PROSIDING, Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan (SEMITAN III)
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS), Indonesia, 10 Juli 2021
ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

STUDI KARAKTERISTIK HUBUNGAN PARAMETER SIFAT FISIK DENGAN KUAT TEKAN UNIAKSIAL PADA CONTO BATUAN ANDESIT

Evie Noviany Dias[1], Ratih Hardini Kusuma Putri[1], Diana Irmawati Pradani[1], Yafet Matrutty[1]

[1]Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Jl. Arif Rahman Hakim No. 100

e-mail: eviediasz3620@gmail.com

ABSTRAK

Dalam ilmu mekanika batuan, kuat tekan uniaksial atau *uniaxial compressive strength* (UCS) dan parameter sifat fisik batuan merupakan parameter yang sangat penting dan saling berhubungan dalam keperluan merekayasa dalam mekanika batuan. Penelitian ini dilakukan pada sampel batuan Andesit dari Daerah Wotonmas Jedong, Kecamatan Ngoro, Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur, yang bertujuan untuk megetahui hubungan antara parameter sifat fisik meliputi bobot isi batuan, kadar air asli, derajat kejenuhan maupun porositas dengan kuat tekan uniaksial. Pengujiannya dilakukan pada 6 sampel, terbagi atas 3 sampel uji fisik dan 3 sampel uji kuat tekan. Sehingga akan didapatkan hubungan antara kedua parameter yang diuji yang pastinya akan berpengaruh dalam penentuan kekuatan massa batuan dalam ilmu mekanika batuan.

Kata kunci: Ujii Sifat Fisik, Uji Kuat Tekan Uniaksial, Mekanika Batuan

ABSTRACT

In rock mechanics, uniaxial compressive strength (UCS) and parameters of rock physical properties are very important and interrelated parameters in engineering purposes in rock mechanics. This research was conducted on Andesite rock samples from Wotonmas Jedong District, Ngoro District, Mojokerto Regency, East Java Province, which aims to determine the relationship between physical properties parameters including rock density, original water content, degree of saturation and porosity with uniaxial compressive strength. The test was carried out on 6 samples, divided into 3 physical test samples and 3 compressive strength test samples. So that the relationship between the two parameters tested will be obtained which will certainly affect the determination of rock mass strength in rock mechanics.

Keywords: Physical Properties Test, Uniaxial Compressive Strength Test, Rock Mechanics

PENDAHULUAN

Parameter penentu yang paling berpengaruh dalam keperluan mekanika batuan adalah sifat fisik dan kuat tekan uniaksial atau *uniaxial compressive strength* (UCS). Dalam penentuan metode pemberaian batuan pada penambangan baik tambang terbuka maupun tertutup dapat menggunakan data pengujian kuat tekan uniaksial, yang berupa data *uniaxial compressive strength*, Modulus Young dan Poisson Ratio. Dalam perancangan jenis dan jumlah alat penggalian, pemodelan dan pengidentifikasian masalah geohidrologi tambang dapat menggunakan data pengujian sifat fisik, yang berupa bobot isi asli, bobot isi kering, bobot isi jenuh, kadar air, derajat kejenuhan dan porositas. Kuat tekan uniaksial dan sifat fisik batuan berkaitan erat dengan lubang galian bawah tanah dan kestabilan geoteknik lereng tambang yang digunakan sebagai dasar permodelan geomekanik dan desain teknik geologi (Rai et al., 2014).

Dalam ilmu mekanika batuan, khususnya dalam pengevaluasian kekuatan massa batuan, dapat digunakan parameter kuat tekan uniaksial (UCS). Kekuatan batuan merupakan kriteria pengklasifikasian batuan yang berguna dalam desain struktur permukaan maupun bawah tanah dan pengoptimalan konstruksi. Secara umum, kekuatan, kekakuan dan deformabilitas batuan memiliki kaitan yang erat dengan nilai porositas. Porositas merupakan kemampuan batuan dalam penyerapan fluida dari ruang-ruang yang terisi oleh fluida diantara mineral maupun zat padat pada batuan (Rosari & Arsyad, 2017). Porositas dapat terbentuk oleh rongga-rongga diantara mineral ataupun batuan dengan bentuk, distribusi dan ukuran yang berbeda namun saling berhubungan ataupun terputus (Pola et al., 2010).

ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

Penelitian terdahulu telah banyak menjelaskan dampak adanya kehadiran air, derajat kejenuhan dan porositas terhadap kekuatan batuan, tanah, beton maupun campurannya. Namun analisis secara terukur tentang kaitan maupun karakteristik hubungan antara parameter sifat fisik, berupa bobot isi, kadar air, derajat kejenuhan dan porositas dengan uji kuat tekan jarang dibahas maupun dilaporkan. Penelitian yang dilakukan di Daerah Wotonmas Jedong, Kecamatan Ngoro, Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur bertujuan untuk mengkaji hubungan parameter sifat fisik dan kuat tekan uniaksial pada conto batuan Andesit.

METODE

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan awal yang dilakukan di laboratorium sebelum perhitungan dan analisis hasil pengujian untuk mengetahui hubungan antara parameter uji fisik dengan kuat tekan uniaksial. Tahapan yang dimaksud antara lain: preparasi conto, uji fisik dan uji UCS batuan. Sampel batuan diambil dari Daerah Wotonmas Jedong, Kecamatan Ngoro, Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur dalam bentuk bongkah dan berjumlah 3 buah dengan dimensi 1x1x1 meter dan dilakukan pemboran untuk mendapatkan conto inti silinder batuan yang akan dipreparsi lagi untuk tahapan pengujian fisik dan pengujian kuat tekan uniaksial.

Dalam pengujian yang dilakukan, terdapat enam sampel batuan Andesit yang terbagi menjadi tiga sampel untuk pengujian sifat fisik dan tiga sampel untuk pengujian kuat tekan uniaksial. Yang diambil dari tiga conto batuan, yaitu conto pertama sebagai sampel A pada uji fisik dan uji kuat tekan uniaksial, conto kedua sebagai sampel B pada uji fisik dan uji kuat tekan uniaksial dan conto ketiga sebagai sampel C pada uji fisik dan uji kuat tekan uniaksial.

Preparasi Contoh

Pada tahapan preparasi, conto batuan akan dipotong dengan bentuk yang simetris dan rata (boleh dihaluskan) agar sesuai dengan prosedur ISRM yang disarankan. Conto batuan akan dipotong menjadi bentuk tidak beraturan untuk pengujian sifat fisikdan dipotong menjadi balok dengan ukuran yang disesuaikan dengan prosedur ISRM pada ketiga sampel agar sesuai dengan ukuran alat uji UCS yang digunakan.

Setelah terpotong, sampel akan dihaluskan manual dengan amplas agar permukaannya lebih rata dengan toleransi ketidakrataan permukaan sebesar ±0,1 mm. Tujuannya agar tegangan akibat penekanan tersebar secara merata. Hal ini dikarenakan, permukaan sampel yang tidak rata dan kurang halus akan menyebabkan kekuatan batuan mengalami pengurangan dan tidak semua permukaan akan mengalami kontak, sehingga hanya bagian yang terkena kontak yang mengalami tegangan.

Uji Sifat Fisik

Prosedur pengujian sifat fisik mengacu pada *International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISMR) Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption, and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties* – 1977. Pengujian dilakukan dengan alat-alat uji seperti neraca ohaus untuk menimbang berat sampel, desikator sebagai wadah perendaman sampel, vaccum untuk menghisap udara di dalam desikator, dan over untuk membakar sampel batuan.

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan, sebagai berikut: Sampel uji fisik hasil preparasi ditimbang dengan neraca ohaus untuk mendapatkan nilai berat conto asli (W_n). Selanjutnya sampel dijenuhkan didalam desikator yang kedap udara selama 24 jam, kemudian ditimbang ulang untuk mendapatkan berat conto jenuh (W_w) dan diganntung diatas air (disimulasikan terapung) untuk mendapatkan nilai berat conto jenuh tergantung (W_s). Tahapn terakhir, sampel dimasukkan ke dalam oven untuk dibakar selama 24 jam dengan suhu 120°, kemudian ditimbang ulang untuk mendapatkan berat conto kering (W_o). Hasil perhitungan sampel, berada pada satuan gram (gr).

Parameter sifat fisik yang akan didapatkan melalui pengujian adalah bobot isi asli (*natural density* (ρ_n)), bobot isi kering (*dryl density* (ρ_d)), bobot isi jenuh (*saturated density* (ρ_s)), berat jenis semu (*apparent specific gravity* (G_s)), berat jenis asli (*true specific gravity* (G_s)), kadar air asli (*natural water content* (W_c)), kadar air jenuh (*saturatedl water content* (W_s)), derajat kejenuhan (*degree of saturation*), porositas (*porosity*) dan angka pori (*void ratio*). Yang dihitung dengan persamaan (1) sampai persamaan (10).

$$\rho_n = \frac{W_n}{W_w - W_s} \qquad (1)$$

$$\rho_d = \frac{W_o}{W_w - W_s} \qquad (2)$$

$$\rho_s = \frac{W_w}{W_w - W_s} \qquad (3)$$

ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

$$G_s = \frac{W_o}{W_w - W_s} \quad \text{.....(4)}$$

$$G_s = \frac{W_o}{W_o - W_s} \quad \text{.....(5)}$$

$$W_c = \frac{W_n - W_o}{W_o} \times 100 \quad \text{.....(6)}$$

$$W_s = \frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100 \quad \text{.....(7)}$$

$$S = \frac{W_n - W_o}{W_w - W_o} \times 100 \quad \text{.....(8)}$$

$$n = \frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100 \quad \text{.....(9)}$$

$$e = \frac{n}{1-n} \quad \text{.....(10)}$$

Uji Kuat Tekan Uniaksial

Prosedur pengujian kuat tekan uniaksial mengacu pada ISRM *Suggested Method for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials*. Pengujian sampel dilakukan menggunakan alat uji kuat tekan beton digital. Pada keadaan umum pengujian kuat tekan uniaksial, sampel harus berbentuk silinder dengan perbandingan antar panjang dengan diamenter yaitu 2-2,5 kali diameternya atau L = 2 D yang seukuran dengan alat uji UCS guna menghindari tengangan pada kondisi L/D = 1. Sebelum diletakan dalam plat alat uji, diameter sampel harus diukur hingga mendekati ketelitian 0,1 mm. Selanjutnya tekanan, gaya, dan bebanyang akan digunakan harus diatur untuk menekan sampel hingga hancur atau retak. Hasilnya akan terekam dari *software* yang disampingkan dengan alat pengujian melalui *record* berupa grafik tegangan dan regangan.

Kuat tekan uniaksial dinyatakan dengan persamaan (11). Kuat tekan uniaksial conto batuan dilambangan dengan σ_c, gaya yang bekerja sat conto batuan runtuh dilambangkan dengan F, dan luas penampang conto batuan dilambangkan dengan A. Luas penampang dinyatakan dengan persamaan (12). Diameter conto dilambangkan dengan D dan π adalah konstanta dengan nilai 3,14 atau 22/7. Persamaman yang digunakan dalam uji kuat tekan uniaksial, sebagai berikut:

σ_c = F/A.....(11)

A = ¼ π D^2.....(12)

HASIL DAN DISKUSI

Pengujian sifat fisik dan kuat tekan uniaksial dilakukan terhadap conto batuan Andesit dari 6 sampel batuan, yang terbagi menjadi 3 sampel untuk pengujian sifat fisik dan 3 sampel untuk pengujian uji kuat tekan uniaksial. Pengujian sifat fisik mmenghasilkan data bobot isi asli, bobot isi kering, bobot isi jenuh, kadar air, derajat kejenuhan dan porositas yang dapat dilihat pada tabel 1. Pengujian kuat tekan uniaksial menghasilkan data *uniaxial compressive strength* dan Modulus Young yang dapat dilihat pada tabel 2.

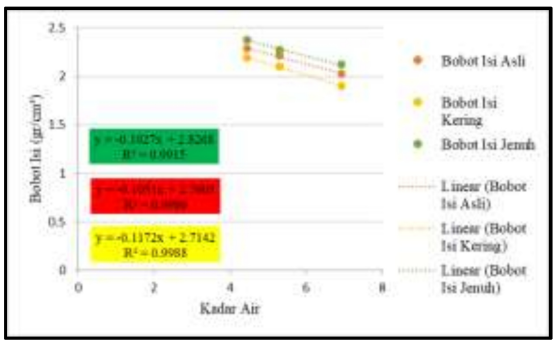
Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Batuan Andesit

Sampel	A	B	C	Rata-Rata
Bobot Isi Asli (gr/cm³)	2.03	2.21	2.29	2.18
Bobot Isi Kering (gr/cm³)	1.9	2.1	2.19	2.06
Bobot Isi Jenuh (gr/cm³)	2.12	2.27	2.38	2.26
Kadar Air Asli (%)	6.93	5.29	4.44	5.55
Derajat Kejenuhan (%)	60.34	62.26	53.31	58.64
Porositas (%)	21.8	17.82	18.27	19.30

Sumber: Hasil Pengolahan Laboratorium

Tabel 1 menunjukkan nilai rata-rata tiap pengujian sifat fisik, terdiri dari bobot isi asli 2,18 gr/cm^3, bobot isi kering 2,06 gr/cm^3, bobot isi jenuh 2,26 gr/cm^3, kadar air asli 5,55 %, derajat kejenuhan 58,64 %, dan porositas 19,30 %. Sehingga dapat dikatakan bahwa besarnya porositas atau komposisi rongga akan mempengaruhi bobot isi batuan. Nilai rata-rata antara bobot isi dengan porositas memiliki korelasi linear yang terbalik yang dapat dilihat berdasarkan persamaan (13), persamaan (14) dan persamaan (15).

Bobot isi asli = -0,0514(porositas) + 3,2487 .....(13)
Bobot isi kering = 0,0561(porositas) + 3,2586 .....(14)
Bobot isi jenuh = 0,0624(porositas) + 3,2678.....(15)

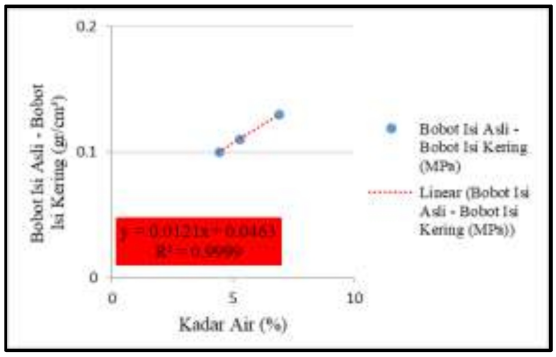


ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

Gambar 1: Korelasi porositas dengan bobot isi

Berdasarkan gambar 1, ditunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) dengan korelasi linear yang berbanding terbalik antara nilai bobot isi dengan nilai positas. Nilai koefisien determinasi menunjukkan pengaruh atau kaitan antara suatu parameter dengan parameter lainnya, yang didapati dari oerhitungan grafik regresi linear. Nilai R^2 pada kondisi asli adalah 0,7371, nilai R^2 pada kondisi kering adalah 0,8422, dan nilai R^2 pada kondisi basah adalah 0,840. Sehingga, semakin rendah densitas batuannya maka nilai persentase porinya akan semakin besar, terutama pada kondisi batuan yang kering.

Porositas trebentuk darigabungan antarbutir mineral dengan ukuran yang bervariatif. Mineral pada batuan andesit akan saling mengunci, sehingga nilaiporositasnya rendah. Dalam batuan terdapat pori-pori yang sebagiannya terisi oleh air dan sebagian lagi terisi oleh udara. Kadar air dari hasil pengujian akan menunjukkan persentase kandungan berat air yang terisi di dalam pori dari total berat batuan. Pada keadaan kering, seluruh pori-pori batuan hanya terisi oleh udara dan tersisa fase padatan yang akan ditimbang setelah sampel dikeringkan. Pengurangan kadar air dalam batuan akan menyebabkan perubahan dari bobot isi asli menjadi bobot isi kering. Rata-rata bobot isi kering adalah 2,06 gr/cm^3 yang didapati dari penurunan kadar air sebanyak 0,12 gr/cm^3 dari nilai rata-rata bobot isi asli 2,18 gr/cm^3.



Gambar 2: Korelasi persentase kadar air dengan perbedaan bobot isi asli dan bobot isi kering

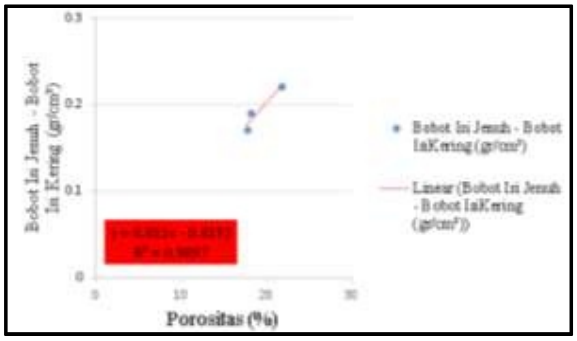
Berdasarkan gambar 2, ditemukan hubungan korelasi linear antara kadar air dengan perbandingan nilai bobot isi asli dengan bobot isi kering dengan nilai R^2 yaitu 0,9999 dan dapat dihitung menggunakan persamaan (16).

Bobot isi asli-kering = 0,0121(kadar air) + 0,0463..(16)

Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase kadar air batuan, maka akan semakin jauh bobot isi kering dari bobot isi asli. Sehingga bisa dikatakan besarnya penurunan nilai bobot isi asli dipengaruhi oleh persentase kandungan air yang ada dalam batuan.

Rata-rata nilai derajat kejenuhan pada hasil penelitian ini, menunjukkan hasil yang sangat jauh dari tiap parameter sifat fisik, yaitu 58,64 %, dengan rentang nilai dari 53,31% hingga 62,26%. Dengan artian, pada kondisi asli, sebanyak 53,31% pori batuan akan terisi oleh air. Pada kondisi jenuh, semua pori batuan, akan terisi air, sehingga bobt isi jenuh akan lebih tinggi dibandingkan bobot isi asli. Sehingga semakin besar pori-pori batuan yang belum terisi oleh air, maka penambahan bobot isi jenuh dari bobot isi asli akan semakin tinggi. Rata-raya bobot isi jenuh adalah 2,26 gr/cm^3 dengan kenaikan sebesar 0.08 gr/cm^3 dari rata-rata nilai bobot isi asli yaitu 2.18 gr/cm^3.

Daya penyerapan air, juga menjadi faktor yang perlu dipertimbangkan. Ketika bagian permukaan batuan andesit ditetesi air, akan terjadi penyerapaan. Penambahan bobot isi pada kondisi jenuh, dapat dipengaruhi oleh karakteristik penyerapan air. Sehingga banyak pori batuan yang terisi air saat kondisi batuan dijenuhkan, dapat memperbesar nilai porositas dan daya serap dari batuan.



Gambar 3: Korelasi persentase porositas dengan perbedaan bobot isi jenuh dan bobot isi kering

Berdasarkan gambar 3, ditemukan hubungan korelasi linear antara porositas dengan perbandingan nilai bobot isi jenuh dengan bobot isi kering dengan nilai R^2 yaitu 0,9097 dan dapat dihitung menggunakan persamaan (17).

Bobot isi jenuh-asli = 0,011(porositas) - 0,0192….(17)

Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase porositas, maka semakin banyak pori yang

ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

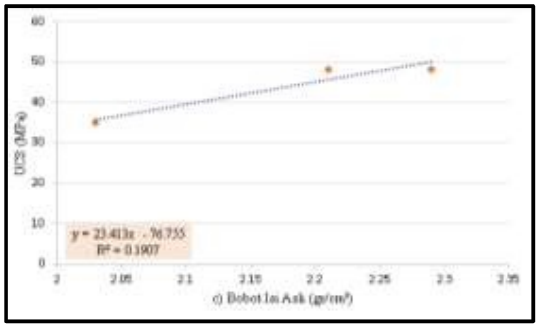
terisi oleh air dalam keadaan jenuh. Namun, ada faktor lain yang mempengaruhi nilainya yaitu, daya serap air. Pengaruh daya serap air dapat diketahui dengan meneteskan volume air yang sama ke permukaan conto batuan hingga air masuk ke pori-pori, maka dapat diketahui kecepatan batuan menyerap air, dengan catatan wakt, sehingga diperoleh nilai daya serap batuan dengan satuan cm^3 per satuan waktu yang dipakai (detik, menit atau jam).

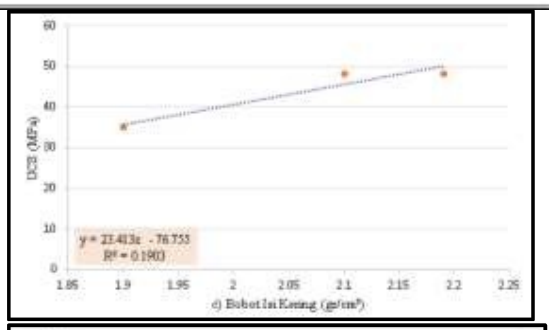
Tabel 2. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Batuan Andesit

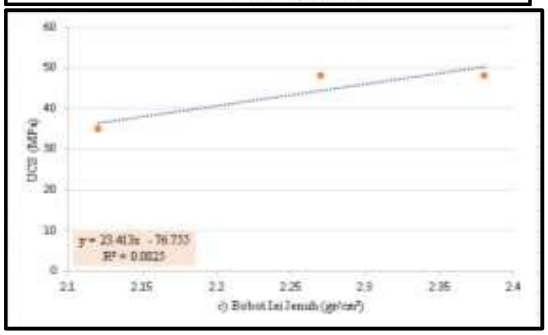
Sampel	*Uniaxial Compressive Strength* (MPa)
A	34,92
B	48,18
C	48,24
Rata-Rata	43,78

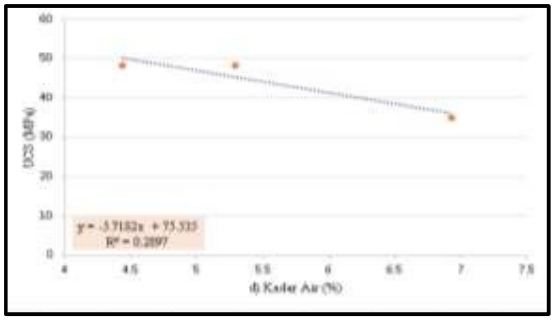
Sumber: Hasil Pengolahan Laboratorium

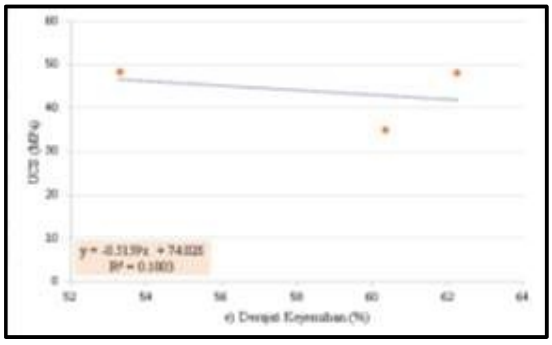
Tabel 2 menunjukkan nilai hasil pengujian kuat tekan uniaksial batuan andesit, yang diperoleh bahwa sampel A memiliki nilai 34,92 MPa, sampel B memiliki nilai 48,18 MPa, sampel C memiliki nilai 48,24 MPa dengan rata-rata 43,78 MPa. Hasil pengujian menunjukkan nilai UCS yang rendah dikarenakan, sampel yang diuji memiliki kandungan mineral yang bersifat ductile yang dilihat melalui hasil determinasi batuan yang dilakukan. Ada juga pengaruh pelapukan yang dapat mempengaruhi nilai kuat tekan batuan. Batuan akan terpengaruh dari kondisi pelapukan yang cukup tinggi, sehingga menyebabkan nilai kuat tekan batuannya kecil.

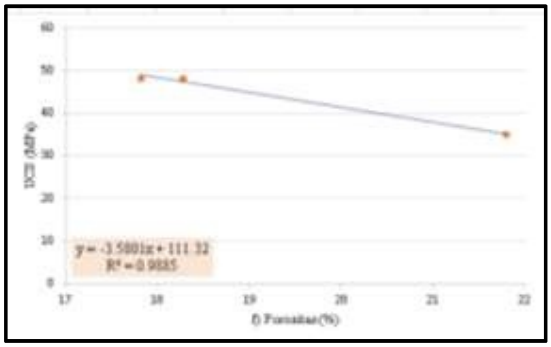












ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

Gambar 4. Hubungan parameter sifat fisik dengan kuat tekan uniaksial batu andesit

Berdasarkan gambar 4, ditemukan korelasi hubungan parameter sifat fisik dengan kuat tekan uniaksial batuan yang dihubungkan lewat grafik linear dari nilai koefisien determinasi (R^2) yang memiliki pengaruh berbeda dari tiap parameternya. Hasil perhitungan nilai koefisien determinasi dan pengaruh tiap parameter sifat fisik dapat dilihat pada tabel 3 yang menunjukkan hubungannya lewat regresi linear.

Tabel 3. Nilai Koefisien Determinasi (R^2) antara Parameter Sifat Fisik Batuan dengan Kuat Tekan Uniaksial

Parameter Sifat Fisik	Kuat Tekan Uniaksial
Bobot Isi Asli	0,1907
Bobot Isi Kering	0,1903
Bobot Isi Jenuh	0,0825
Kadar Air	0,2897
Derajat Kejenuhan	0.1003
Porositas	0,9885

Tabel 3 menunjukkan nilai R^2 dari tiap parameter sifat fisik terhadap nilai kuat tekan uniaksial yang diperoleh bahwa, nilai porositas memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai kuat tekan uniaksial batuan. Nilai porositas batuan berkaitan dengan dengan penguncian antarbutir mineral yang akan berpengaruh langsung dengan nilai kuat tekan uniaksial batuan. Apabila batuan memiliki daya ikat yang kuat, maka batuan akan memilki kekompakkan yang kuat sehingga menghasilkan batuan yang keras dengan nilai kuat tekan uniaksial yang semakin tinggi. Begitupula sebaliknya, apabila daya ikat antarbutirnya melemah, maka batuan memiliki sifat yang kurang kompak sehingga pada batuan terdapat banyak pori-pori yang terisi oleh air maupun udara, sehingga nilai kuat tekan uniaksialnya lebih rendah.

Hal ini dapat dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) dari porositas yang mendekati 1, yaitu 0,9885. Nilai R^2 yang mendekati 1 menandakan bahwa parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap parameter lainnya dengan memberikan informasi yang dibutuhkan secara detail. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, nilai porositas batuan akan mempengaruhi nilai kuat tekan uniaksialnya dan nilai kekuatan batuannya akan mengalami pengurangan apabila nilai porositasnya mengalami peningkatan.

SIMPULAN

Melalui pengujian yang dilakukan terhadap parameter uji fisikdan uji kuat tekan unuaksial pada batuan andesit, diperoleh bahwa:

1. Nilai bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh memiliki hubungan yang berbanding trebalik dengan nilai porositas. Semakin tinggi bobot isi batuan, maka nilai porositasnya akan semakin rendah.
2. Data hasil pengujian menunjukkan nilai rata-rata tiap parameter, diantanya rata-rata bobot isi asli 2,18 g/cm^3, rata-rata bobot isi kering 2,06 gr/cm^3, rata-rata bobot isi jenuh 2,26 gr/cm^3, rata-rata kadar air asli 5,55%, rata-rata derajat kejenuhan 58,64% dan rata-rata porositas 19,30%.
3. Dalam hubungannya didapati bahwa, nilai porositas akan mempengaruhi nilai kuat tekan uniaksial batuan dengan hasil koefisien determinasi (R^2) yaitu 0,9885.
4. Pada grafik korelasi maupun grafik hasil pengujian yang dilakukan ditunjukkan bahwa semakin berkurang nilai porisitas batuan akan mengakibatkan penurunan terhadap kekuatan batuannya Hal ini dapat dilihat dari penurunan garis pada grafik sehingga menandakan hubungan keduanya berbanding terbalik

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, terlebih khusus kepada Dosen Pembimbing Ibu Ratih Hardini Kusuma Putri, S.T., M.T. yang telah memberikan arahan dan dukungan dalam penelitian yang dilakukan dan kepada semua pihak yang tidak tersebutkan dalam membantu kelancaran penelitian dan penyusunan sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

Melati, S. (2019). Studi Karakteristik Relasi Parameter Sifat Fisik Dan Kuat Tekan Uniaksial Pada Contoh Batulempung, Andesit, Dan Beton. *Jurnal GEOSAPTA*, *5*(2), 133. https://doi.org/10.20527/jg.v5i2.6808

Pola, A., Crosta, G. B., Castellanza, R., Agliardi, F., Fusi, N., Barberini, V., Norini, G., & Villa, A. (2010). Relationships between porosity and physical mechanical properties in weathered volcanic rocks. In *ISRM International Workshop on Rock Mechanics and Geoengineering in Volcanic Environments 2010, IWVE 2010* (pp. 73–78). https://doi.org/10.1201/b10549-11

ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2014). *Mekanika Batuan* (p. 265). Bandung. https://labgeomekanik.files.wordpress.com/2020/02/buku-mekanika-batuan-made-astawa-dkk.pdf

Rosari, A. A., & Arsyad, M. (2017). Analisis Sifat Fisis Dan Sifat Mekanik Batuan Karst Maros. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, *13*(3), 276–281. https://ojs.unm.ac.id/JSdPF/article/view/6199