

Pengaruh Porositas Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batuan Sedimen (Effect of Porosity on Uniaxial Compressive Strength in Sedimentary Rocks)

Andesta Granitio Irwan^{1*}, Danu Mirza Rezky², Rety Winonazada³
^{1,2,3}Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

* Korespondensi E-mail: anddesta.granitio@gmail.com

Abstrak

Parameter kekuatan batuan merupakan faktor penting yang digunakan dalam penentuan desain geoteknik dalam menentukan kestabilan lereng atau tambang bawah tanah. Salah satu pengujian kekuatan batuan di laboratorium (*intact rock*) yaitu uji kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength*). Faktor yang mempengaruhi kekuatan batuan salah satunya yaitu porositas batuan itu sendiri khususnya pada batuan sedimen. Pengujian porositas batuan dilakukan dengan pengujian sifat fisik batuan yang kemudian dilakukan analisis regresi untuk mendapatkan korelasi pengaruh porositas terhadap kekuatan batuan serta korelasi antara porositas dan absorpsi dipertimbangkan dalam analisis. Hasil regresi linier yang didapat antara porositas dan kadar air jenuh batuan menunjukkan korelasi positif dimana semakin meningkat porositas maka kadar air jenuh juga meningkat. Korelasi antara porositas dan kuat tekan uniaksial didapat korelasi yang kuat dengan model regresi power sebagai model terbaik dibandingkan model regresi lainnya karena memiliki galat terendah berdasarkan *Root Mean Square Error (RMSE)*. Hasil akhir yang didapat dengan membandingkan pengaruh porositas terhadap kekuatan batuan diperoleh peningkatan porositas batuan akan menyebabkan menurunnya kekuatan batuan.

Kata kunci: Porositas, sedimen, kuat tekan uniaksial, absorpsi, regresi

Abstract

The rock strength parameter is an important factor used in determining the geotechnical design in determining the stability of the underground slope or mine. One of the rock strength tests in the laboratory (intact rock) is the uniaxial compressive strength test. One of the factors that influence rock strength is the porosity of the rock itself, especially in sedimentary rocks. The rock porosity test is carried out by testing the physical properties of the rock, then a regression analysis is carried out to obtain the correlation of the effect of porosity on rock strength and the correlation between porosity and absorption considered in the analysis. The linear regression results obtained between porosity and saturated water content of rocks showed a positive correlation where the increase in porosity, the saturated water content also increased. The correlation between porosity and uniaxial compressive strength obtained a strong correlation with the power regression model as the best model compared to other regression models because it has the lowest error based on the Root Mean Square Error (RMSE). The final result obtained by comparing the effect of porosity on the strength of the rock, it is found that an increase in rock porosity will cause a decrease in rock strength.

Keywords: Porosity, sediment, uniaxial compressive strength, absorption, regression

1. Pendahuluan

Kuat tekan uniaksial umumnya digunakan untuk mendapatkan indeks propertis dari batuan (Li & Aubertin, 2003) dan merupakan metode yang reliabel dalam menentukan kekuatan batuan (Liang et al., 2015). Kuat tekan uniaksial sangat umum digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari batuan. Pengujian ini secara luas digunakan pada bidang sipil dan pertambangan sebagai parameter masukan desain teknik (Aladejare., 2020). Ada beberapa cara dalam penentuan kuat tekan uniaksial dengan standar yang ditetapkan oleh *International Society for Rock Mechanics (ISRM)* dan *American Society for Testing and Materials (ASTM)* (Jamshidi et.al., 2018) dimana pengujian dapat dilakukan secara langsung (*direct test*) pada laboratorium atau

secara tidak langsung menggunakan Point Load Indeks dan persamaan empiris lainnya (Alitalesh et.al., 2015).

Kekuatan batuan batuan sedimen secara umum lebih kecil dibandingkan dengan batuan beku dan metamorf, hal ini diakibatkan oleh adanya karakteristik alamiah batuan sedimen yang memiliki porositas dalam pembentukannya. Porositas merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan batuan dimana peningkatan porositas akan menyebabkan peningkatan regangan pada batuan sehingga akan menyebabkan keruntuhan (*failure*) (Heidari et al., 2014) dimana pengaruh adanya porositas pada batuan sedimen berdampak pada kadar jenuh air (absorpsi) pada batuan dimana penurunan kekuatan batuan dapat terjadi karena

adanya peningkatan absorpsi pada batuan (Ünal dan Altunok., 2019).

Penelitian ini ditujukan untuk menganalisis pengaruh porositas terhadap nilai kuat tekan batuan sedimen serta hubungan antara porositas dan kandungan air jenuh pada batuan saling bergantung satu sama lain dan absorpsi merupakan faktor yang dapat menurunkan kekuatan dari batuan (Cai et al., 2019).

2. Metode

Metode penelitian dilakukan dengan pengujian laboratorium untuk empat sampel batuan sedimen. Pedoman *International Society for Rock Mechanics (ISRM)* digunakan untuk pengujian kuat tekan uniaksial (UCS) dan uji sifat fisik. Sampel yang digunakan merupakan batuan sedimen dengan pengambilan sampel acak dari lokasi berbeda di Belitung Timur dan Gunung Kidul dengan bentuk bongkah yang kemudian disesuaikan ukurannya dengan pemotongan menjadi dua sampel dengan dengan bentuk balok. Ukuran yang direkomendasikan untuk sampel uji yaitu $\pm$ tinggi = 2 x diameter (untuk bentuk balok diameter = panjang x lebar).

Sampel batuan sedimen yang digunakan berjumlah 4 sampel dengan dimensi yang berbeda tetapi masih mengikuti rekomendasi ISRM. Sampel yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel pengujian laboratorium

No	Nama Batuan	Diameter (mm)	Tinggi (mm)
1	Gamping	56,40	100,50
2	Gamping	53,00	105,90
3	Gamping	52,30	105,90
4	Breksi	53,40	104,90

Uji sifat fisik batuan ditujukan untuk mengetahui parameter fisik masing-masing batuan seperti porositas batuan dan derajat kejenuhan. Pada pengujiannya, sampel ditimbang untuk mendapatkan berat asli, kemudian dikeringkan selama 24 jam dalam oven dengan suhu sekitar 90° C dan ditimbang untuk mendapatkan berat kering sampel dan kemudian sampel direndam pada air selama 24 jam dan ditimbang untuk mendapatkan berat jenuh. Hasil penimbangan pada sampel digunakan untuk mencari parameter sifat fisik seperti porositas (n) dan kadar air jenuh (absorpsi) dengan persamaan (1) dan (2).

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

$$\text{absorpsi} = \frac{(W_w - W_o)}{(W_o)} \times 100 \% \quad (2)$$

dimana W_n , W_o , W_w , dan W_s merupakan berat sampel asli, berat sampel kering, berat sampel jenuh, dan berat sampel jenuh dalam air berturut-turut.

RMSE (*Root Mean Square Error*) digunakan untuk membandingkan kesalahan dari suatu model regresi yang digunakan (Chae & Draxer., 2004) dan digunakan untuk kontrol performa dari suatu model regresi (Minaeian and Ahangari., 2017). Persamaan yang digunakan dalam perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*) dapat menggunakan persamaan (3).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

dengan y_i dan $\hat{y}_i$ merupakan nilai yang diketahui dan nilai prediksi dari variabel yang digunakan.

Pengujian Kuat Tekan Uniaksial (UCS) dilakukan pada masing-masing sampel yang sudah dipreparasi dengan meletakkan sampel pada bagian tengah alat dan sampel diapit dengan dua plat yang kemudian menekan sampel secara vertikal hingga batuan pecah. Pada pengujiannya, regangan tiap sampel diamati ketika menerima penambahan beban sehingga hasil dari pengujian ini didapatkan parameter nilai kuat tekan uniaksial (MPa), modulus elastisitas (MPa), dan nisbah poisson. Pengujian kuat tekan pada sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Uji kuat tekan uniaksial

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian meliputi pengujian laboratorium yang dianalisis menggunakan regresi untuk penentuan nilai galat dan

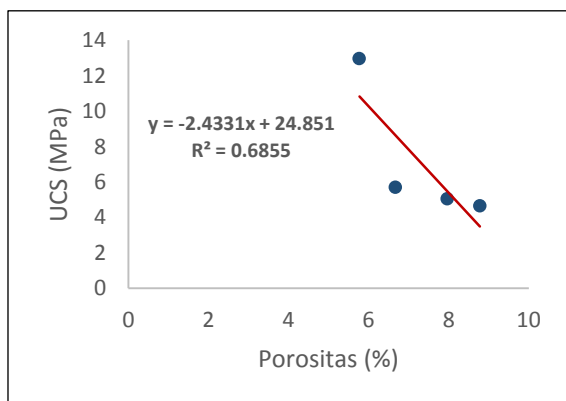
pembahasan hubungan kekuatan batuan dengan porositas dan absorpsi pada batuan.

Hasil pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai kuat tekan uniaksial (UCS), porositas, dan derajat kejenuhan (absorpsi) (Tabel 2) kemudian diolah dengan menggunakan regresi untuk mengetahui hubungan antar data (kuat tekan uniaksial & porositas). Analisis regresi yang digunakan didasarkan pada validasi dari kesalahan yang dihasilkan, salah satunya menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*).

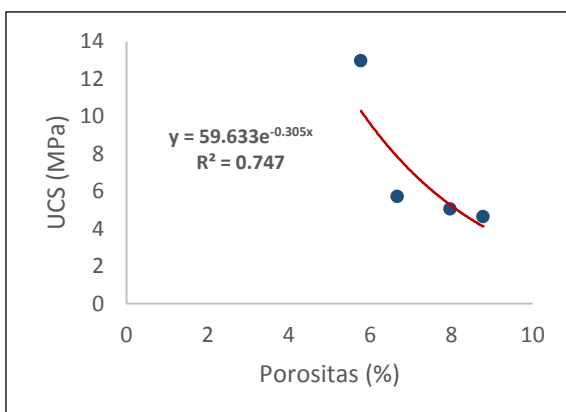
Tabel 2. Hasil pengujian laboratorium

Nama Batuan	UCS (MPa)	Porositas (%)	Absorpsi (%)
Gamping	12.96	5.77	2.33
Gamping	5.71	6.67	2.64
Gamping	5.06	7.97	3.21
Breksi	4.65	8.78	3.54

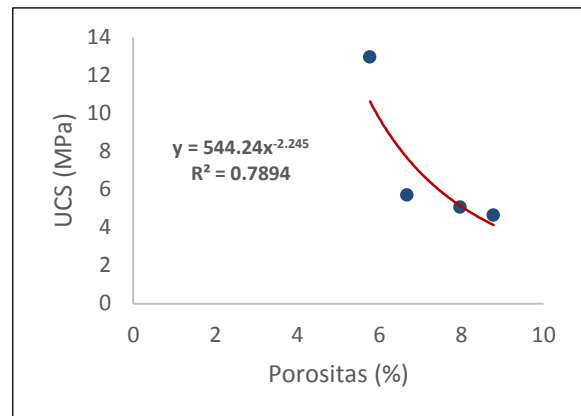
Kemudian model regresi yang dibandingkan pada penelitian yaitu eksponensial, linier, dan power (Gambar 2 – 4) dimana hubungan antara kuat tekan uniaksial dan porositas untuk ketiga model dibandingkan dengan RMSE sehingga didapatkan hasil koefisien determinasi (R^2) (Tabel 3).



Gambar 2. Model regresi linier



Gambar 3. Model regresi eksponensial



Gambar 4. Model regresi power

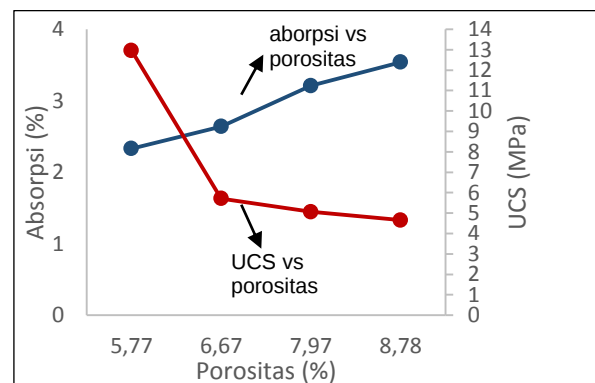
Kriteria penentuan model regresi yang digunakan yaitu dengan melihat koefisien determinasi (R^2) yang paling mendekati 1 dan nilai RMSE paling kecil yang menandakan nilai galat yang kecil untuk model regresi pada data penelitian.

Tabel 3. Nilai RMSE tiap model regresi

Model Regresi	R^2	RMSE
Linier	0,6855	1,9107
Eksponensial	0,7470	1,7309
Power	0,7894	1,5446

Hasil Nilai RMSE tiap model regresi pada Tabel 3 menunjukkan bahwa model regresi power merupakan model terbaik yang digunakan untuk data penelitian dengan nilai R^2 dan RMSE yang paling baik.

Hubungan antar kekuatan batuan dan porositas menunjukkan hubungan yang berkebalikan dalam artian semakin tinggi kekuatan batuan maka nilai porositas batuan semakin kecil yang ditunjukkan pada Gambar 5.



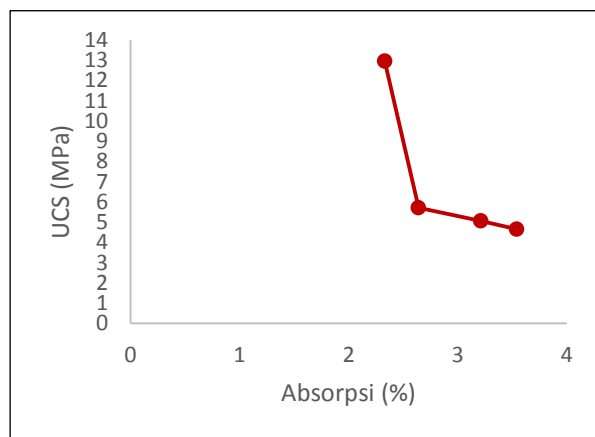
Gambar 5. Hubungan porositas pada UCS dan absorpsi batuan

Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh porositas untuk kekuatan batuan sangat penting, adanya porositas berhubungan dengan adanya rongga pada batuan dimana semakin banyak

rongga pada batuan maka batuan akan semakin banyak memiliki bidang lemah.

Banyaknya rongga pada batuan berhubungan dengan kemampuan batuan dalam menyerap air. Batuan dengan rongga (biasanya terbentuk dari butiran penyusun batuan) akan mudah dalam menyerap air sehingga kadar air dengan porositas akan cenderung memiliki hubungan yang sama, yaitu semakin tinggi porositas maka kandungan air juga ikut meningkat (Gambar 5).

Dengan meningkatnya porositas maka terjadi peningkatan kadar jenuh air (absorpsi) pada batuan sehingga kekuatan batuan akan menurun (Gambar 5) dimana hubungan UCS dan absorpsi menunjukkan penurunan nilai kuat tekan ketika adanya peningkatan nilai absorpsi pada batuan, hal ini sama seperti hasil penelitian yang ditunjukkan oleh (Wang et al., 2017).



Gambar 6. Hubungan UCS dan absorpsi

4. Kesimpulan

Nilai kekuatan batuan pada batuan sedimen mengalami penurunan ketika adanya peningkatan nilai porositas dan absorpsi pada batuan karena porositas akan menghasilkan rongga sebagai bidang lemah dan akan meningkatkan penyerapan air yang merupakan salah satu faktor penyebab penurunan kekuatan batuan. Disamping itu juga parameter sifat fisik dan mekanik mempengaruhi kekuatan batuan yang harus diperhatikan lebih detail dalam perancangan suatu desain geoteknik.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada teman-teman MTA angkatan 32 UPN "Veteran" Yogyakarta atas bantuan dalam pengambilan sampel lapangan dan Ka. Laboratorium Asia Rock Test atas bantuan pengujian sampel yang digunakan.

Daftar Pustaka

Aladejare, A. E., 2020. Evaluation of empirical estimation of uniaxial compressive strength of rock using measurements from index and

physical tests. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Elsevier Ltd, 12(2), pp. 256–268.

Alitalesh, M., Mollaali, M. and Yazdani, M., 2015. Correlation between uniaxial strength and point load index of rocks. *15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, ARC 2015: New Innovations and Sustainability, pp. 504–507.

Cai, X., Zhou, Z., Liu, K., Du, X., Zang, H., 2019. Water-weakening effects on the mechanical behavior of different rock types: Phenomena and mechanisms. *Applied Sciences* (Switzerland), 9(20), pp. 14–28.

Chae, T., Draxler, R.R., 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev*, 7, pp. 1247–1250, 2014.

Heidari, M., Khanlari, G.R., Torabi-Kaveh, M., Kargarian, S., Saneie, S., 2014. Effect of porosity on rock brittleness. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47(2), pp. 785–790.

Jamshidi, A., Zamanian, H. and Zarei Sahamieh, R., 2018. The Effect of Density and Porosity on the Correlation Between Uniaxial Compressive Strength and P-wave Velocity. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. Springer Vienna, 51(4), pp. 1279–1286.

Li, L. and Aubertin, M., 2003. A general relationship between porosity and uniaxial strength of engineering materials. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(4), pp. 644–658.

Liang, M., Mohamad, E.T., Khun, M.C., Alel, M.N.A., 2015. Estimating uniaxial compressive strength of tropically weathered sedimentary rock using indirect tests. *Jurnal Teknologi*, 72(3), pp. 49–58.

Minaeian, B. and Ahangari, K., 2017. Prediction of the uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength of weak conglomerate. *International Journal of Geo-Engineering*. Springer Singapore, 8(1).

Ünal, M. and Altunok, E., 2019. Determination of Water Absorption Properties of Natural Building Stones and Their Relation To Porosity. *E-journal of New World Sciences Academy*, 14(1), pp. 39–45.

Wang, M., Cao, P., Li, R., Fan, X., 2017. Effect of water absorption ratio on tensile strength of red sandstone and morphological analysis of fracture surfaces. *Journal of Central South University*, 24(7), pp. 1647–1653.