PROSIDING, Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan (SEMITAN II)
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS), Indonesia, 12 Juli 2020
ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

PENGARUH EFEK SKALA TERHADAP UJI TRIAKSIAL PADA BATU ANDESIT

Aprilia Dwi Astuti [1], Denis Rocky Pradana [1], Anggy Dessyana Doni [1],
Melly Shintia Dewi [1], Yudho Dwi Galih Cahyono [1]

[1] Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Alamat: Jl. Arief Rahman Hakim 100, Surabaya

e-mail: aprilia169c@gmail.com

ABSTRAK

Massa batuan merupakan volume batuan yang terdiri dari material batuan berupa mineral, tekstur, komposisi dan juga terdiri dari bidang-bidang diskontinu, membentuk suatu material dan saling berhubungan dengan semua elemen sebagai suatu kesatuan. Massa batuan itu sendiri tersusun dari beberapa batuan utuh yang pada dasarnya memiliki sifat isotrop, kontinu dan homogen. Namun, kondisi yang dijumpai dilapangan berbeda, yaitu anisotrop, diskontinu dan heterogen. Sifat tersebut tentunya akan mempengaruhi hasil pengujian pada uji teriaksial. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil uji triaksial batuan, salah satunya adalah efek skala atau volume contoh batuan. Tujuan dilakukan pengujian tersebut adalah untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh ukuran contoh batuan terhadap nilai kuat tekan triaksial pada batu andesit.

Pengujian batuan ini dilakukan di Laboraturium Geomekanika Batuan dan Desain Rekayasa Yogyakarta dan untuk lokasi pengambilan sampel batuannya berada di Desa Manduro, Kecamatan Ngoro, Kabupaten Mojokerto. Dalam uji triaksial ini akan menggunakan 3 sampel batuan yang berdiamter ± 4,6 cm, ± 5,1 cm, dan ± 6,1 cm dan dan setiap ukuran memerlukan minimal 3 spesimen. Setelah dilakukan uji kuat tekan pada batu andesit ini didapatkan hasil rata-rata nilai kohesi dan sudut gesek dalam untuk masing-masing contoh batuan yang berukuran ± 4,6 cm, ± 5,1 cm, ± 6,1 cm dan adalah 1,57 MPa dan 72,42°, 1,987 MPa dan 61,52°, serta 4,966 MPa dan 27,45°. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran contoh maka nilai kohesi juga semakin besar. Namun nilai sudut gesek dalam semakin kecil.

Kata kunci: efek skala, uji kuat tekan triaksial, batu andesit.

ABSTRACT

Rock Mass is a rock volume consisting of rock material in the form of minerals, textures, compositions and also consists of dissimilar areas, forming a material and interconnected with all elements as a whole. The mass of rocks is composed of a number of intact rocks that essentially possess isotrop, continuous and homogeneous. However, the conditions found in field different are anisotrop, discontinuous and heterogeneous. That trait will certainly affect the test results in the teriaxial test. There are several factors affecting the results of triaxial test rocks, one of which is the scale effect or the volume of example rocks. The purpose of testing is to know and analyze the effect from sample size of rock against the strong value of Triaxial compressive strength on Andesite stone.

This rock test was conducted at the laboratory and design of rock and Geomechanics, Yogyakarta and for the location of the block samples were located in Manduro Village, Ngoro Sub-district, Mojokerto. In this triaxial test is use 3 samples of stones that are diameter ± 4,6 cm, ± 5,1 cm, dan ± 6,1 cm and each size requires a minimum of 3 specimens. After a strong test press on this andesite stone obtained the average result of the value of cohesion and the inner swipe corners for each example of rock measuring ± 4,6 cm, ± 5,1 cm, dan ± 6,1 cm are 1,57 MPa, 1,987 MPa, 4,966 MPa and 72.42°, 61,52°, and 27,45°. Based on the results it can be concluded that the larger the size of the example, the value of cohesion is also greater. But the value of the inner friction angles is smaller.

***Keywords**: scale effect, Triaxial Compresive Strength, Andesite stone.*

PENDAHULUAN

Massa batuan merupakan volume batuan yang terdiri dari material batuan berupa mineral, tekstur dan komposisi dan juga terdiri dari bidang-bidang diskontinu, membentuk suatu material dan saling berhubungan dengan semua elemen sebagai suatu kesatuan. Massa batuan itu sendiri tersusun dari beberapa batuan utuh yang pada dasarnya memiliki sifat isotrop, kontinu dan homogen. Namun, kondisi yang dijumpai dilapangan berbeda, yaitu anisotrop, diskontinu dan heterogen. Sifat tersebut tentunya akan mempengaruhi hasil pengujian pada uji triaksial. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil uji triaksial

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

batuan, salah satunya adalah efek skala atau volume contoh batuan.

Pengertian dari efek skala itu sendiri adalah kondisi keheterogenan pada batuan. Secara teori dalam perhitungan mekanika batuan contoh batuan dianggap homogen, isotropi dan kontinu, pada kenyataannya di lapangan contoh batuan yang diambil dari formasi yang sama bisa memiliki kekuatan yang berbeda yang disebabkan oleh sifat heterogen dan jaringan kekar yang berbeda (Saptono,2009).

Dalam uji laboratorium diharapkan conto batuan yang digunakan didasarkan pada sifat dan perilakunya. Hal ini dapat mempengaruhi hasil pengujian laboratorium salah satunya yaitu semakin besar conto yang digunakan, maka semakin banyak pula menimbulkan bidang diskontinyu. Dari pengujian triaksial ini dengan menggunakan conto diameter sampel yang berbeda dapat diketahui apakah dipengaruhi oleh skala atau tidak.

Pada pengujian triaksial ini akan didapatkan data berupa kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) dari batuan andesit tersebut. Selain kohesi dan sudut geser dalam juga didapatkan nilai sigma 1 (σ_1) dan sigma 3 (σ_3) serta kekuatan geser batuan. Sehingga dapat dibuatkan kurva tegangan triaksial berdasarkan teori Hoek-Brown.

KAJIAN PUSTAKA

Pengaruh Skala Pada Batuan

Efek skala pada massa batuan sebagian besar dipengaruhi oleh kehadiran bidang lemah pada batuan yang mengurangi kekuatan batuan dan besaran modulus deformasi massa batuan. Dalam menyelesaikan masalah ini diperlukan pendekatan secara empiris yaitu memperkirakan efek skala pada contoh batuan pada berbagai ukuran.

Menurut Marachi et al. (1969), Nilai kekuatan yang lebih tinggi diamati dalam spesimen di mana rasio antara diameter spesimen dan ukuran nominal agregat kurang dari 7. Selain itu, Vallerga et al. (1975), mengemukakan bahwa diperlukan diameter spesimen 3-4 kali ukuran partikel maksimal. Dalam prosedur pengujian triaksial.

Thom (1988) meneliti dua aspek skala dalam pengujian triaksial, skala penilaian yang diberikan oleh ukuran partikel maksimum, dan skala spesimen yang diberikan oleh diameternya. Tes yang dilakukannya yaitu menggunakan empat skala yang berbeda dengan ukuran spesimen yang berbeda pula. Dari hasil pengujiannya, yaitu menurunnya kekakuan agregat tetapi tidak terpengaruh oleh ukuran spesimen. Menurut Thom, satu-satunya efek dari ukuran spesimen pada sifat resilien adalah hamburan yang cukup besar terlihat dalam hasil ketika rasio diameter spesimen dengan ukuran butir maksimum terlalu kecil.

Walaupun secara teori dalam perhitungan di mekanika batuan contoh batuan dianggap bersifat homogen, isotropi dan kontinyu, pada kenyataannya contoh batuan diambil dari formasi yang sama bisa memiliki kekuatan yang berbeda karena sifat heterogen dan jaringan bidang kekar yang berbeda. Hasil pengujian contoh batuan menunjukkan bahwa kekuatan batuan sangat bervariasi dan sangat acak sebanding dengan bertambahnya ukuran contoh.

Kondisi keheterogenan pada batuan disebut pengaruh skala. Adapun sifat keheterogenan batuan sangat dipengaruhi oleh:

1. Perbedaan kompisisi mineral.
2. Keberagaman komponen mineral.
3. Perbedaan ukuran butir komponen penyusun.
4. Persentase dari salah satu komponen meningkat melebihi 100% dari nilai rata-rata (Charussa-Graca, J., 1985).

Adanya konsentrasi komponen tertentu dalam titik yang berbeda.

Kriteria Hoek & Brown

Kriteria Hoek-Brown dikembangkan sebagai sarana untuk memperkirakan kekuatan massa batuan dengan meningkatkan hubungan yang diturunkan sesuai dengan kondisi geologis yang ada. Kriteria disusun berdasarkan pengalaman Hoek (1968). Mohr parabola yang berasal dari teori keruntuhan Griffith (Griffith 1920, 1924) untuk menentukan hubungan antara geser dan tegangan normal pada inisiasi fraktur. Dengan mengaitkan inisiasi fraktur dengan propagasi fraktur dan keruntuhan batuan, Hoek dan Brown (1980) melanjutkan melalui *trial and error* agar sesuai dengan berbagai kurva parabola untuk data uji triaksial untuk mendapatkan kriteria mereka. Dengan demikian, kriteria Hoek-Brown adalah empiris dengan tidak ada hubungan mendasar antara konstanta yang dimasukkan dalam kriteria dan karakteristik fisik batuan (Hoek 1983).

Kriteria keruntuhan Hoek-Brown non-linear asli untuk batuan utuh (Hoek dan Brown 1980) diperkenalkan sebagai:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s\right)^{\alpha}$$

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

Dimana, σ_1 dan σ_3 adalah tegangan efektif maksimum dan minimum pada saat runtuh, sedangkan m_b merupakan massa batuan, s dan a adalah konstanta yang tergantung kepada karakteristik massa batuan, dan σ_{ci} adalah nilai kuat tekan batuan utuh. Untuk batuan utuh, nilai s dan a ditetapkan 1 dan 0.5.

Uji Triaksial

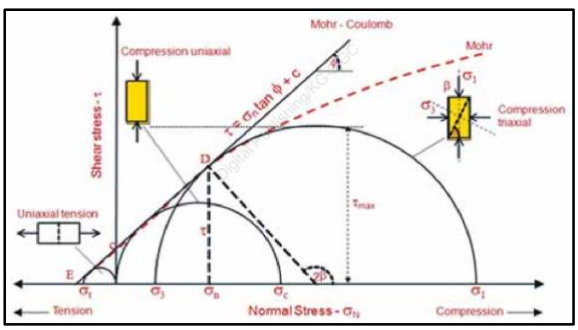
Pengujian ini merupakan salah satu pengujian yang sangat penting dalam mekanika batuan, karena percontoh batuan diberikan gaya secara tiga arah atau batuan mengalami tegangan tiga sumbu x, y dan z yang saling tegak lurus. Sehingga menunjukkan kondisi massa batuan yang terdapat di alam yang mengalami gaya dari berbagai arah.

Tegangan yang diberikan pada contoh batuan secara vertikal (sumbu y) dilakukan dengan alat penekan piston yang terdapat pada alat kuat tekan uniaksial. Dan tegangan horizontal (sumbu x dan z) diberikan tegangan melalui oli silinder yang dimasukkan kedalam *triaxial cell*. Tegangan vertikal ini dikonotasikan sebagai σ_1 dan tegangan horizontal dikonotasikan sebagai σ_2 dan σ_3 ($\sigma_2 = \sigma_3$).

Tegangan-tegangan yang bekerja pada *triaxial cell* dan tegangan yang diberikan secara vertikal dari alat kuat tekan uniaksial. Tegangan vertikal yang diberikan selalu lebih besar dari tegangan horizontal ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$). Semakin besar tegangan secara horizontal yang diberikan maka tegangan vertikal untuk membuat batuan failure akan semakin besar, karena meningkatnya tegangan horizontal akan menaikkan kekuatan batuan.

Tegangan-tegangan yang bekerja akan mengakibatkan terjadinya regangan-regangan. Regangan ini diukur dengan alat *dial gauge* dan *strain gauge*. Dimana *strain gauge* diletakkan secara vertikal dan horizontal.

Hasil pengujian triaksial akan memberikan kurva intrinsik dan lingkaran mohr



Gambar 1: Lingkaran Mohr dan kurva intrinsik dari hasil pengujian triaksial (Hoek and Brown, 1980)

Berdasarkan gambar diatas didapatkan rumus sebagai berikut:

1. $\sigma_c = \frac{2c\cos\theta}{1-\sin\theta}$
2. $\sigma_t = \frac{2c\cos\theta}{1+\sin\theta}$
3. $\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin 2\beta$
4. $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\cos 2\beta$

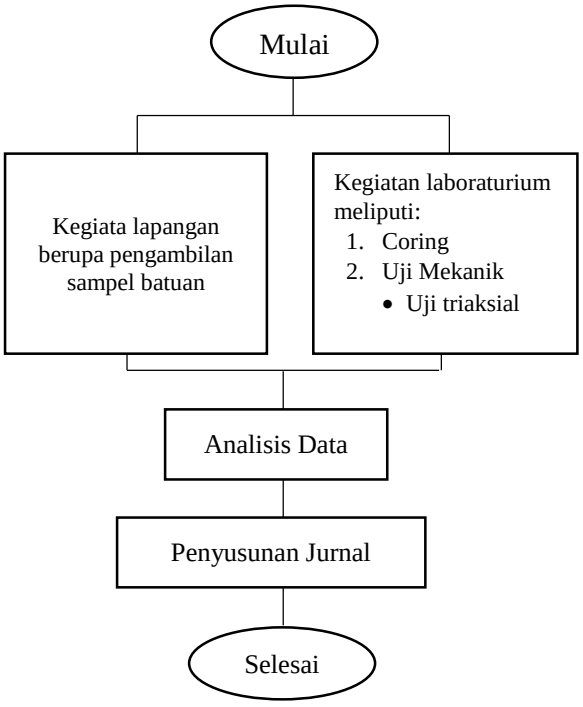
Sedangkan untuk rumus perhitungan kohesi dan sudut gesek dalam menggunakan kriteria Hoek and Brown, 1980:

$$\mathbf{C} = \frac{\sigma ci\,[(1+2a)s+(1-a)m_b\,\sigma_{3n}]\,(s+m_b\,\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1+6a\,m_b\,(s+m_b\,\sigma_{3n})^{a-1}}\,/\,((1+a)(2+a))}$$

$$\phi = \sin^{-1}\left[\frac{6a\,mb\,(s+m_b\,\sigma_{3n})^{a-1}}{2\,(1+a)\,(2+a)+6am_b(s+m_b\,\sigma_{3n})^{a-1}}\right]$$

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dimulai dari penelitian lapangan untuk pengambilan sampel dan dilanjutkan dengan uji laboraturium serta analisis data hasil uji berdasarkan teori Kriteria *Hoek and Brown, 1980*.



Gambar 2: Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi mengenai efek skala pada batuan berhubungan langsung dengan ukuran atau dimensi contoh batuan. Efek skala pada pengujian triaksial ini akan

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

menghasilkan nilai kohesi (c) dan nilai sudut gesek dalam (ϕ).

Berikut merupakan hasil yang didapatkan berdasarkan pengujian di laboraturium:

Tabel 1. Hasil Pengujian Triaksial pada sampel dengan ukuran diameter ± 4,6 cm

Specimen label	Initial size		Failure Stage			
	H_0	A_0	Δt	Sc	R_{max}	e_R
	mm	cm^2	min	Kg/cm2	Kg/cm2	%
A0001	92.00	16.62	0	2.00	276.79	3.64
A0002	97.00	15.21	0	4.00	394.60	3.63
A0003	91.00	15.90	0	6.00	440.13	2.60
Kohesi				1.57 MPa		
Sudut gesek dalam				72.42°		

Sumber: Data Penelitian, 2020

Berdasarkan tabel diatas didapatkan:

b1	207.17
m1	88.60
tan m1	40.84
ϕ (rad)	1.26

Dengan perhitungan kohesi adalah sebagai berikut:

$$c = \frac{b1\ (\ 1 - \sin \phi)}{2 \cos \phi}$$

$$c = \frac{207.17\ (\ 1 - \sin\ (1.26))}{(2 \cos\ (1.26))}$$

$$c = 1.57 \text{ MPa}$$

Tabel 2. Hasil Pengujian Triaksial pada sampel dengan ukuran diameter ± 5,1 cm

Specimen label	Initial size		Failure Stage			
	H_0	A_0	Δt	Sc	R_{max}	e_R
	mm	cm^2	min	Kg/cm2	Kg/cm2	%
A0001	101.00	20.43	0	2.00	205.60	3.64
A0002	103.00	21.73	0	4.00	184.08	3.63
A0003	106.00	21.24	0	6.00	263.69	2.60
Kohesi				1,987 MPa		
Sudut gesek dalam				61.52°		

Sumber: Data Penelitian, 2020

Berdasarkan tabel diatas didapatkan:

b1	159.70
m1	86.06
tan m1	14.52
ϕ (rad)	1.07

Dengan perhitungan kohesi adalah sebagai berikut:

$$c = \frac{b1\ (\ 1 - \sin \phi)}{2 \cos \phi}$$

$$c = \frac{159.70\ (\ 1 - \sin\ (1.07))}{(2 \cos\ (1.07))}$$

$$c = 1{,}987 \text{ MPa}$$

Tabel 3. Hasil Pengujian Triaksial pada sampel dengan ukuran diameter ± 6,1 cm

Specimen label	Initial size		Failure Stage			
	H_0	A_0	Δt	Sc	R_{max}	e_R
	mm	cm^2	min	Kg/cm2	Kg/cm2	%
A0001	121.00	29.22	0	2.00	164.24	3.64
A0002	124.00	30.19	0	4.00	185.49	3.63
A0003	119.00	29.22	0	6.00	171.07	2.60
Kohesi				4,966 MPa		
Sudut gesek dalam				27.45°		

Sumber: Data Penelitian, 2020

Berdasarkan tabel diatas didapatkan:

b1	166.76
m1	59.69
tan m1	1.71
ϕ (rad)	0.48

Dengan perhitungan kohesi adalah sebagai berikut:

$$c = \frac{b1\ (\ 1 - \sin \phi)}{2 \cos \phi}$$

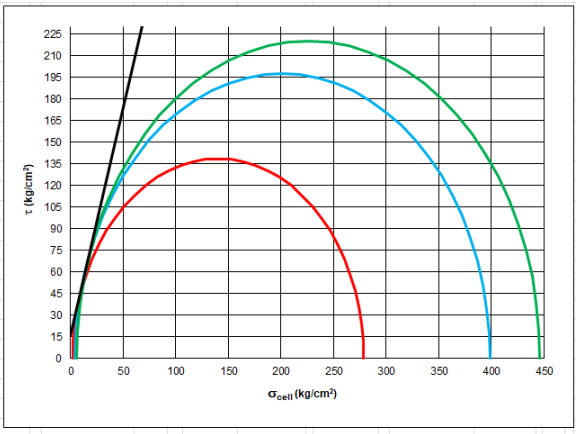
$$c = \frac{166.76\ (\ 1 - \sin\ (0.48))}{2 \cos(0.48)}$$

$$c = 4{,}966 \text{ MPa}$$

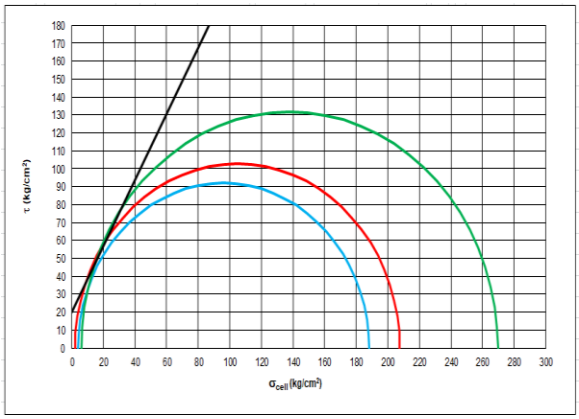
Berdasarkan pengujian triaksial yang telah dilakukan pada contoh batuan yang masing-masing berukuran diameter sebesar ±4.6 cm dengan tiga spesimen maka didapatkan nilai tegangan puncak berturut-turut sebesar 276,7912 kg/cm^2 atau 27,14 MPa, 394,5990 kg/cm^2 atau 38,69 MPa, dan 440, 1322 kg/cm^2 atau 43,16 MPa. Untuk contoh 2 dengan diameter sebesar ± 5.1 cm, dengan tiga spesimen maka didapatkan nilai tegangan puncak berturut-turut sebesar 205,5981 kg/cm^2 atau 20,16 MPa, 184,0766 kg/cm^2 atau 18,05 MPa, dan 263,6887 kg/cm^2 atau 25,85 MPa, dan untuk contoh 3 dengan diameter sebesar ±6.1 cm dengan tiga spesimen maka didapatkan nilai tegangan puncak berturut-turut sebesar 164,2448 kg/cm^2 atau 16,10 MPa, 185,4876 kg/cm^2 atau 18,19 MPa, dan 171,0084 kg/cm^2 atau 16,77 MPa.

Dari data uji laboratorium telah di ketahui masing-masing untuk tegangan maksimal berdasarkan masing-masing ukuran contoh diameter skala. Tegangan puncak atau tegangan maksimal ini dapat digambarkan kurva intrinsic sebagai berikut.

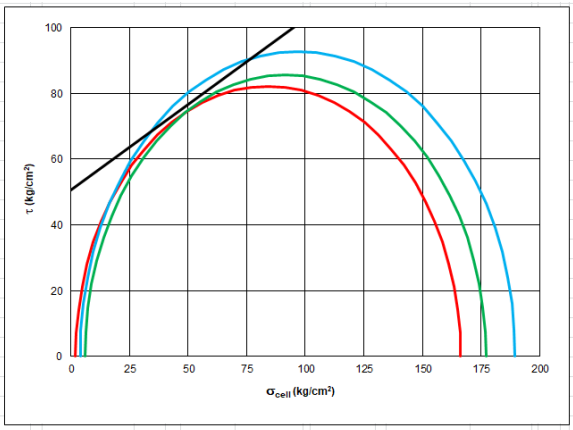
ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020



Gambar 3: Grafik hasil analisis data pada contoh batuan dengan diameter ± 4.6 cm.



Gambar 4: Grafik hasil analisis data pada contoh batuan dengan diameter ± 5.1 cm.



Gambar 5: Grafik hasil analisis data pada contoh batuan dengan diameter ± 6.1 cm.

Berdasarkan data uji laboratorium pada contoh batuan yang berukuran masing-masing ± 4.6 cm, ± 5.1 cm, ± dan 6.1 cm maka, didapatkan besar kohesi berturut-turut yaitu sebesar 1.57 MPa, 1,987 MPa, dan 4,966 MPa. Selain itu juga didapatkan besar sudut gesek dalam yaitu masing-masing sebesar 72.42°, 61.52°, dan 27.45°. Dengan nilai kuat tekan tersebut maka batuan Andesit ini termasuk kedalam klasifikasi batuan keras (Hard Rock). Hal ini sesuai dengan yang diungkapkan oleh Terzaghi (1946) yaitu menjelaskan tentang klasifikasi dan kelas batuan.

DISKUSI

Dari kajian pustaka dan juga hasil penelitian bahwa batuan yang diambil sebagai contoh dari formasi yang sama dapat memiliki kekuatan yang berbeda karena sifat heterogen yang berbeda. Hasil pengujian contoh batuan menunjukkan bahwa kekuatan batuan sangat bervariasi dan sebanding dengan bertambahnya ukuran contoh batuan. Pengujian yang dilakukan dapat diketahui semakin besar ukuran contoh diameter batuan maka semakin besar pula nilai kohesinya dan semakin besar diameter contoh batuan maka semakin kecil nilai sudut gesek dalamnya. Hal ini sesuai dengan teori perhitungan dalam mekanika batuan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh skala pada uji triaksial batu andesit terhadap besar nilai kohesi dan sudut gesek dalam. Dengan bertambahnya luas contoh maka besar kohesi akan mengalamai kenaikan. Sedangkan pengaruh skala pada besar sudut gesek dalam batuan andesit jika luasnya semakin besar maka besar sudut gesek dalamnya semakin menurun. Nilai kohesi dan sudut gesek dalam yang didapatkan dari pengujian triaksial pada batu andesit ini didapatkan hasil rata-rata nilai untuk masing-masing contoh batuan yang berukuran ± 4,6 cm, ± 5,1 cm, dan ± 6,1 cm adalah 1.57 MPa dan 72,42°, 1,987 MPa dan 61,52°, serta 4,966 MPa dan 27,45°.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah swt, dosen dan teman-teman kelompok yang telah berperan penting dalam penelitian ini sehingga kita dapat menyelesaikan jurnal ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Cahyono et al., 2018; Eberhardt, 2012; Lekarp & Isacsson, 2001; Rangga, n.d.; Simon & Deng, n.d.)Cahyono, Y. D. G., Utamakno, L., & Bahar, H. (2018). *PENGARUH EFEK SKALA PADA UJI UCS DALAM MENENTUKAN KESTABILAN PILAR*. 6.

Eberhardt, E. (2012). The Hoek–Brown Failure Criterion. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, *45*(6), 981–988. https://doi.org/10.1007/s00603-012-0276-4

Lekarp, F., & Isacsson, U. (2001). The Effects of Grading Scale on Repeated Load Triaxial Test Results. *International Journal of*

ISSN 2686-0651
Vol. 2, No. 1, Juli 2020

Pavement Engineering, *2*(2), 85–101. https://doi.org/10.1080/10298430108901719

Rangga, E. (n.d.). *Analisis Efek Skala Pada Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Terhadap Batu Dolomit Pada PT. Polowijo Gosari, Gresik Jawa Timur*. 4.

Simon, R., & Deng, D. (n.d.). *Estimation of Scale Effects of Intact Rock Using Dilatometer Tests Results*. 8.

Wiguna, N. K. *PENGARUH SKALA TERHADAP KUAT GESER PADA BATUAN TUFF*.

International Workshop on Scale Effects in Rock Masses, & Pinto, D. C. A. (1993). *Scale effects in rock masses: Proceedings of the first international workshop on scale effects in rock masses, Loen, Norway, 7-8 June 1990*. Rotterdam [etc: A.A. Balkema.

Bolton, T. E., & Council, C. G. (1988). *Current Research in the Geological Sciences in Canada, May 1987-April 1988*. Energy, Mines, and Resources Canada. https://books.google.co.id/books?id=mDJSAQAAMAAJ

Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.