dan mempengaruhi stabilitas struktural di daerah pertambangan (Lee dan Cho, 2005). Memahami proses pelapukan sangat penting untuk penilaian bahaya di area pertambangan. Pelapukan dapat menyebabkan kerusakan lereng tambang, sehingga memerlukan pendekatan sistematis untuk mengevaluasi dan mengurangi bahaya tersebut (Nicholson, 2004).

Terdapat beberapa metode untuk mengklasifikasi pelapukan batuan seperti *Chemical Index Weathering* (CIW) oleh Harnois (1988), *Chemical Index Alteration* (CIA) oleh Nesbitt dan Young (1982) serta *Weathering Index* (WI) oleh Parker (1970). Dalam menentukan derajat pelapukan batuan, peneliti menggunakan klasifikasi pelapukan yang oleh ISRM (1978). Peneliti juga menggunakan klasifikasi derajat pelapukan oleh Ceryan dkk. (2008) dan *triangular weathering* oleh Momeni dkk. (2015).

Dalam penelitian ini, analisis petrografi dan uji kuat tekan uniaksial (UCS) digunakan untuk menentukan derajat pelapukan massa batuan yang terjadi pada penambangan kaolin di daerah Semin, Gunung Kidul. Metode petrografi memberikan informasi mengenai komposisi mineral, keberadaan mineral sekunder, dan perkembangan porositas serta rekahan mikro yang terbentuk akibat proses pelapukan. Pengamatan petrografi memungkinkan identifikasi jenis mineral yang terlibat dalam pelapukan, seperti mineral lempung yang terbentuk melalui pelapukan kimiawi, serta rekahan mikro yang menunjukkan adanya pelapukan fisika. Sementara itu, UCS digunakan untuk mengukur kekuatan mekanik batuan yang terpengaruh oleh pelapukan. Penurunan nilai UCS pada batuan yang lebih lapuk menunjukkan degradasi kekuatan batuan, yang berpengaruh pada kestabilan lereng tambang.

Sebagian besar studi terdahulu cenderung fokus pada analisis mineralogi atau uji kekuatan batuan secara terpisah, tanpa menggabungkan kedua metode tersebut untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap mengenai pengaruh pelapukan terhadap sifat mekanik batuan, khususnya di lokasi penambangan kaolin. Dengan demikian, penggunaan analisis petrografi dan UCS secara bersamaan dalam penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang bagaimana perubahan komposisi mineral akibat pelapukan mempengaruhi penurunan kekuatan batuan. Pendekatan ini juga memungkinkan identifikasi yang lebih baik terhadap

potensi kegagalan lereng tambang. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam perencanaan dan pengelolaan tambang yang lebih aman dan efisien.

2 Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian merupakan bagian dari fisiografi Pegunungan Selatan seperti yang dijelaskan oleh Van Bemmelen (1949). Secara geomorfologi, Pegunungan Selatan memiliki perbukitan kerucut, terutama di kawasan Gunung Sewu, yang diapit oleh dua cekungan, yaitu Ledok Wonosari di barat dan Ledok Baturetno di timur. Perbukitan ini memberikan pola topografi yang khas dan berkontribusi pada pembentukan lanskap yang terjal dan beragam. Cekungan ini berfungsi sebagai zona pengumpulan air, namun karena karakteristik batugamping yang memiliki porositas tinggi, air hujan cenderung cepat meresap ke dalam tanah, meninggalkan permukaan yang kering dan tandus (Say dkk., 2024).

Batas utara punggung ini ditandai oleh tebing curam yang membentang dari Parangtritis ke utara, kemudian membelok ke timur menuju Wonogiri di selatan Prambanan. Di utara tebing curam ini terhampar dataran rendah, di mana lipatan batuan yang lebih tua tertutup oleh endapan kipas aluvial-vulkanik muda dari gunung api.

KALA	ZONASI BLOW (1969)	PENELITI			
		BOTHE (1929)	VAN BEMMELEN (1949)	SUMARSO- ISMOWATI (1975)	SURONO, dkk. (1992)
HOLOSEN	N.23			Endapan Vulkanik Muda dan Alluvium	
PLISTOSEN	N.22				
	N.21				
PLIOSEN	N.20				
	N.19				
	N.18				
	N.17				
	N.16				
	N.15	Kepek			Kepek
	N.14		Wonosari		Wonosari
	N.13		Sambipitu		
	N.12		Nglanggran		Oyo
	N.11	Wonosari	Semilir		
MIOSEN	N.10		Kebo Butak		
	N.9	Oyo			Sambipitu
	N.8			Semilir	
	N.7				Nglanggran
	N.6	Sambipitu			Semilir
	N.5	Nglanggran			
	N.4				
	N.3 (P.22)	Semilir		Kebo Butak	Kebo Butak
	N.2 (P.21)	Kebo Butak			
	N.1 (P.20)				
OLIGOSEN	P.19				
	P.18				
	P.17				
EOSEN	P.16			Gamping	
	P.15	Wungkal			Wungkal Gamping
	P.14	Gamping			
	P.13			Wungkal	

Gambar 1 Tatanan Stratigrafi Pegunungan Selatan (Surono dkk., 1992)

Tatanan stratigrafi Pegunungan Selatan (Gambar 1), yang membentang dari Gunung Sewu di Gunungkidul hingga Pacitan, mencerminkan sejarah geologi yang kompleks sejak Pra-Tersier hingga Kuarter. Bagian paling tua berupa batuan metamorf

dan sedimen pra-Tersier Kelompok Jiwo, diendapkan pada lingkungan kipas bawah laut dan tersingkap lokal di Karangsambung. Pada Oligosen Akhir–Miosen Awal, endapan laut dalam berupa Formasi Kebo-Butak (batupasir, batulempung, batulanau berstruktur turbidit) mengisi cekungan sebelum diikuti fase vulkanisme intensif yang membentuk Formasi Semilir (tuf, breksi vulkanik, serpih tufaan) dan Formasi Nglanggran (breksi andesit, batupasir tufaan) sebagai puncak magmatisme. Memasuki Miosen Tengah, suplai material vulkanik berkurang dan lingkungan berubah menjadi dominasi karbonat, menghasilkan Formasi Sambipitu sebagai satuan transisi klastik–karbonat, Formasi Oyo berupa batugamping laut dangkal, dan Formasi Wonosari berupa batugamping masif pembentuk morfologi karst Gunung Sewu. Di bagian atas, Formasi Kepek berupa batulempung, serpih, dan batugamping tipis menandai fase laut lebih dalam. Endapan paling muda adalah alluvium Kuarter yang terdiri dari lempung, pasir, dan kerikil hasil pelapukan dan sedimentasi sungai. Keberurutan ini merekam evolusi dari sedimen laut dalam pra-vulkanik, fase vulkanisme intensif, hingga pembentukan karbonat yang kemudian terdeformasi oleh tektonik kompresi akibat subduksi Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia, membentuk struktur lipatan dan sesar yang menjadi ciri khas Pegunungan Selatan saat ini (Surono dkk., 1992).

Studi ini berlokasi di Formasi Semilir, yang secara selaras menutupi Formasi Kebo-Butak dan terbentuk dari letusan gunung api asam. Bagian bawah Formasi Semilir didominasi oleh tuf lapili, dengan interkalasi tuf, lempung tufan, batupasir tufan, dan breksi batulempung. Sementara itu, bagian atas Formasi Semilir didominasi oleh tuf yang bersisipan tuf lapili, batupasir tufan, dan batupasir kerikil (Surono dkk., 1992). Ketebalan total Formasi Semilir, baik bagian bawah maupun atas, diperkirakan mencapai 460 meter (Surono dkk., 1992), dengan umur formasi adalah Miosen Awal (Surono dkk., 1992).

Struktur geologi di daerah Semin didominasi oleh sesar mendatar tipe mengiri yang memotong satuan batugamping Formasi Wonosari. Di daerah ini juga ditemukan kekar gerus sistematis berarah hampir utara-selatan yang sejajar dengan Sesar Candi. Selain itu, arah struktur utara-selatan juga diidentifikasi sebagai Sesar Selopamioro, yang diduga merupakan sistem sesar tua yang terkubur. Sesar Sungai Semin ditunjukkan oleh adanya pola kelurusan Sungai Oyo dan sesar minor di sepanjang Sungai Oyo di Jambe dan di Ngasinan. Sesar ini memotong satuan batuan gunung api dan satuan batugamping Formasi Wonosari dan Formasi Kepek. Sesar Sungai Semin termasuk jenis sesar mendatar geser kiri.

3 Metode

Secara administratif lokasi penambangan kaolin berada di desa Karang Sari, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunung Kidul. Desa Karang Sari merupakan salah satu dari sepuluh Desa di Kecamatan Semin, berjarak sekitar ± 65 km ke arah selatan dari kota Yogyakarta. Secara astronomis Desa Karang Sari terletak pada $110^{\circ}21'$ sampai $110^{\circ}50'$ BT dan $7^{\circ}46'$ sampai $8^{\circ}09'$ LS.

Contoh diambil dari 3 lokasi yang memiliki kondisi kenampakan megaskopis material berbeda. Selanjutnya dilakukan pengamatan petrografi untuk melihat komposisi mineral yang terkandung pada tiap contoh. Kemudian dilakukan uji kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength*) untuk mengetahui kekuatan dari ketiga contoh tersebut. Terakhir, dilakukan pengklasifikasian derajat pelapukan dari ketiga sampel batuan yang telah diuji.

Deskripsi megaskopis kondisi material menggunakan klasifikasi derajat pelapukan menurut ISRM (1978). ISRM merekomendasikan klasifikasi dengan membagi pelapukan batuan kedalam enam tingkatan dan dapat digunakan dengan metode pengamatan langsung di lapangan (Tabel 1). Derajat pelapukan juga diklasifikasi berdasarkan komposisi mineral dengan menghitung persentase kehadiran mineral sekunder, rekahan mikro, dan pori (Ceryan dkk., 2008). Momeni dkk. (2015) merekomendasikan klasifikasi pelapukan Klasifikasi *Triangular Weathering*. Metode ini didasarkan pada indeks kekuatan batuan utuh serta perbandingan nilai kehadiran mineral lapuk dan mineral segar dalam satu contoh batuan.

Tabel 1 Klasifikasi derajat pelapukan menurut ISRM (1978)

Tingkatan Pelapukan	Deskripsi	Derajat
Segar	Tidak ada tanda-tanda pelapukan terhadap batuan, mungkin sedikit terjadi perubahan warna pada permukaan diskontinuitas.	I
Sedikit lapuk	Ada perubahan warna menunjukkan pelapukan material batuan dan permukaan diskontinuitas. Semua material batuan dapat berubah warna oleh pelapukan.	II
Agak lapuk	Sebagian material batuan akan terurai atau hancur menjadi tanah. Perubahan warna pada batuan segar yang menjadi batuan dasar akan terjadi secara terus menerus.	III

Tingkatan Pelapukan	Deskripsi	Derajat
Lapuk kuat	Lebih dari sebagian material batuan akan terurai atau hancur menjadi tanah.	IV
Sangat lapuk	Semua material batuan akan terurai menjadi tanah. Struktur massa batuan sebagian besar masih utuh.	V
Tanah sisa	Semua material batuan telah menjadi tanah.	VI

3.1 Klasifikasi Pelapukan berdasarkan Komposisi Mineral

Dengan menggunakan teknik petrografi, persentase mineral sekunder, rekahan mikro, dan pori dapat diketahui. Persentase ini dapat dihubungkan dengan persentase rekahan mikro dan pori, yang memungkinkan klasifikasi pelapukan dari batuan segar hingga tanah residu (Ceryan dkk., 2008). Pengamatan petrografi dilakukan guna mengetahui kandungan mineral dan perkembangan mineral ubahan hasil pelapukan seperti mineral lempung dan mineral serisit. Dalam penghitungan persentase kehadiran mineral digunakan metode *area counting*, yaitu dengan mengukur luas kenampakan mineral yang dibandingkan dengan luas bidang pandang pada pengamatan petrografi (Wiratmoko, 2018).

3.2 Klasifikasi Pelapukan berdasarkan Sifat Mekanik dan Mineralogi

Klasifikasi ini disebut dengan Klasifikasi *Triangular Weathering* (Momeni dkk., 2015). Klasifikasi ini didasarkan atas parameter indeks kekuatan batuan utuh, indeks kecepatan gelombang P, indeks struktur mikro dan perbandingan nilai kehadiran mineral lapuk dan total mineral yang ada dalam satu contoh batuan (lapuk dan segar). Klasifikasi pertama didasarkan pada indeks *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), yang merupakan indeks terbaik untuk menentukan perilaku mekanis batuan. Untuk menentukan indeks retensi kekuatan, maka perbandingan nilai UCS lapuk dan segar digunakan seperti pada Persamaan 1.

$$R_{S_{UCS}} = \frac{\sigma_{C_{wi}}}{\sigma_{C_f}} \quad (1)$$

$R_{S_{UCS}}$ adalah indeks kuat tekan uniaksial, $\sigma_{C_{wi}}$ dan σ_{C_f} adalah nilai kuat tekan uniaksial batuan lapuk dan batuan segar. Nilai batas kelas pelapukan yang digunakan untuk menentukan kelas Sedikit lapuk, Agak lapuk, Lapuk kuat, dan Sangat sempurna adalah 0,95, 0,45, 0,2 dan 0,02.

Selain penentuan tingkat pelapukan lewat pengujian sifat mekanik, penentuan jenis pelapukan yang bekerja juga dapat diketahui. Penentuan jenis pelapukan berdasarkan dua indeks yaitu

Microfracture Index (MI) dan *Decomposition of Primary Minerals* (DPM), dua indeks ini ditentukan berdasarkan pengamatan petrografi. Dua indeks tersebut (MI dan DPM) menentukan jenis pelapukan yang bekerja berupa pelapukan fisik untuk indeks MI dan pelapukan kimia untuk indeks DPM. *Microfracture Index* (MI) adalah indeks perhitungan nilai tingkat pelapukan fisika yang ditentukan dengan Persamaan 2.

$$MI = \frac{\text{Number of crack}}{\text{length of scanline section}} \quad (2)$$

Penilaian pelapukan kimiawi pada bagian batuan yang mengandung mineral terdekomposisi, indeks dekomposisi didefinisikan pada Persamaan 3. Dalam persamaan ini, parameter $D_{\text{weathered}}$ mengacu pada bagian terdekomposisi dari mineral-mineral primer yang mudah mengalami degradasi, dan D_{total} mengacu pada semua bagian mineral (mineral segar dan mineral lapuk). Hal ini berarti D_{total} mengacu pada total kehadiran mineral di batuan sebelum mengalami pelapukan.

$$D_{\text{pob}} = \frac{D_{\text{weathered}}}{D_{\text{total}}} \times 100 \quad (3)$$

4 Hasil dan Diskusi

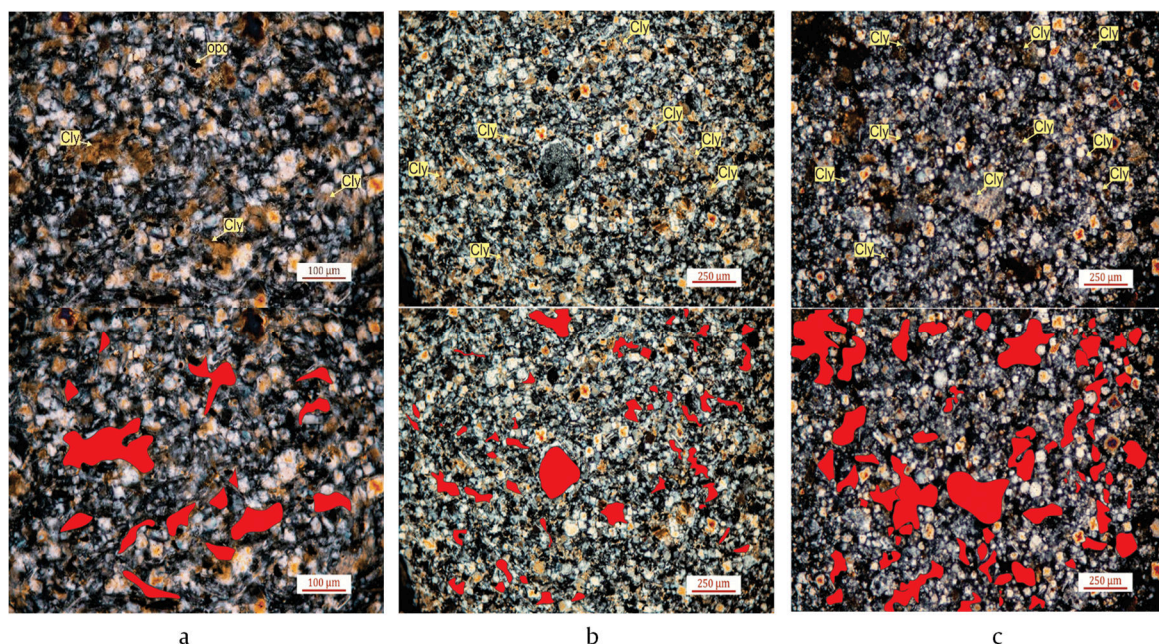
4.1 Klasifikasi Pelapukan Berdasarkan Pengamatan Petrografi

Klasifikasi pelapukan massa batuan didasarkan pada klasifikasi grafik Ceryan dkk. (2008), dimana parameter penentuannya meliputi persentase mineral sekunder, persentase nilai pori dan persentase rekahan mikro dan pori. Penentuan parameter-

parameter tingkat pelapukan diamati dengan menggunakan mikroskop polarisasi (pengamatan petrografi).

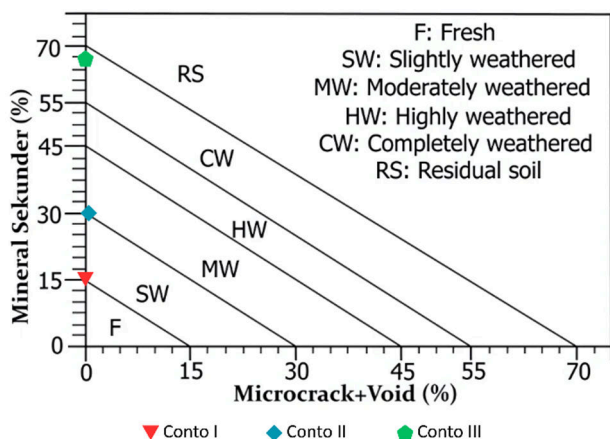
Contoh I (**Gambar 2a**) merupakan jenis litologi batulumpur teralterasi (Pettijohn, 1975) yang dicirikan dengan melimpahnya mineral plagioklas sebagai mineral primer dan sedikit mineral lempung dan opa. Munculnya mineral-mineral sekunder pada batuan ini mengindikasikan bahwa batuan ini telah mengalami proses pelapukan secara kimiawi. Berdasarkan klasifikasi Grafik Ceryan (**Gambar 3**), batuan ini tergolong dalam tingkat pelapukan segar (*fresh* / kelas I) dengan persentase mineral sekunder sebesar 15%. Batuan ini juga tidak dijumpai pori dan rekahan mikro. Batuan sudah cukup mengalami sedikit pelapukan dengan hadirnya mineral lempung. Keberadaan lempung yang terlihat dari sayatan petrografi merupakan hasil dari ubahan mineral primer (plagioklas).

Contoh II (**Gambar 2b**) merupakan jenis litologi batulumpur teralterasi (Pettijohn, 1975) yang memiliki ukuran mineral yang semakin kecil dibandingkan dengan sampel sebelumnya. Munculnya mineral-mineral sekunder pada batuan ini mengindikasikan bahwa batuan ini telah mengalami proses pelapukan secara kimiawi. Grafik Ceryan (**Gambar 3**), batuan ini tergolong dalam tingkat sedikit lapuk (*slightly weathered* / kelas II) dengan komposisi mineral sekunder sebesar 30% dan pori 0,5%. Persentase dari mineral primer (plagioklas) dan sekunder pada contoh kedua menunjukkan bahwa proses pelapukan meningkat dibandingkan contoh pertama.



Gambar 2 Kehadiran mineral sekunder pada sampel pengamatan (a) Contoh I (b) Contoh II (c) Contoh III

Contoh III (**Gambar 2c**) merupakan jenis litologi batulumpur teralterasi (Pettijohn, 1975) yang didominasi oleh mineral sekunder (lempung dan oksida) dan sedikit mineral primer (kuarsa dan plagioklas). Secara umum sampel ini memiliki komposisi mineral sekunder 65% dan tidak dijumpai kehadiran pori serta rekahan mikro. Berdasarkan Grafik Ceryan (**Gambar 3**), batuan ini tergolong dalam tingkat sangat lapuk (*completely weathered*/kelas V). Hasil ini mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan pelapukan mineral primer pada batuan di lokasi penelitian. Pada sayatan juga dijumpai mineral oksida yang mengindikasikan bahwa sampel telah mengalami proses alterasi.



Gambar 3 Hasil klasifikasi pelapukan berdasarkan kehadiran mineral sekunder pada sayatan menggunakan grafik Ceryan dkk. (2008)

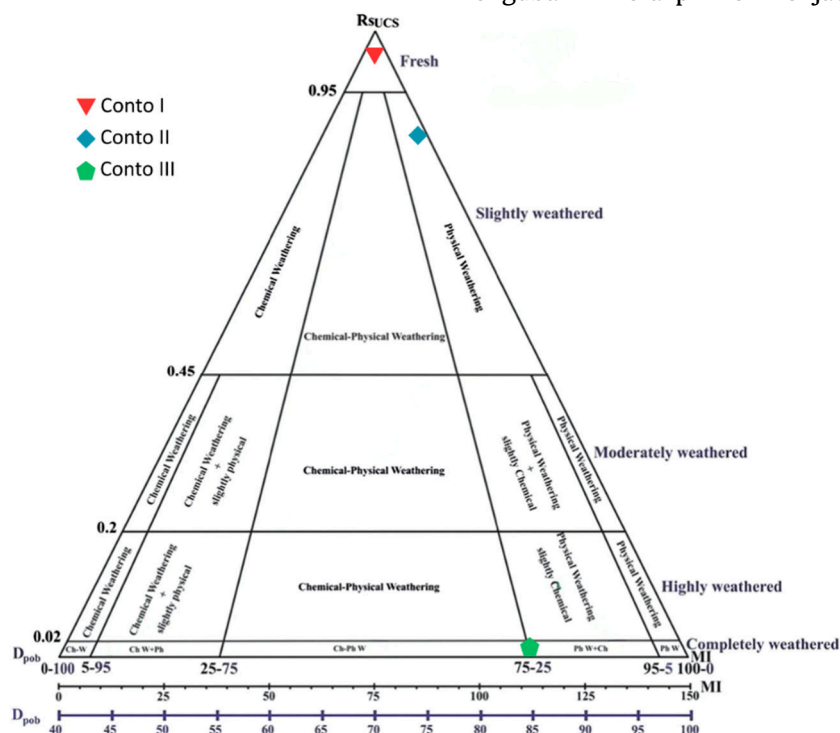
4.2 Klasifikasi Pelapukan Berdasarkan Nilai UCS dan Sifat Mineralogi

Klasifikasi selanjutnya didasarkan pada *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) yang merupakan indeks terbaik untuk menentukan perilaku mekanis batuan. Untuk alasan ini, uji UCS digunakan untuk mengklasifikasi pelapukan batuan. Penentuan sampel segar didasarkan pada hasil analisis petrografi yang dikombinasikan dengan grafik Ceryan dkk. (2008) yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Tabel 2 Hasil klasifikasi pelapukan berdasarkan nilai kuat tekan batuan

Parameter	Contoh		
	I	II	III
UCS (Mpa)	40,66	35,18	0,02
Dpob	15	91	72
MI	2	8	140
RsUCS	1	0,87	0,0005
Jenis Pelapukan	-	Fisika	Kimia-Fisika

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara kandungan mineral sekunder pada sampel batuan dan kekuatan mekaniknya yang diukur dengan uji kuat tekan uniaksial (UCS). Semakin tinggi kandungan mineral sekunder, semakin rendah nilai UCS yang dihasilkan, yang mencerminkan penurunan kekuatan batuan akibat pelapukan. Proses pelapukan, yang melibatkan perubahan fisika, kimia, dan biologi mengubah mineral primer menjadi mineral sekunder



Gambar 4 Hasil klasifikasi *triangular weathering* terhadap kuat tekan uniaksial dan sifat mineralogi

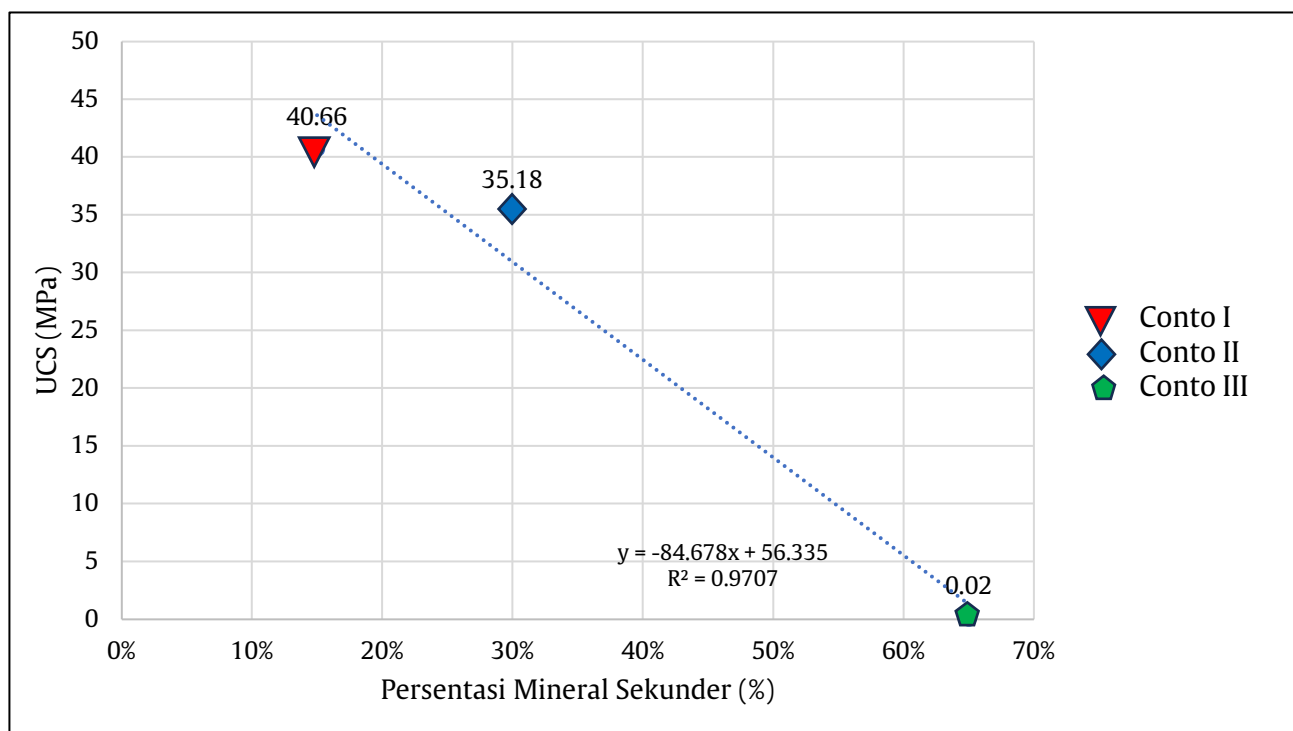
seperti mineral lempung, yang menyebabkan batuan menjadi lebih rapuh dan mudah hancur. Hal ini memiliki dampak signifikan terhadap stabilitas batuan di area pertambangan, karena batuan yang lebih lapuk cenderung lebih rentan terhadap kegagalan mekanis. Oleh karena itu, pemahaman tentang hubungan ini penting untuk penilaian risiko dan perencanaan operasi tambang yang aman.

Hasil klasifikasi derajat pelapukan menurut [ISRM \(1978\)](#), [Ceryan dkk. \(2008\)](#), dan [Momeni dkk. \(2015\)](#) menunjukkan konsistensi yang signifikan (**Tabel 3**). Ketiga pendekatan tersebut secara berkesinambungan mendeskripsikan kondisi batuan mulai dari segar tanpa indikasi pelapukan, mengalami pelapukan ringan, hingga pelapukan total dengan massa batuan yang sangat lapuk. Koherensi ini mengindikasikan adanya validasi terminologis serta kesesuaian

konseptual antar sistem klasifikasi, sehingga dapat dipandang ekuivalen dan relevan sebagai kerangka acuan dalam penelitian ilmiah geologi maupun aplikasi praktis di bidang rekayasa geoteknik.

Tabel 3 Derajat Pelapukan Batuan Daerah Penambangan Kaolin, Semin (kompilasi dari berbagai klasifikasi)

Sampel	Derajat Pelapukan menurut		
	ISRM (1978)	Ceryan (2008)	<i>Triangular Weathering</i> Momeni (2015)
Conto I	I	F	Segar
Conto II	II	SW	Sedikit lapuk
Conto III	V	CW	Sangat Lapuk



Gambar 5 Grafik hubungan kehadiran mineral sekunder terhadap penurunan kekuatan batuan

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, derajat pelapukan batuan di lokasi penambangan kaolin di Semin menunjukkan variasi yang jelas, yang berkaitan erat dengan kandungan mineral sekunder dan kekuatan batuan. Semakin tinggi tingkat pelapukan, semakin besar kandungan mineral sekunder yang terbentuk, yang berdampak pada penurunan kekuatan batuan yang diukur dengan uji kuat tekan uniaksial (UCS). Proses pelapukan, baik fisika maupun kimia, menyebabkan perubahan komposisi mineral,

menjadikan batuan lebih rapuh dan rentan terhadap kerusakan mekanis. Penelitian ini memberikan gambaran penting tentang bagaimana pelapukan mempengaruhi stabilitas batuan di area pertambangan. Namun, terdapat keterbatasan dalam penelitian ini karena hanya menggunakan analisis petrografi dan UCS. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan untuk mengintegrasikan metode lain yang dapat memberikan pemahaman lebih mendalam tentang dampak pelapukan terhadap sifat geomekanik batuan.

Referensi

- Carroll, D., 1970. Rock Weathering, Rock Weathering. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1794-4>
- Ceryan, S., Tudes, S., & Ceryan, N., 2008. Influence of weathering on the engineering properties of Harsit granitic rocks (NE Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, pp. 97–104. <https://doi.org/10.1007/s10064-007-0115-0>
- Chizhikova, N.P., Lessovaia, S.N., & Gorbushina, A.A., 2016. Biogenic Weathering of Mineral Substrates (Review). Springer, Cham, pp. 7–14. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24987-2_2
- Depetris, P.J., Pasquini, A.I., & Lecomte, K.L., 2014. The Biological Path to Rock Breakdown. Springer, Dordrecht, pp. 19–31. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7717-0_3
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., & Bell, G., 2005. *Geotechnical Engineering of Dams* (1st ed). London, CRC Press. <https://doi.org/10.1201/NOE0415364409>
- Hanifah, D.A., Santoso, E., & Kartini, K., 2021. Analisis pengaruh tingkat pelapukan terhadap kekuatan batuan (Studi kasus pada batulempung dari Formasi Warukin). *Jurnal Himasapta*, 5, pp. 89–92. <https://doi.org/10.20527/jhs.v5i3.2898>
- Harnois, L., 1988. The CIW index: A new chemical index of weathering. *Sediment Geol*, 55, pp. 319–322. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(88\)90137-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(88)90137-6)
- Irzon, R., 2022. Pembentukan bauksit dan ferit pada profil pelapukan di Kabupaten Lingga. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 17, pp. 1–14. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v17i1.335>
- ISRM, 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15, pp. 319–368.
- Jaques, D.S., Marques, E.A.G., Marcellino, L.C., Leão, M.F., Ferreira, E.P.S., & dos Santos Lemos, C.C., 2020. Changes in the physical, mineralogical, and geomechanical properties of a granitic rock from weathering zones in a tropical climate. *Rock Mech Rock Eng*, 53, pp. 5345–5370. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02240-x>
- Lee, C.S. & Cho, T., 2005. Effects of Rock Weathering on the Degradation of Engineering Properties. *Tunnel and Underground Space*, 15, pp. 411–424.
- Momeni, A.A., Khanlari, G.R., Heidari, M., Sepahi, A.A., & Bazvand, E., 2015. New engineering geological weathering classifications for granitoid rocks. *Eng Geol*, 185, pp. 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.11.012>
- Nesbitt, H.W. & Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, pp. 715–717.
- Nicholson, D.T., 2004. Hazard assessment for progressive, weathering-related breakdown of excavated rockslopes. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 37, pp. 327–346. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/04-021>
- Parker, A., 1970. An Index of Weathering for Silicate Rocks. *Geol Mag*, 107, 501–504. <https://doi.org/10.1017/S0016756800058581>
- Pettijohn, F.J., 1975. *Sedimentary rocks*. New York, Harper & Row New York.
- Say, S., Prakasa Eka Putra, D., & Kakuya, M., 2024. Sinkholes Mapping in Tanjungsari, Gunung Kidul Regency, Yogyakarta: A Preliminary Data for the Assessment of Sinkhole's Susceptibility. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, 1378, pp. 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1378/1/012005>
- Sumbung, D.Y., Koesnaryo, S., Winarno, E., Saptono, S. & Cahyadi, T.A. 2020. Tinjauan Literatur: Pelapukan dan Pengaruhnya terhadap Kekuatan Batuan. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XV*, pp. 194–200.
- Surono, Toha, B., & Sudarno, 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro*. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Martinus Nijnhoff, The Hague, Netherlands.
- Wang, L., Loew, S., & Lei, Q., 2023. Modelling weathering-induced progressive rock slope failures. *EGU General Assembly 2023*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-4270>
- Wiratmoko, E.S., 2018. *Studi Provenan Formasi Pamaluan di Daerah Muara Tae, Kalimantan Timur*. Tesis. Institut Teknologi Bandung.