

## Analisis Nilai Kuat Tekan Uniaksial Batugamping Menggunakan Sayatan Tipis

Hakim Erlangga Bernado Sakti<sup>\*1)</sup>, Heru Dwiriawan Sutoyo<sup>1)</sup>, Helmiati Lapuna<sup>1)</sup>, Dwi Herniti<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Yogyakarta

\*hakimerlangga@ity.ac.id

**Abstrak** – UCS (*uniaxial compressive strength*/kuat tekan uniaksial) merupakan salah satu dari parameter geologi teknik yang banyak digunakan secara luas pada berbagai rekayasa batuan. Peneliti terdahulu telah mengungkapkan bahwa terdapat korelasi antara tekstur dan komposisi mineral batugamping terhadap karakteristik geologi tekniknya. Tujuan penelitian ini menganalisis nilai UCS Batugamping Formasi Wonosari menggunakan data sayatan tipis. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode kualitatif serta kuantitatif. Metode kualitatif digunakan untuk mendapatkan dan menganalisis sayatan tipis sampel batugamping. Adapun metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis nilai UCS berdasarkan data sayatan tipis. Sampel yang digunakan pada pengujian berasal dari sampel batugamping Formasi Wonosari yang diambil pada salah satu kuari batugamping di Kabupaten Gunung Kidul. Persamaan empiris yang digunakan yaitu persamaan empiris Shinawi dkk (2020). Hasil pengamatan sayatan tipis diperoleh material penyusun batugamping di lokasi penelitian yaitu *grain* sebesar 54% dan *mud* sebesar 46%. Hasil analisis nilai UCS batugamping di lokasi penelitian menggunakan persamaan (1) sebesar 20,476 MPa dengan selisih nilai UCS sebesar 4,946 MPa. Adapun analisis nilai UCS menggunakan persamaan (2) sebesar 35,072 MPa dengan selisih nilai UCS 19,542 MPa.

**Kata Kunci:** Batugamping, Formasi Wonosari, UCS, Sayatan Tipis.

**Abstract** – UCS (*uniaxial compressive strength*) is one of the engineering geology parameters that is widely used in various rock engineering. Previous researchers have revealed that there is a correlation between the texture and mineral composition of limestone on the engineering geology characteristics. The purpose of this study was to analyze the UCS of the Wonosari Formation limestone using thin section data. The research method used is quantitative and qualitative methods. Qualitative methods were used to obtain and analyze thin sections of limestone samples. The quantitative method is used to analyze the UCS value based on thin section data. The sample used in the test came from limestone samples from the Wonosari Formation taken from a limestone quarry in Gunung Kidul Regency. The empirical equation used is the empirical equation Shinawi et al (2020). The results of observations obtained limestone constituent materials are 54% grain 46% mud. The result of empirical analysis for the UCS obtained by equation (1) of 20.476 MPa with a difference in the UCS value of 4.946 MPa and using equation (2) is 35.072 MPa with a difference in the UCS value of 19.542 MPa.

**Keywords:** Limestone, Wonosari Formation, UCS, Thin Section.

### PENDAHULUAN

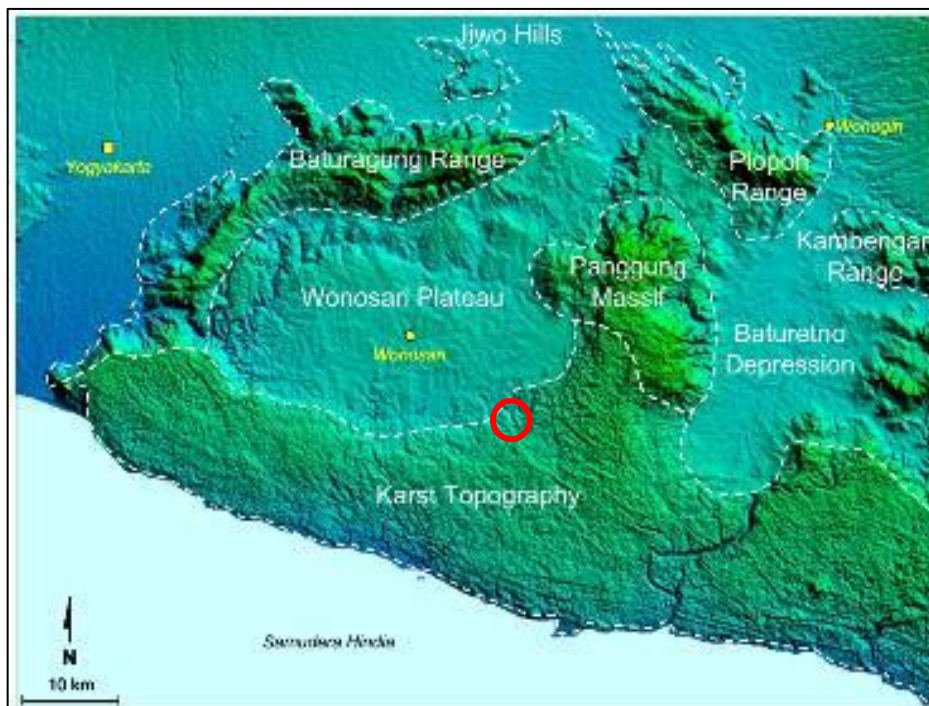
Kuat tekan uniaksial (UCS) merupakan parameter yang menggambarkan kemampuan maksimal suatu batuan untuk tidak mengalami keruntuhan ketika menerima tegangan kompresi. UCS merupakan salah satu dari parameter geologi teknik yang banyak digunakan secara luas pada berbagai rekayasa batuan seperti pada rekayasa-rekayasa sipil, pertambangan, dan perminyakan (Barton dkk., 1974; Bieniawski, 1976; Hoek, 1977; Sheshde dan Cheshomi, 2015). Begitu pentingnya parameter UCS, banyak metode klasifikasi massa batuan yang memasukkan parameter UCS sebagai salah satu parameter untuk menilai kualitas massa batuan untuk rekayasa seperti *Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski, 1979, 1989), *Slope Mass Rating* (SMR) (Romana, 1985, 1993), Q-System (Barton, 1973), Q-Slope (Bar dan Barton, 2017), *Continous Slope Mass Rating* (CoSMR) (Tomás dkk., 2007), *Rock Mass Rating* 2014 (RMR<sub>14</sub>) (Celada dkk., 2014), *Rock Quality Index* (RQI) (Agustawijaya, 2004), *Cave Rock Mass Rating* (CRMR) (Kusumayudha dkk., 2021), dan *Rock Mass Index* (RMI) (Palmstrom, 1995). Berdasarkan uraian tersebut, mengetahui nilai UCS suatu batuan wajib dilakukan sebelum merencanakan rekayasa pada suatu batuan tersebut untuk memastikan rekayasa yang dibuat sesuai dengan kekuatan batuan tersebut.

Batugamping (*limestone*) merupakan satu dari dua jenis batuan karbonat. Batuan karbonat sendiri adalah batuan sedimen yang tersusun atas mineral utama yaitu kelompok mineral karbonat. Berdasarkan mineral utamanya batuan karbonat dapat

dibagi menjadi dua yaitu batugamping dan dolomit (*dolostone*). Perbedaan batugamping dan dolomit yaitu batugamping didominasi mineral kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), sedangkan dolomit didominasi oleh mineral dolomit ( $\text{MgCaCO}_3$ ) (Boggs, 2012; Folk, 1959; Maulana, 2019). Batugamping yang tersebar di muka bumi ini memiliki karakteristik tekstur, struktur, serta komposisi mineral yang beragam. Keragaman karakteristik batugamping tersebut disebabkan oleh keragaman proses genesis dan iklim purbanya (Maulana, 2019). Keragaman proses genesis dan iklim purba tersebut tentu akan memberikan pengaruh pada karakteristik geologi teknik pada batugamping, sehingga tekstur, struktur, dan komposisi mineral batugamping dapat menjadi penunjuk untuk memperkirakan karakteristik geologi tekniknya. Beberapa peneliti terdahulu (Howarth dan Rowlands, 1987; Kamani dan Ajalloeian, 2022; Khanlari dkk., 2015; Sabatakakis dkk., 2008; Shinawi dkk., 2020; Teme, 1991) telah mengungkapkan terdapat korelasi antara tekstur dan komposisi mineral batugamping terhadap karakteristik geologi tekniknya. Tekstur batugamping dapat diperoleh melalui pengujian sayatan tipis.

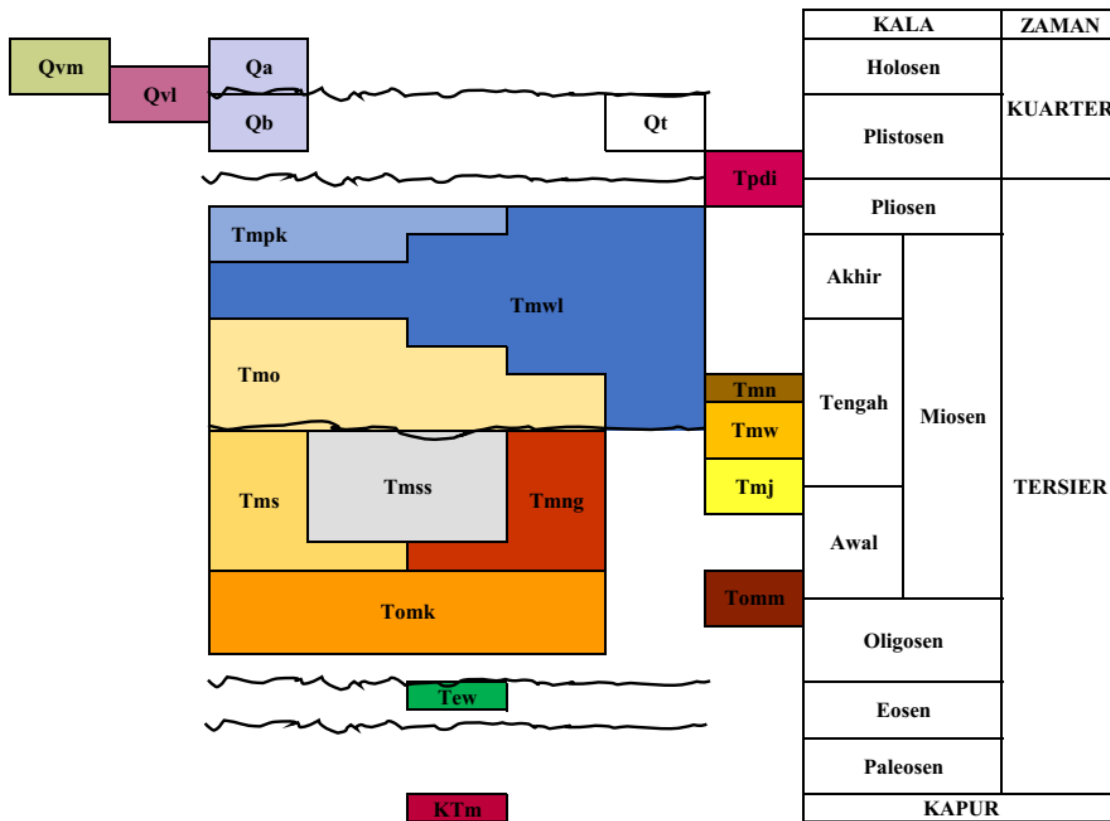
Sayatan tipis merupakan teknik pengamatan batuan dengan membuat sampel batuan berupa irisan tipis yang kemudian dilekatkan pada kaca preparat mikroskop dengan menggunakan agen perekat seperti balsam kanada. Hasil perekatan tersebut memiliki ketebalan sekitar 0,03 mm. Pengamatan sayatan tipis menggunakan mikroskop polarisasi. Dalam konteks pengamatan tekstur batugamping, sayatan tipis dapat digunakan untuk mengamati serta menentukan persentase material penyusun batugamping yang terdiri dari butiran karbonat (*grains*), lumpur karbonat (*mud*), dan *sparite* (Maulana, 2019).

Lokasi penelitian berada di wilayah kecamatan Ponjong, kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara fisiografis, wilayah ini termasuk di dalam Zona Fisiografis Pegunungan Selatan Jawa Bagian Timur (Van Bemmelen, 1949). Zona Fisiografis ini dibagi lagi menjadi beberapa subzona (Gambar 1). Lokasi penelitian merupakan bagian dari subzona Pegunungan Karst atau yang lebih dikenal sebagai Pegunungan Sewu. Secara umum, perbukitan karst Gunung Sewu melampar dengan arah tenggara-barat laut. Wilayah penelitian yang terletak di bagian barat laut Pegunungan Sewu memiliki batas yang bervariasi dengan fisiografi di sekitarnya. Gunung Sewu berbatasan dengan Cekungan Wonosari dan Cekungan Baturetno dalam garis setengah lingkaran dengan arah umum tenggara-barat laut. Selain itu, pegunungan karst ini tumpang tindih dengan Baturagung dengan puncak barat daya yang terkikis dari batuan beku dan vulkaniklastik Oligo-Miosen. Kondisi tumpang tindih batugamping Gunung Sewu menyebabkan transisi morfologi bertahap dari perbukitan vulkanik struktural di utara ke perbukitan karst di selatan (Husein dan Srijono, 2007; Pannekoek, 1949).



**Gambar 1.** Peta Fisiografis Zona Pegunungan Selatan Jawa (Husein dan Srijono, 2007), Lokasi Penelitian Diberi Lingkaran Merah

Batuan yang tersingkap pada lokasi penelitian merupakan Formasi Wonosari. Formasi Wonosari tersusun atas susunan batugamping, batugamping napalan-tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan, serta batulanau. Ketebalan Formasi Wonosari diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya pada bagian bawah menjemari dengan Formasi Oyo, adapun pada bagian atas menjemari dengan Formasi Kepek dengan kolom stratigrafi pada Gambar 2. Formasi ini ditemukan fosil foraminifera besar dan kecil yang melimpah, diantaranya *Lepidocyclina* Sp. dan *Miogyssina* Sp. Kandungan fosil tersebut mengindikasikan umur pembentukan antara Miosen Tengah hingga Pliosen pada lingkungan pengendapan laut dangkal (zona neritik) yang mendangkal ke arah selatan (Kurniawan dan Tania, 2019; Surono dkk., 1992).



**Keterangan**

<b>Qa</b>	ALUVIUM: Lempung, lumpur, lanau, pasir, kerikil, kerakal, dan berangkal
<b>Qvm</b>	BATUAN GUNUNGAPI MERAPI: Breksi gunungapi, lava, dan tuf
<b>Qvl</b>	BATUAN GUNUNGAPI LAWU: Breksi gunungapi, lava, dan tuf
<b>Qb</b>	FORMASI BATURETNO: Lempung hitam, lumpur, lanau, dan pasir
<b>Qt</b>	ALUVIUM TUA: Konglomerat, batupasir, lanau, dan lempung
<b>Tpmk</b>	DIORIT PENDUL: Diorit
<b>Tmwn</b>	FORMASI KEPEK: Napal dan batugamping berlapis
<b>Tmwl</b>	FORMASI NAMPOL: Konglomerat, batupasir konglomeratan, aglomerat, batulanau, batulempung, dan tuf
<b>Tmo</b>	FORMASI WONOSARI-PUNUNG: Batugamping, batugamping napalan tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan, dan batulanau
<b>Tms</b>	FORMASI OYO: Napal Tufan, tuf andesitan, dan batugamping konglomeratan
<b>Tmss</b>	FORMASI WUNI: Aglomerat bersisipan batupasir tufan dan batupasir kasar
<b>Tmng</b>	FORMASI JATEN: Batupasir Kuarsa, Batupasir Tufan, Batulanau, Batulempung, Napal, dan Batugamping Napalan
<b>Tomk</b>	FORMASI SAMPITU: Batupasir dan Batulempung
<b>Tew</b>	FORMASI NGLANGGRAN: Breksi Gunungapi, Aglomerat, Lava Andesit Basal, dan tuf
<b>KTm</b>	FORMASI SEMILIR: tuf, Breksi Batuapung Dasitan, Batupasir Tufan, dan Serpih
	FORMASI MANDALIKA: Lava Dasit-Andesit dan tuf Dasit dengan Retas Diorit
	FORMASI KEBOBUTAK: Bagian Atas Yaitu Perselingan Batupasir, Batulempung, dan Lapisan Tipis tuf Asam; Bagian Bawah Yaitu Batupasir, Batulanau, Batulempung, Serpih, tuf, dan Aglomerat
	FORMASI GAMPING WUNGKAL: Batupasir, Napal Pasiran, Batulempung, dan Lensa Batugamping
	BATUAN MALIHAN: Sekis, Pualam, Batuan Gunungapi Malih, Sedimen Malih, dan Batusabak

**Gambar 2.** Kolom Stratigrafi Regional Lokasi Penelitian (Formasi Wonosari Berwarna Biru) (Surono dkk., 1992)

Berdasarkan uraian di atas, tujuan penelitian ini adalah menganalisis nilai UCS Batugamping Formasi Wonosari menggunakan data sayatan tipis. Penelitian ini akan memberikan manfaat untuk mengetahui nilai UCS Batugamping Formasi Wonosari menggunakan data sayatan tipis serta membandingkannya dengan nilai UCS hasil pengujian UCS langsung.

## METODE

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode kualitatif serta kuantitatif. Metode kualitatif digunakan untuk mendapatkan dan menganalisis sayatan tipis sampel batugamping. Adapun metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis nilai UCS berdasarkan data sayatan tipis. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. Penjelasan detail tahapan penelitian diuraikan pada pembahasan selanjutnya. Adapun sampel yang digunakan pada pengujian berasal dari sampel batugamping Formasi Wonosari yang diambil pada salah satu kuari batugamping yang terletak di Desa Sidorejo, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

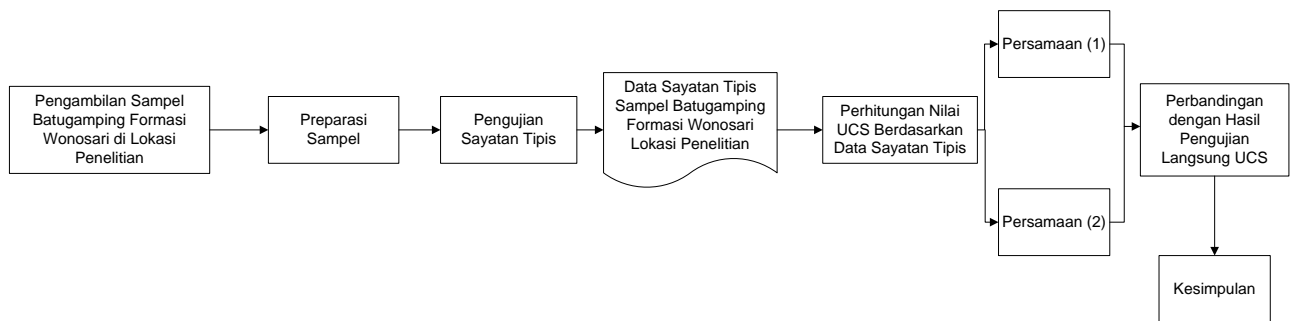
Sampel batugamping yang diperoleh dilakukan tahapan preparasi sebagai berikut: (1) pemotongan sampel hingga diperoleh ukuran 6 cm x 3 cm x 0,03 mm, (2) penghalusan permukaan sampel batugamping dengan bubuk karborondum *mesh*, (3) pencucian dan pengeringan sampel batugamping, dan (4) penempelan pada kaca preparat. Setelah proses preparasi kemudian dilakukan pengamatan pada mikroskop polarisasi, sehingga diperoleh gambar sayatan tipis sampel batugamping. Gambar sayatan tipis tersebut akan digunakan untuk menentukan material penyusun sampel batugamping. Setelah diperoleh komposisi material penyusun batugamping, kemudian dilakukan analisis nilai UCS dari penelitian Shinawi dkk tahun 2020 dengan persamaan sebagai berikut:

$$UCS = -0,476(\% \text{ Grain}) + 46,18 \dots\dots\dots (1)$$

$$UCS = 0,272(\% \text{ Mud}) + 19,84 \dots\dots\dots (2)$$

*Grain* merupakan material penyusun batugamping yang memiliki ukuran  $\geq 0,02$  mm. Adapun *mud* merupakan material penyusun batugamping yang memiliki ukuran  $< 0,02$  mm yang umumnya berwarna abu-abu hingga coklat (Boggs, 2012).

Setelah diperoleh nilai UCS hasil perhitungan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2), kemudian dibandingkan dengan nilai UCS hasil pengujian UCS langsung. Adapun data hasil pengujian UCS merupakan data sekunder yang diambil dari (Lapuna dkk., 2022) dengan lokasi pengambilan sampel batugamping yang sama.



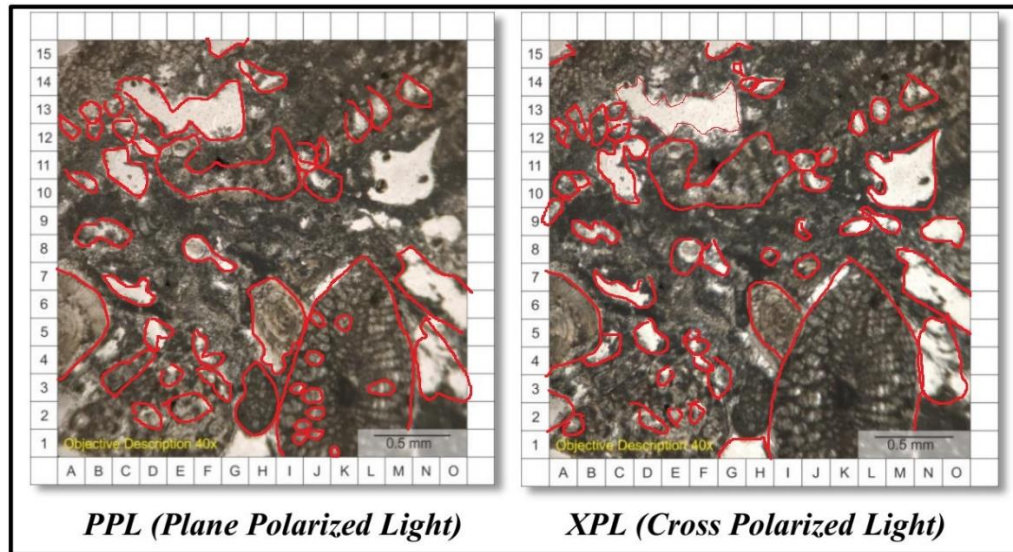
Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengamatan Sayatan Tipis

Hasil pengamatan sayatan tipis sampel Batugamping Formasi Wonosari pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4. Dengan perbesaran okuler 10 kali dan perbesaran objektif 4 kali diperoleh berwarna putih kecoklatan, ukuran butir pasir halus (0,125 mm – 0,25 mm), dengan porositas *vugy*. Adapun komposisi material penyusun sampel batugamping dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 diperoleh bahwa material penyusun batugamping di lokasi penelitian didominasi oleh *grain* sebesar 54% dengan *mud* sebesar 46%. Sampel batugamping tersebut jika diklasifikasikan menurut klasifikasi (Dunham, 1962) (Gambar 5) maka digolongkan sebagai batugamping *packstone*. Hal ini dikarenakan batugamping pada lokasi penelitian masih mengandung *mud* > 10%.

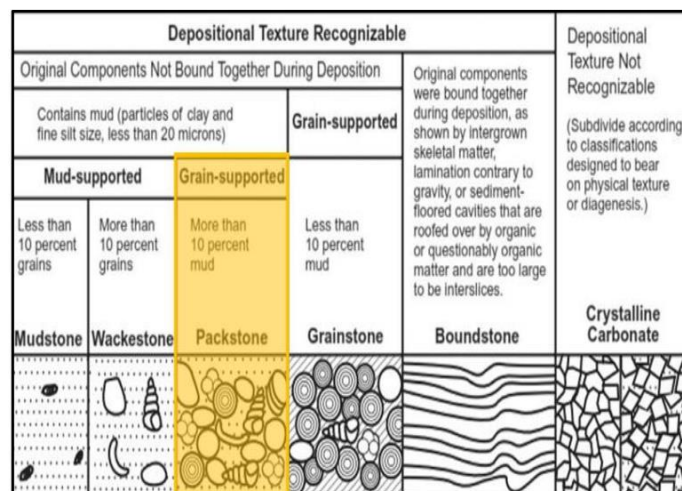




**Gambar 4.** Hasil Pengamatan Sayatan Tipis Sampel Batugamping Formasi Wonosari di Lokasi Penelitian, *Grain* Diberi Tanda Warna Merah Sedangkan *Mud* Berupa Matriks Berwarna Coklat Kehitaman

**Tabel 1.** Deskripsi Hasil Pengamatan Sayatan Tipis Sampel Batugamping Formasi Wonosari di Lokasi Penelitian

Jenis Material	Persentase	Keterangan
Butiran Karbonat ( <i>Grains</i> )	54%	Skeletal: <ul style="list-style-type: none"> <li>Coklat keabuan, Berukuran (0,5 mm – 1 mm), berupa foraminifera (E-F, 9), foraminifera bentonik (I-M, 1-8) dan <i>bryozoans</i> (A-C, 13-15).</li> <li>Coklat keabuan berukuran halus (&lt; 1mm), bentuk butir agak runcing-bundar, relief rendah.</li> </ul> Calcite sparite, berwarna putih
Lumpur Karbonat ( <i>Mud</i> )	46%	Warna interferensi coklat kehitaman, orde 1. Terdiri dari micrite (A-C, 9-10) dan microspar (E-G, 5-7).



**Gambar 5.** Jenis Batugamping di Lokasi Penelitian Menurut (Dunham, 1962)

### Analisis Nilai UCS dengan Data Sayatan Tipis

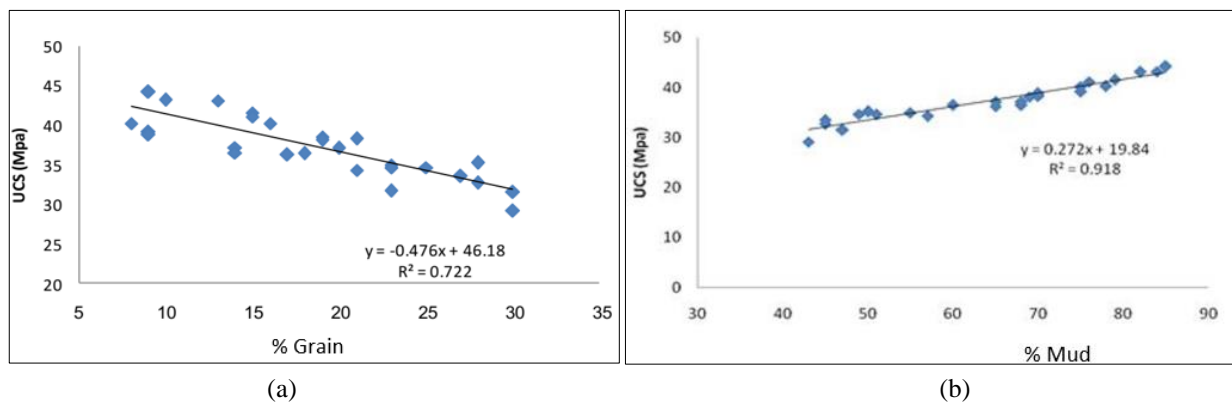
Dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) (Shinawi dkk., 2020), perhitungan nilai UCS dapat dilihat pada Tabel 2 Adapun nilai UCS hasil pengujian UCS langsung diperoleh sebesar 15,53 MPa (Lapuna dkk., 2022). Selisih antara nilai UCS pengujian langsung dengan hasil analisis persamaan empiris dapat dilihat pada Tabel 2. Menurut klasifikasi (ISRM, 1981) nilai UCS hasil pengujian langsung tergolong sebagai batuan lunak sedangkan nilai UCS hasil perhitungan persamaan empiris tergolong sebagai batuan agak kuat.

**Tabel 2.** Nilai UCS Hasil Perhitungan Dengan Rumus Empiris Beserta Selisih dengan Nilai UCS Pengujian Langsung

Persamaan	Nilai UCS (MPa)	Selisih Nilai UCS Perhitungan dengan Pengujian Langsung (MPa)
(1)	20,476	4,946
(2)	35,072	19,542

### Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa kedua persamaan empiris tersebut menghasilkan nilai UCS yang berbeda. Kedua persamaan empiris tersebut dikembangkan melalui serangkaian penelitian pada 30 sampel batugamping sehingga diperoleh persamaan regresi berjenis linier hubungan antara persentase *grain* dan persentase *mud*. Keduanya memiliki nilai koefisien determinasi ( $r^2$ ) yang berbeda. Grafik dari kedua persamaan regresi linier tersebut dapat dilihat pada Gambar 6. Meskipun selisih nilai UCS terendah diperoleh menggunakan persamaan (1), tetapi nilai  $r^2$  terbesar justru dimiliki oleh persamaan (2). Persamaan (2) memiliki nilai  $r^2$  sebesar 0,918 sedangkan persamaan (1) hanya memiliki nilai  $r^2$  sebesar 0,722. Secara statistik, jika nilai  $r^2$  semakin mendekati 1, maka ukuran kecocokan suatu model regresi akan semakin mendekati hasil sesungguhnya (Casella dan Berger, 2021). Tetapi, pada kasus batugamping Formasi Wonosari di lokasi penelitian, justru diperoleh bahwa persamaan (1) yang memiliki nilai  $r^2$  lebih kecil justru menghasilkan nilai UCS yang lebih mendekati nilai asli. Hal ini menjadi menarik untuk diteliti lebih mendalam, komponen material penyusun batugamping yang memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai UCS. Melalui persamaan (1) dan persamaan (2), dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi kandungan lumpur karbonat maka nilai UCS akan semakin tinggi. Sebaliknya semakin tinggi kandungan butiran karbonat, maka nilai UCS akan semakin rendah (Shinawi dkk., 2020).



**Gambar 6.** (a) Grafik Persamaan Regresi Linier Untuk Persamaan (1) dan (b) Grafik Persamaan Regresi Linier Untuk Persamaan (2) (Shinawi dkk., 2020)

Kedua persamaan empiris tersebut dikembangkan berdasarkan penelitian pada batugamping Formasi Wadi Garwi dan Formasi Wadi Hof. Wilayah singkapan batuan tersebut merupakan perbatasan antara dataran Sungai Nil dengan dataran tinggi timur Sungai Nil, Mesir. Wilayah ini disusun oleh lapisan batuan sedimen berumur Eosen. Formasi Wadi Garwi merupakan formasi batuan berumur Eosen Tengah yang disusun atas perselingan serpih pasir, gipsum, dan batugamping dengan tebal 25 m. Adapun Formasi Wadi Hof tersusun batugamping napalan, berumur Eosen Atas (Mohamed dkk., 2012) serta diendapkan pada lingkungan pengendapan dataran pasang surut (Sallam dkk., 2022). Batugamping pada lokasi ini menurut klasifikasi Dunham (1962) didominasi oleh kelompok *wackestone* dengan sebagian kecil kelompok *mudstone* (Shinawi dkk., 2020). Jika dibandingkan dengan batugamping Formasi Wonosari di lokasi penelitian, ketiga formasi tersebut sama-sama terbentuk pada Zaman Tersier tetapi untuk lokasi penelitian memiliki kala yang lebih muda yaitu Kala Miosen Tengah hingga Pliosen. Selain itu, batugamping di lokasi penelitian memiliki ukuran butir yang lebih kasar (*packstone*).

### PENUTUP

Hasil perhitungan nilai UCS batugamping di lokasi penelitian menggunakan persamaan (1) sebesar 20,476 MPa dengan selisih nilai UCS sebesar 4,946. Adapun perhitungan nilai UCS menggunakan persamaan (2) sebesar 35,072 MPa dengan selisih nilai UCS 19,542 MPa. Nilai UCS hasil perhitungan empiris tergolong sebagai batuan agak kuat menurut standar

ISRM (1981). Saran pada penelitian ini adalah diperlukan penelitian lebih mendalam untuk mengetahui komponen penyusun batugamping yang paling mempengaruhi nilai UCS batugamping.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agustawijaya, D. S., 2004, Rock Mass Classification for Softrocks, *Jurnal Teknologi Mineral*, Vol. XI, no. 1, pp 15–26
- Bar, N. dan Barton, N., 2017, The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 50, no. 12, pp 3307–3322
- Barton, N., 1973, Review of a new shear-strength criterion for rock joints, *Engineering Geology*, Vol. 7, no. 4, pp 287–332
- Barton, N., Lien, R., dan Lunde, J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, *Rock Mechanics Felsmechanik Mecanique des Roches*, Vol. 6, no. 4, pp 189–236
- Van Bemmelen, R. W., 1949, General Geology of Indonesia and adjacent archipelagoes, *The geology of Indonesia*, Advance Access published 1949
- Bieniawski, Z. T., 1976, Rock mass classification in rock engineering, hlm. 97–106, dalam *Proceeding of the Symposium on Exploration for Rock Engineering (ed. ZT Bieniawski)*
- Bieniawski, Z. T., 1979, The Geomechanics Classification In Rock Engineering Applications, dalam *4th ISRM Congress*, ISRM, Montreux
- Bieniawski, Z. T., 1989, *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*, John Wiley & Sons
- Boggs, S., 2012, Principles of sedimentology and stratigraphy, Advance Access published 2012
- Casella, G. dan Berger, R. L., 2021, *Statistical inference*, Cengage Learning
- Celada, B., Tardáguila, I., Varona, P., Rodríguez, A., dan Bieniawski, Z. T., 2014, Innovating Tunnel Design by an Improved Experience-based RMR System, hlm. 1–9, dalam *Proceedings of the World Tunnel Congress, Tunnel For a Better Life*, Foz do Iguaçu
- Dunham, R. J., 1962, Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, hlm. 108–121, dalam Hamm, W. E. (ed.), *Classification of Carbonate Rock*, American Association of Petroleum Geologist, Tulsa
- Folk, R. L., 1959, Practical Petrographic Classification of Limestones, *AAPG Bulletin*, Vol. 43
- Hoek, E., 1977, Rock mechanics laboratory testing in the context of a consulting engineering organization, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Vol. 14, no. 2, pp 93–101
- Howarth, D. F. dan Rowlands, J. C., 1987, Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 20, no. 1, pp 57–85
- Husein, S. dan Srijono, 2007, Tinjauan Geomorfologi Pegunungan Selatan DIY/Jawa Tengah: Telaah Peran Faktor Endogenik Dan Eksogenik Dalam Proses Pembentukan Pegunungan, *Kumpulan Makalah Potensi Geologi Pegunungan Selatan Dalam Pengembangan Wilayah*, pp 1–11
- ISRM, 1981, Basic geotechnical description of rock masses (BGD), *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Vol. 18, no. 1, pp 87–110
- Kamani, M. dan Ajalloeian, R., 2022, Investigation of the effect of petrological contents on the engineering properties of carbonates aggregates, *Engineering Geology*, Vol. 298, pp 106507

- Khanlari, G., Naseri, F., dan Osman Pour, A., 2015, Introducing a New Aggregates Index (AI) Using Petrographical and Geomechanical Properties (Case Study: Hamedan Province Limestones), *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, Vol. 8, no. Number 1 & amp; 2, pp 51–66
- Kurniawan, D. dan Tania, D., 2019, Studi Fasies Dan Stratigrafi Batuan Karbonat Formasi Wonosari Desa Ponjong, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, DIY, *Jurnal Teknomineral*, Vol. 1, no. 1, pp 44–55
- Kusumayudha, S. B., Prastitho, B., Zakaria, M. F., Rahatmawati, I., dan Setyaningrum, T., 2021, Rock Mass Rating And Feasibility Assessment Of Karst Cave Geo-Ecotourism In Tanjungsari District, Gunungkidul Regency, Yogyakarta Special Region, Indonesia, *Geographia Technica*, Vol. 16, no. 2, pp 53–68
- Lapuna, H., Herniti, D., Sutoyo, H. D., dan Bulopa, R. D., 2022, Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Probabilitas Pada Penambangan Batugamping di PT. Caldomill Indonesia Kabupaten Gunungkidul, Provinsi DI Yogyakarta, hlm. 466–473, dalam Sugati, D., Kadiman, S., Prastowo, R., dan Prasetyo, A. B. (ed.), *Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-17*, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Sleman
- Maulana, A., 2019, *Petrologi*, Penerbit Ombak, Yogyakarta
- Mohamed, A. M. E., Araffa, S. A. S., dan Mahmoud, N. I., 2012, Delineation of Near-Surface Structure in the Southern Part of 15th of May City, Cairo, Egypt Using Geological, Geophysical and Geotechnical Techniques, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 169, no. 9, pp 1641–1654
- Palmstrom, A., 1995, Characterising the strength of rock masses for use in design of underground structures, hlm. 43–52, dalam *Conference of Design and Construction of Underground Structures*, New Delhi
- Pannekoek, A. J., 1949, *Outline of the Geomorphology of Java*, (E. J. Brill, Ed.), Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, Leiden
- Romana, M. R., 1985, New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes, hlm. 49–53, dalam *Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics in Excavations for Mining and Civil Works*, International Society of Rock Mechanics, Zacatecas
- Romana, M. R., 1993, A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating, hlm. 575–600, dalam *Rock Testing and Site Characterization*, Elsevier
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G., dan Papanakli, S., 2008, Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks, *Engineering Geology*, Vol. 97, no. 1–2, pp 80–90
- Sallam, E. S., Ruban, D. A., dan Van Loon, A. J. (Tom), 2022, Lagoonal carbonate deposition preceding rifting-related uplift: evidence from the Bartonian–Priabonian (Eocene) of the northwestern Gulf of Suez (Egypt), *Journal of Palaeogeography*, Vol. 11, no. 1, pp 8–30
- Sheshde, E. A. dan Cheshomi, A., 2015, New method for estimating unconfined compressive strength (UCS) using small rock samples, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 133, pp 367–375
- Shinawi, A. El, Mésároš, P., dan Zeleňáková, M., 2020, The Implication of Petrographic Characteristics on the Mechanical Behavior of Middle Eocene Limestone, 15th May City, Egypt, *Sustainability*, Vol. 12, no. 22, pp 9710
- Surono, Toha, B., dan Sudarno, I., 1992, Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa
- Teme, Clifford. S., 1991, An evaluation of the engineering properties of some Nigerian limestones as construction materials for highway pavements, *Engineering Geology*, Vol. 31, no. 3–4, pp 315–326
- Tomás, R., Delgado, J., dan Serón, J. B., 2007, Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 44, no. 7, pp 1062–1069