

Studi Tentang Sifat Fisis dan Kuat Tekan Batuan Karst Kawasan Gua Leang Londrong Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung

Muhammad Arsyad¹, Dian Mukarramah², dan Agus Susanto³

¹Universitas Negeri Makassar; e-mail: m_arsyad288@unm.ac.id

²Universitas Negeri Makassar; e-mail: dianmukarramah@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sifat fisis dan kuat uji tekan batuan di karst Kawasan Gua Leang Londrong. Kawasan Gua Leang Londrong merupakan salah satu kawasan wisata di Kabupaten Pangkep. Telah diakui bahwa karakteristik geometris dan mekanik dari massa batuan keduanya penting dalam mengendalikan relief dan stabilitas lereng. Sifat fisis batuan merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi sifat kuat tekan batuan. Sehingga tujuan dari penelitian adalah untuk menganalisis besarnya nilai sifat fisis (densitas dan porositas) dan kuat uji tekan batuan. Penentuan kekerasan atau kuat tekan batuan selama ini banyak menggunakan uji kuat tekan batuan di laboratorium menggunakan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS). Uji *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) memiliki akurasi yang sangat baik, namun pelaksanaannya membutuhkan waktu yang lama dan memakan biaya tinggi. Oleh karena itu pada penelitian ini diusulkan metode lain untuk menentukan kuat tekan yang lebih sederhana, mudah dan murah menggunakan *Schmidt Hammer*. Nilai uji kuat tekan diperoleh dari metode *non-destructive* yaitu dengan menggunakan alat *Schmidt Hammer*. Proses dimulai dari pengambilan 30 sampel batuan di daerah kawasan Gua Leang Londrong pada 10 titik yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil uji sifat fisis batuan karst di Kawasan Gua Leang Londrong, diperoleh nilai densitas batuan pada rentang $2,60 \text{ gr cm}^{-3}$ sampai $2,62 \text{ gr cm}^{-3}$ dan nilai porositas berada pada rentang 0%-7%. Sehingga jenis batuan di Kawasan Gua Leang Londrong adalah batu gamping dolomit. Nilai kuat tekan batuan diperoleh dari konversi nilai pantulan palu Schmidt menjadi nilai kuat tekan uniaksial. Diperoleh nilai kuat tekan batuan berada pada rentang nilai 20 MPa hingga 62 MPa. Sehingga batuan di Kawasan Gua Leang Londrong adalah jenis batuan yang sangat rapuh dengan karakteristik batuan lapuk sedimen terkompaksi lemah, batuan rapuh dengan karakteristik batuan tersedimentasi lemah dan batuan yang cukup keras dengan karakteristik batuan sedimen kompeten beberapa batuan beku dengan bobot isi rendah berbutir kasar.

Kata kunci: Densitas, Porositas, Kuat Tekan, Batuan Karst Pangkep, Schmidt Hammer

ABSTRACT

Research has been carried out the physical properties and compressive strength of karst rocks in the Leang Londrong cave area. Leang Londrong Cave area is one tourist areas in Pangkep Regency. It has been recognized that the geometric and mechanical characteristics of rock masses are both important in controlling the relief and stability of slopes the physical properties of rocks are one of the variables that affect the compressive strength properties of rocks. So, the purpose of this research was to analyze the value of physical properties (density and porosity) and compressive strength of rocks. Determination of the or hardness or compressive strength of rocks so far has used the compressive strength of rocks in the laboratory using *Uniaxial Compressive Strength* (UCSC). The *uniaxial compressive strength* (UCS) test has very good accuracy, but its implementation takes a long time and costs a lot of money. Therefore, in this study another method is proposed to determine the compressive strength which is simpler, easier and cheaper, using a *Schmidt Hammer*. The compressive strength value obtained from a non-destructive method, namely using by a *Schmidt Hammer*. The process starts from taking 30 rock samples in the Leang Londrong cave area at 10 predetermined points. Based on the physical properties test karst rocks in the Leang Londrong cave area, the rock density values are in range of $2,60 \text{ gr cm}^{-3}$ to $2,62 \text{ gr cm}^{-3}$, while the porosity value are in the range 0%-7%. So that the type of rock in the Leang Londrong cave area is dolomite limestone. The compressive strength value of the rock is obtained from the conversion of the *Schmidt Hammer* rebound value. The value of the compressive strength of karst rocks strength of karst rocks is obtained in the range of values 20 MPa to 62 MPa. So that the rock in the Leang Londrong cave area is a very weak rock type with the characteristics of the weathered sedimentary rock that is weakly compacted, weak rock with characteristics of weakly sedimented rock and moderately strong rock with characteristics of competent sedimentary rocks- sandstone shale and slate.

Keywords: Density, Porosity, Compressive Strength, Pangkep Karst, Schmidt Hammer

Citation: Arsyad, M., Mukarramah, D., Susanto, A. (2023). Studi Tentang Sifat Fisis dan Kuat Uji Tekan Batuan Karst Kawasan Gua Leang Londrong Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 789-795, doi:10.14710/jil.21.4.789-795

1. Pendahuluan

Ekosistem karst tersebar luas di seluruh dunia dan menempati sekitar 15% dari luas daratan di bumi (Xiao et al., 2020). Indonesia memiliki wilayah dengan macam bentang alam dan salah satunya adalah kawasan karst. Daerah karst memiliki karakteristik relief dan drainase yang khas, terutama karena tingkat pelarutan batuan yang lebih tinggi dalam air jika dibandingkan dengan daerah lain (Fatmainnah et al., 2018). Lanskap karst terbentuk oleh pelarutan batuan yang begitu lama, yaitu batu kapur dan dolomit (Nestmann et al., 2013). Di Sulawesi Selatan, terdapat kawasan yang terdiri dari kawasan karst yaitu kabupaten Maros Pangkep. Kawasan Karst Maros Pangkep merupakan kawasan karst yang berada di Sulawesi Selatan. Kabupaten Maros dan Pangkep Sebagian terbentuk oleh batuan karbonat yang tersebar di bagian utara. Batuan karbonat Sebagian besar merupakan daerah yang memiliki morfologi khas yang dikenal dengan morfologi karst (Arsyad et al., 2020). Leang Londrong termasuk dalam wilayah pengelolaan Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung (TN. Babul), dimana sumber air yang dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai objek wisata pemandian tersebut terletak dalam kawasan TN. (Hayati, 2019).

Terkhusus di wilayah Wisata Gua Leang Lonrong yang memiliki ciri khas yaitu merupakan wilayah yang termasuk kawasan karst (Soma, 2020). Faktor yang mempengaruhi perkembangan topografi karst dan pembentukan batu gamping adalah curah hujan, temperature, relief, tekanan CO₂, stratigrafi batuan, ketebalan batuan terlarut dan vegetasi. Curah hujan yang tinggi disertai suhu dan tekanan CO₂ yang tinggi dapat mempercepat proses pelarutan batu gamping (karstifikasi) (Palloan et al., 2013). Memahami interaksi air dan batuan merupakan hal yang penting bagi mekanika batuan. Kadar air dan massa jenis batuan memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik batuan. Perubahan kecil dalam kadar air dan massa jenis batuan dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam mekanik dan deformasi batuan (Liu et al., 2020). Dalam literatur geomorfologi, telah diakui bahwa karakteristik geometris dan mekanik dari massa batuan keduanya penting dalam mengendalikan relief dan stabilitas lereng (Wang et al., 2021).

Sifat fisik batuan meliputi massa jenis, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas dan angka pori. Sedangkan sifat mekanik batuan didapatkan dengan pengujian *non-destructive* dengan menggunakan alat *Hammer Test*. Uji sifat fisik batuan adalah pengujian pada batuan untuk diketahui sifat fisik (bobot isi, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas dan angka pori) dari batuan tersebut (Ariyanto et al., 2020). Pengujian sifat fisik batuan bertujuan untuk mengetahui parameter yang berpengaruh terhadap kekuatan batuan, seperti densitas, porositas, dan lain-lain (Bukit Andika, 2020).

Porositas adalah kemampuan untuk menyerap fluida pada batuan atau formasi atau ruang-ruang

yang terisi oleh fluida diantara zat-zat padat atau mineral pada suatu batuan (Rosari & Arsyad, 2018). Porositas umumnya menunjukkan distribusi heterogen dalam batuan karbonat baik skala mikro maupun makro dan memprediksinya merupakan tantangan dalam model reservoir karena kerentanan kimia karbonat yang tinggi (Araújo et al., 2021). Karstifikasi dapat terjadi dimana permukaan batuan terpapar oleh pengangkatan, perubahan permukaan laut eustatic atau ketidaksesuaian. Tekanan yang dilepaskan oleh pengangkatan atau pembongkaran erosi mengakibatkan faktor batuan dan peningkatan permeabilitas dimana air menggerus batuan dan proses diagenetic terjadi seperti dolomitisasi dan proses terkait dengan porositas (Abdullah, 2021).

Menurut (Olhoeft, 1989) Densitas (massa jenis) adalah properti fisik yang berubah secara signifikan antara berbagai jenis batuan karena perbedaan mineralogi dan porositas. Densitas merupakan sifat fisis yang menggambarkan kerapatan ikatan material-material penyusun batuan. Tingkat densitas batuan dipengaruhi oleh jenis dan jumlah mineral serta persentasenya, porositas batuan, dan fluida pengisi rongga. Densitas batuan meliputi densitas asli (*natural density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan aslinya, densitas kering (*dry density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan susut setelah batuan dipanaskan, dan densitas jenuh (*saturated density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan jenuh setelah batuan dijenuhkan dalam suatu fluida (Ridha & Darminto, 2016). Densitas asli (*natural density*) merupakan perbandingan berat batuan asli dengan volume total batuan. Bobot isi kering (*dry density*) merupakan perbandingan berat batuan kering dengan volume totalnya. Berat isi jenuh (*saturated density*) merupakan perbandingan berat batuan jenuh dengan volume total batuan (Prasetya, 2013).

Kuat tekan adalah kemampuan batuan untuk menerima beban hingga pecah bila diberi beban dan tekanan. Meskipun uji laboratorium UCS adalah metode yang paling dapat diandalkan, namun metode uji UCS di laboratorium memakan waktu dan mahal. Metode lain yang dapat digunakan untuk menentukan kuat tekan batuan adalah menggunakan alat *Schmidt Hammer*. Pengujian dengan *Schmidt Hammer* dapat dilaksanakan secara langsung di lapangan maupun di laboratorium. *Schmidt hammer* atau palu Schmidt dikembangkan di akhir tahun 1940-an sebagai indeks peralatan untuk pengujian non-destruktif dari beton (Purwanto, Abdul Muhaimin, Djamaluddin, Ratna Husain, 2017). Diketahui bahwa palu Schmidt pada awalnya dikembangkan untuk mengukur kekerasan beton. Namun, kemudian digunakan untuk mengukur tekanan batuan (Miller, 1965).

Berbagai penelitian tentang pantulan palu Schmidt telah mengungkapkan kekerasan, rasio kekosongan, kadar air, sifat permukaan batuan, posisi palu (vertikal, horizontal dll) dan posisi belahan dan bidang lapisan berpengaruh (Dincer et al., 2004). Palu Schmidt mengukur dampak pantulan dari permukaan

batuan. Ada berbagai versi palu yang tersedia. Diantaranya, palu Schmidt tipe-L umumnya digunakan untuk pengujian batuan sedangkan palu Schmidt tipe N digunakan untuk pengujian batuan. Palu tipe L memiliki dampak tiga kali lebih rendah dibandingkan tipe N. Tipe L cocok untuk batuan lemah dan batuan dengan kerak pelapukan tipis. Kekuatan tekan Uniaksial dan modulus young batuan juga dapat diperkirakan dari metode SRH (Demirdag et al., 2009). Pantulan palu Schmidt dibuat pada titik-titik tertentu pada permukaan batuan. Titik yang dipilih yaitu menghindari lumut, tepian batuan, retakan dan kelemahan struktur lainnya yang terlihat di permukaan batuan. Area rembesan air juga dihindari dan semua pengukuran dilakukan dalam kondisi cuaca kering (Matthews et al., 2016).

Penelitian secara umum, nilai ini dapat digunakan sebagai pengetahuan awal dari kekuatan batu gamping (Winonazada et al., 2020). Peneliti terdahulu telah banyak melakukan pengelompokan sifat-sifat fisik maupun mekanik dari berbagai jenis batuan utuh. Attewel dan Farmer (1976) menyatakan bahwa nilai kuat tekan uniaksial batu gamping adalah sebesar 30-250 MPa. Penelitian yang menjelaskan tentang sifat fisis dan kuat tekan batuan telah dilakukan oleh (Rosari & Arsyad, 2018) di Bantimurung Maros dengan memperoleh nilai densitas sebesar 2-3 gr/cm³ dan nilai porositas menunjukkan jenis batuan yang ada pada daerah hutan batu maros adalah batugamping dolomit dan batu gamping terkarstifikasi. Dimana nilai kuat tekan batuan yaitu 20,87-33,70 MPa. Penelitian tersebut dilanjutkan oleh (Arsyad et al., 2020) di Gua Leang Londrong dengan memperoleh nilai densitas 2,2-2,7 kg/cm³ dan berdasarkan nilai porositas diperoleh jenis batuan adalah batu gamping terkarstifikasi. Nilai kuat tekan batuan berada pada rentang 20-50 MPa. Dengan menggunakan metode yang berbeda maka dilakukanlah penelitian ini.

2. Metode Penelitian

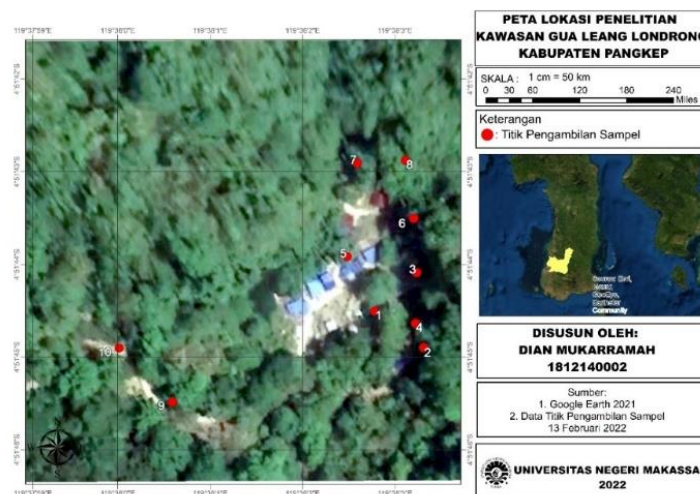
Penelitian ini berfokus pada sifat fisis dan kuat uji tekan batuan. Sifat fisis batuan meliputi porositas dan densitas, sedangkan kuat uji tekan diperoleh dengan menggunakan metode non-destructive dengan alat Hammer Test. Data akan langsung diambil di lapangan kemudian dianalisis.

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur
Mempelajari literatur-literatur atau teori-teori yang berhubungan dengan sifat fisis dan kuat uji tekan batuan, serta jurnal-jurnal penelitian yang berhubungan dan membahas mengenai pengujian sifat fisis dan kuat uji tekan batuan
2. Pengambilan sampel dan pengujian langsung dilapangan
Melakukan pengambilan sampel batuan di 10 titik lokasi yang telah ditentukan. Masing-masing titik akan diambil 3 sampel batuan, sehingga total sampel batuan adalah 30 sampel. Mengambil data langsung dilapangan yaitu pantulan palu Schmidt dengan menggunakan alat schmidt hammer. Terdapat 10 titik lokasi pengambilan data, tiap titik memiliki 10 data. Sehingga terdapat 100 data pengujian dengan menggunakan alat Schmidt hammer test. Titik lokasi pengambilan sampel batuan seperti pada Gambar 1.
3. Pengujian sampel batuan di laboratorium
Pengujian sifat fisis yang meliputi densitas dan porositas dilakukan di laboratorium Fisika FMIPA UNM.
4. Analisis data
Nilai porositas dan densitas diperoleh dari data pengukuran sampel di laboratorium. Nilai porositas dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$n = \frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana n = porositas, W_o = Berat Kering (g), W_w = Berat Jenuh (g), and W_s = Berat Perconto dalam Air (g).



Gambar 1 Lokasi Pengambilan Sampel Batuan

Nilai densitas dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\rho_n = \frac{W_n}{W_w - W_s} \quad (2)$$

$$\rho_d = \frac{W_0}{W_w - W_s} \quad (3)$$

$$\rho_s = \frac{W_w}{W_w - W_s} \quad (4)$$

Dimana ρ_n = Densitas Natural (gcm^{-3}), ρ_d = Densitas Kering (gcm^{-3}), ρ_s = Densitas Jenuh (gcm^{-3}), W_n = Berat Natural (g).

Estimasi nilai kuat tekan uniaksial batuan diperoleh dari data pengujian langsung di lapangan dengan menggunakan alat Schmidt Hammer Test. Kuat tekan uniaksial dihitung berdasarkan persamaan:

$$UCS = 2,208e^{0,067R} \quad (5)$$

dimana UCS = Kuat Tekan Uniaksial (MPa), R = Pantulan Schmidt Hammer

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sifat Fisis Batuan

Nilai porositas untuk ke 29 sampel batuan berada pada rentang 0-5 %, berdasarkan tabel 2.2 diperoleh informasi bahwa jenis batuan dari sampel tersebut adalah batu gamping dolomit. Sedangkan untuk sampel 3c merupakan satu-satunya sampel yang

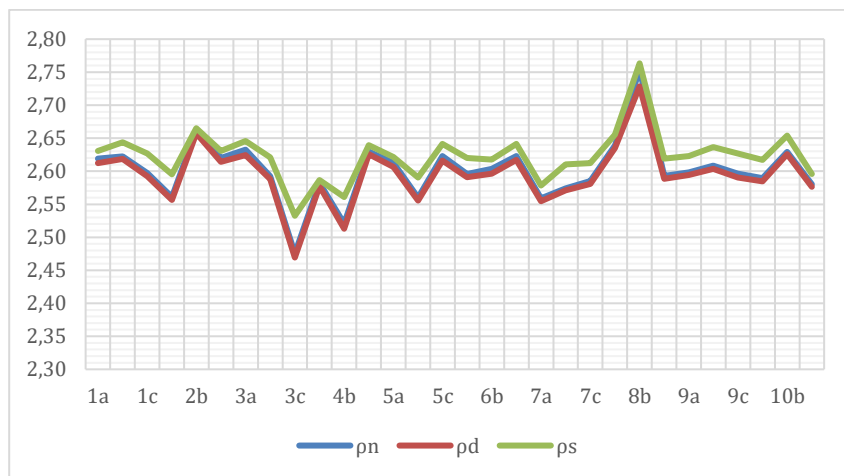
memiliki nilai porositas di atas 5% yaitu 6,33%, artinya jenis batuan sampel ini adalah batu gamping terkarstifikasi. Dari 30 sampel batuan diperoleh nilai rata-rata porositas sampel batuan yaitu 2,26 %, sehingga diperoleh Kawasan gua Leang Lonrong memiliki jenis batu gamping dolomit. Tabel 1 merupakan nilai porositas yang telah dikelompokkan berdasarkan ketinggian.

Lokasi I dengan elevasi 283 meter hingga 287 meter memiliki rentang porositas 0,80% hingga 3,87%. Selanjutnya lokasi II dengan elevasi 362 meter hingga 367 meter dengan memiliki rentang porositas 0,92% hingga 6,33%. Lokasi III dengan elevasi 371 meter hingga 383 meter dengan memiliki rentang porositas 0,80% hingga 3,93%. Sedangkan lokasi IV dengan elevasi 390 meter hingga 396 meter memiliki nilai porositas 2,04% hingga 3,49%.

Gambar 2 memberikan informasi bahwa hubungan antara massa jenis asli, massa jenis kering, dan massa jenis saturasi adalah berbanding lurus. Hasil pengukuran diperoleh massa jenis asli berada pada rentang $2,47 gcm^{-3}$ hingga $2,75 gcm^{-3}$. Sedangkan massa jenis kering sebesar $2,47 gcm^{-3}$ hingga $2,73 gcm^{-3}$. Massa jenis saturasi sebesar $2,53 gcm^{-3}$ hingga $2,76 gcm^{-3}$. Dengan mencocokkan nilai densitas dengan Tabel 2, diperoleh bahwa sampel berjenis batu kapur dan dolomit.

Tabel 1. Hasil Pengelompokan Porositas Berdasarkan Ketinggian

| Lokasi | Elevasi (m) | Titik | Porositas (%) | | |
|--------|-------------|-------|---------------|------|------|
| I | 287 | 9 | 2,89 | 3,30 | 3,65 |
| | 283 | 10 | 3,87 | 0,80 | 1,64 |
| II | 362 | 4 | 0,92 | 4,79 | 1,36 |
| | 366 | 1 | 1,83 | 2,55 | 3,42 |
| | 367 | 3 | 2,14 | 3,31 | 6,33 |
| | 367 | 5 | 1,52 | 3,48 | 2,54 |
| III | 371 | 2 | 3,87 | 0,80 | 1,64 |
| | 383 | 7 | 2,42 | 3,93 | 3,16 |
| IV | 390 | 6 | 2,90 | 2,16 | 2,45 |
| | 396 | 8 | 2,04 | 3,49 | 3,06 |



Gambar 2 Grafik Hubungan Massa Jenis Asli (ρ_n), Massa Jenis Kering (ρ_d) dan Massa Jenis Saturasi (ρ_s)

Tabel 2. Hasil Pengelompokan densitas berdasarkan ketinggian

| Lokasi | Elevesi (m) | Nomor | Densitas | | | | | | | | |
|--------|-------------|-------|------------------|------|------|-----------------|------|------|-------------------|------|------|
| | | | Densitas Natural | | | Densitas kering | | | Densitas Saturasi | | |
| I | 287 | 9 | 2,60 | 2,61 | 2,60 | 2,59 | 2,60 | 2,59 | 2,62 | 2,64 | 2,63 |
| | 283 | 10 | 2,59 | 2,63 | 2,58 | 2,58 | 2,63 | 2,58 | 2,62 | 2,65 | 2,60 |
| II | 362 | 4 | 2,58 | 2,52 | 2,63 | 2,58 | 2,51 | 2,63 | 2,59 | 2,56 | 2,64 |
| | 366 | 1 | 2,62 | 2,62 | 2,60 | 2,61 | 2,62 | 2,59 | 2,63 | 2,64 | 2,63 |
| | 367 | 3 | 2,63 | 2,59 | 2,48 | 2,62 | 2,59 | 2,47 | 2,65 | 2,62 | 2,53 |
| | 367 | 5 | 2,61 | 2,56 | 2,62 | 2,61 | 2,56 | 2,62 | 2,62 | 2,59 | 2,64 |
| III | 371 | 2 | 2,56 | 2,66 | 2,62 | 2,56 | 2,66 | 2,61 | 2,60 | 2,67 | 2,63 |
| | 383 | 7 | 2,56 | 2,57 | 2,59 | 2,55 | 2,57 | 2,58 | 2,58 | 2,61 | 2,61 |
| IV | 390 | 6 | 2,60 | 2,60 | 2,62 | 2,59 | 2,60 | 2,60 | 2,62 | 2,62 | 2,64 |
| | 396 | 8 | 2,64 | 2,75 | 2,59 | 2,63 | 2,73 | 2,59 | 2,66 | 2,76 | 2,62 |

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kuat Tekan Batuan Karst Gua Leang Lonrong

| Titik | R Rata-rata | UCS (MPa) | UCS (Kg/cm ²) |
|-------|-------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 50 | 62,5 | 637 |
| 2 | 46 | 48,5 | 494 |
| 3 | 37 | 27,1 | 279 |
| 4 | 39 | 30,7 | 313 |
| 5 | 50 | 64,6 | 659 |
| 6 | 41 | 33,8 | 344 |
| 7 | 42 | 36,3 | 370 |
| 8 | 41 | 33,8 | 344 |
| 9 | 43 | 38,8 | 396 |
| 10 | 34 | 21,4 | 218 |

Tabel 2 memberikan informasi mengenai pengelompokan densitas natural, densitas kering dan densitas saturasi berdasarkan ketinggian. Lokasi I berada pada ketinggian 283 m hingga 287 m memiliki densitas natural $2,58 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,63 \text{ gcm}^{-3}$, densitas kering memiliki rentang $2,58 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,63 \text{ gcm}^{-3}$ dan densitas saturasi $2,60 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,65 \text{ gcm}^{-3}$. Selanjutnya lokasi II memiliki ketinggian 362 m hingga 367 m dengan rentang densitas natural $2,48 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,63 \text{ gcm}^{-3}$, densitas kering memiliki densitas kering $2,51 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,63 \text{ gcm}^{-3}$ dan densitas saturasi yaitu $2,53 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,65 \text{ gcm}^{-3}$. Sedangkan lokasi III dengan ketinggian 371 m sampai 381 m memiliki densitas natural $2,56 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,66 \text{ gcm}^{-3}$, densitas kering $2,55 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,66 \text{ gcm}^{-3}$, dan densitas saturasi $2,58 \text{ gcm}^{-3}$. Lokasi IV dengan ketinggian 390 m hingga 396 m memiliki densitas natural $2,59 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,75 \text{ gcm}^{-3}$, densitas kering $2,59 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,73 \text{ gcm}^{-3}$ dan densitas saturasi $2,62 \text{ gcm}^{-3}$ hingga $2,76 \text{ gcm}^{-3}$.

3.2 Uji Kuat Tekan Batuan

Tabel 3 memberikan informasi mengenai kuat tekan batuan di Kawasan gua Leang Londrong. Nilai kuat tekan diperoleh dari data pengukuran *Schmidt Hammer*. Diperoleh nilai kuat tekan yang nilainya berada rentang 20 MPa hingga 65 Mpa.

Telah dilakukan 10 kali pengambilan data pantulan palu Schmidt untuk setiap titik dengan selisih jarak pengambilan data maksimal 25 mm. Lokasi pengambilan data haruslah datar sehingga peneliti melakukan pengujian pada dinding gua dan tebing gunung. Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa titik 10 memiliki kuat tekan sebesar 21,4 MPa. Dari pencocokan dengan Tabel 3 diperoleh bahwa jenis batuan adalah batuan yang sangat rapuh, dengan karakteristik lapuk dan batuan sedimen terkompaksi

lemah. Titik 10 berada jauh dari mulut gua, sekitar 200 meter dari mulut gua. titik 10 bukanlah daerah yang bisa dipijak oleh manusia, karena merupakan dinding gunung batu yang menjulang tinggi. Sehingga yang perlu diperhatikan adalah runtuh/longsornya daerah titik 10 karena merupakan jalan utama menuju Kawasan gua leang londrong. Meski mendapatkan predikat batuan yang sangat rapuh, dalam proses pemotongan sampel batuan pada titik 10 tidaklah berbeda dengan titik lainnya. Diperlukannya penelitian lebih lanjut pada titik 10.

Titik 2,3,4,6,7, 8 dan 9 memiliki rentang nilai kuat tekan yaitu 25 MPa hingga 50 MPa. Dari Tabel 3, jenis batuan di titik ini adalah batuan yang rapuh dengan karakteristik batuan sedimen tersedimentasi lemah. Titik 2 merupakan daerah mulut gua dengan nilai kuat tekan 48,5 MPa, yang artinya daerah aman bagi manusia serta daerah ini adalah yang paling sering bersentuhan dengan manusia. Titik 3 dan 4 merupakan daerah yang paling mudah dijangkau oleh wisatawan dan merupakan titik yang paling dekat dengan penjual makanan dengan nilai kuat tekan 27,1 MPa dan 30,7 MPa, sehingga masih aman untuk wisatawan berpijak di daerah ini. Di titik ini peneliti mengambil data pada dinding gunung.

Titik 6 merupakan daerah yang sangat dekat dengan gazebo sebelah kiri dari jalan memiliki nilai kuat tekan 33,8 MPa dan merupakan daerah yang aman untuk manusia. Titik 7 dan 8 merupakan daerah yang jauh dari gua, di daerah ini pengambilan data di dinding gunung dengan nilai kuat tekan 36,3 MPa dan 33,8 MPa. Sedangkan titik 9 berada di luar Kawasan wisata yaitu jalan menuju Kawasan. Pengambilan data pada dinding gunung batu dengan nilai 38,8 MPa. Titik 1 dan 5 memiliki kuat tekan 62,5 MPa dan 64,6 MPa. Titik ini merupakan daerah yang paling sering bersentuhan dengan manusia. jenis batuan di titik ini adalah batuan yang cukup keras dengan karakteristik

batuan sedimen kompeten, beberapa batuan beku dengan bobot isi rendah berbutir kasar. Di titik ini pengambilan data bukan pada dinding gunung, tetapi pada batu besar dengan permukaan yang datar dan rata.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa nilai porositas dari 30 sampel batuan berada pada rentang 0,92% hingga 6,33%. Nilai massa jenis memiliki rentang 2,51 hingga 2,76, sehingga jenis batuan di kawasan Gua Leang Londrong adalah batuan karst dolomit. Pengujian kuat tekan menggunakan alat Schmidt Hammer Test, diperoleh nilai kuat tekan berada pada rentang 20 MPa hingga 62 MPa. Maka berdasarkan nilai kuat tekan batuan diperoleh bahwa titik 10 berjenis batuan sangat rapuh, titik 2,3,4,5,6,7,8 dan 9 merupakan jenis batuan rapuh, serta titik 1 dan 5 merupakan jenis batuan yang cukup keras. Keterbatasan dari penelitian ini adalah kurangnya sampel batuan dan titik lokasi pengambilan data pantulan palu Schmidt. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat menjelaskan tentang modulus deformasi batuan dan sifat geokimia batuan karst di Kawasan Gua Leang Londrong.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, F. H. (2021). Porosity and permeability of karst carbonate rocks along an unconformity outcrop: A case study from the Upper Dammam Formation exposure in Kuwait, Arabian Gulf. *Heliyon*, 7(7), e07444. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07444>
- Acworth, R. I. (2001). *Electrical Methods in Groundwater Studies, Short Course Note, School of Civil and Environmental Engineering*. University of New South Wales.
- Araújo, R. E. B., La Bruna, V., Rustichelli, A., Bezerra, F. H. R., Xavier, M. M., Audra, P., Barbosa, J. A., & Antonino, A. C. D. (2021). Structural and sedimentary discontinuities control the generation of karst dissolution cavities in a carbonate sequence, Potiguar Basin, Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 123(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104753>
- Ariyanto, K. D., Rabin, S., Saleky, D. B., Titirloloby, A., Dwi, Y., Cahyono, G., Pertambangan, T., Teknologi, I., & Tama, A. (2020). Analisis pengaruh porositas terhadap uji kuat tekan unikasial pada batu gamping. *PROSIDING, Seminar Teknologi Kebumihan Dan Kelautan (SEMITAN II)*, 467–471.
- Arsyad, M., Tiwow, V. A., Sulistiawaty, & Sahdian, I. A. (2020). Analysis of physical properties and mechanics of rocks in the karst region of Pangkep Regency. *Journal of Physics: Conference Series*, 1572(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1572/1/012008>
- Bukit Andika, A. P. (2020). *Studi sifat fisik dan sifat mekanik untuk mengetahui karakteristik batupasir formasi balikpapan pada lereng penambangan batupasir, samarinda*. 2, 67–70.
- Demirdag, S. A., Yavuz, H., & Altindag, R. (2009). The effect of sample size on Schmidt rebound hardness value of rocks. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 46, 725–730. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.09.004>
- Dinçer, I., Acar, A., Çobanoğlu, I., & Uras, Y. (2004). Correlation between Schmidt hardness, uniaxial compressive strength and Young's modulus for andesites, basalts and tuffs. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63(2), 141–148. <https://doi.org/10.1007/s10064-004-0230-0>
- Fatmainnah, Arsyad, M., & Palloan, P. (2018). Analysis of medium characteristic based on grain size Gua Mimp Maros Karst Region Bantimurung - Bulusaraung National Park. *Journal of Physics: Conference Series*, 1120(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1120/1/012057>
- Hayati, N. (2019). Pengelolaan Ekowisata Leang Londrong Berbasis Desa. *Komunitas Manajemen Hutan Indonesia (KOMHINDO)*, 02. <https://doi.org/10.32734/anr.v2i1.578>
- Liu, H., Zhu, W., Yu, Y., Xu, T., Li, R., & Liu, X. (2020). Effect of water imbibition on uniaxial compression strength of sandstone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 127(February 2019), 104200. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.104200>
- Matthews, J. A., Owen, G., Winkler, S., Vater, A. E., Wilson, P., Mourn, R. W., & Hill, J. L. (2016). A rock-surface microweathering index from Schmidt hammer R-values and its preliminary application to some common rock types in southern Norway. *Catena*, 143, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.018>
- Miller, R. (1965). *Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock*. University of Illinois.
- Nestmann, F., Oberle, P., Ikhwan, M., Stoffel, D., & Solichin. (2013). Development of underground water extraction system for karst regions with adapted technologies and operating system pilot plant in Java, Indonesia. *Procedia Engineering*, 54, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.006>
- Palloan, P., Munawir, & Subaer. (2013). Studi Tentang Genesa Pembentukan dan Tipe Mineral Kawasan Karst (Dinding Luar) Gua Mimp Maros. *Universitas Negeri Makassar*.
- Prasetya, Z. I. (2013). Sifat Fisik & Manfaat Batuan Beku di Desa Sapulante, Kecamatan Pasrepa, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah*, 6.
- Purwanto, Abdul Muhaimin, Djamaluddin, Ratna Husain, B. (2017). Pengaruh Derajat Pelapukan Terhadap Kekuatan Batuan Pada Batuan Basal. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Iv, November*, 27–34.
- Ridha, M., & Darminto, D. (2016). Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi dan Kedalaman. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 12(3), 124–130. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v12i3.1403>
- Rosari, A. A., & Arsyad, M. (2018). Analisis Sifat Fisis Dan Sifat Mekanik Batuan Karst Maros. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 13(3), 276–281.
- Selby, M. J. (1984). A rock mass strength classification for geomorphic purpose: with test from Antarctica and New Zealand. *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 21, 39–42.
- Soma, T. Z. A. (2020). *Analisis Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Resistivitas di Kawasan Wisata Gua Leang Lonrong Taman Nasional Bantimurung-Bulusaraung*. Universitas Negeri Makassar.
- Telford, W. W., Goldrat, L. P., & Sheriff, R. P. (1990). *Applied Geophysics (Second Ed)*. Cambridge University Press.

Arsyad, M., Mukarramah, D., Susanto, A. (2023). Studi Tentang Sifat Fisis dan Kuat Uji Tekan Batuan Karst Kawasan Gua Leang Londrong Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 789-795, doi:10.14710/jil.21.4.789-795

Wang, X., Battista, G., Clague, J. J., Stead, D., Sun, J., Qi, S., & Liu, H. (2021). Fault controls on spatial variation of fracture density and rock mass strength within the Yarlung Tsangpo Fault damage zone (southeastern Tibet). *Engineering Geology*, 291(June), 106238. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106238>

Winonazada, R., Nugraha, L., & Koesnaryo, S. (2020). *Klasifikasi Kekerasan Batugamping Berdasarkan Nilai*

Kuat Tekan di Kecamatan Ponjong , Kecamatan Semanu , dan Kecamatan. 2020, 5–6.

Xiao, D., Tan, Y., Liu, X., Yang, R., Zhang, W., He, X., Xu, Z., & Wang, K. (2020). Responses of soil diazotrophs to legume species and density in a karst grassland, southwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 288(October 2019), 106707. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106707>