

Studi Efek Skala Pada Uji Kuat Tekan Uniaksial Terhadap Batupasir Pada Formasi Balikpapan Daerah Samarinda Utara Provinsi Kalimantan Timur

(The Study of Scale Effects on Uniaxial Compressive Strength Test on Sandstone in the Balikpapan Formation, North Samarinda Region, East Kalimantan Province)

Milda^{1*}, Tommy Trides¹, Harjuni Hasan¹, Revia Oktaviani¹, Agus Winarno¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

*Korespondensi E-mail : mildanati00@gmail.com

Abstrak

Pengujian Efek Skala pada batuan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan dari suatu batuan berdasarkan dimensi yang berbeda. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji kuat tekan uniaksial dan juga pengujian sifat fisik batuan. Pada uji kuat tekan batuan digunakan 5 dimensi sampel batuan dengan rasio H/W diantaranya yaitu 4,5/3, 6/3, 7,5/3 untuk dimensi 3 cm, 5,25/3,5, 7/3, 8,75/3,5 untuk dimensi 3,5 cm, 6/4, 8/4, 10/4, untuk dimensi 4 cm, 6,75/4,5, 9/4,5, 11,25/4,5 cm untuk dimensi 4,5 cm dan untuk dimensi 5 cm yaitu 7,5/5, 10/5 dan 12,5/5. Pada pengujian sifat fisik dilakukan untuk mengetahui nilai porositas pada sampel batuan uji yang kemudian akan dilakukan perbandingan antara nilai porositas dengan hasil uji kuat tekan sampel batuan. Pengujian sifat fisik yang dilakukan didapatkan nilai rata-rata porositas batuan yaitu 22,562%, 22,122%, 20,454%, 21,227%, dan 22,413%. Pada pengujian efek skala yang dilakukan diketahui bahwa semakin tinggi suatu sampel batuan maka nilai dari kekuatan batuan tersebut akan semakin kecil dapat dilihat berdasarkan nilai R^2 yang didapatkan pada Formasi Balikpapan yaitu 0,0548.

Kata kunci : Batupasir, Kuat Tekan Uniaksial, Efek Skala, dan Sifat Fisik

Abstract

Scale effect testing on rocks is carried out with the aim of knowing the strength of a rock based on different dimensions. This test was carried out using a uniaxial compressive strength test and also testing the physical properties of rocks. In the rock compressive strength test used 5 dimensions of rock samples with a H/W ratio of which are 4.5/3, 6/3, 7.5/3 for dimensions of 3 cm, 5.25/3.5, 7 /3.5, 8.75/3.5 for dimensions 3.5 cm, 6/4, 8/4, 10/4, for dimensions 4 cm, 6.75/4.5, 9/4.5, 11.25/4,5 cm for the 4.5 cm dimension and for the 5 cm dimension, namely 7.5/5, 10/5 and 12.5/5. Physical properties testing is carried out to determine the porosity value in the test rock samples, which will then be compared between the porosity values and the results of the compressive strength test of rock samples. Physical properties testing carried out obtained the average value of rock porosity, namely 22.562%, 22.122%, 20.454%, 21.227%, and 22.413%. In the scale effect test, it is known that the higher the rock sample, the smaller the value of the rock strength can be seen based on the R^2 value obtained in the Balikpapan Formation, which is 0.0548.

Keywords: Sandstone, Uniaxial Compressive Strength, Scale Effect, and Physical Properties

1. Pendahuluan

Batuan yaitu semua bahan penyusun kerak bumi yang merupakan kumpulan dari mineral-mineral yang telah mengkristal. Terdapat tiga jenis batuan yang utama berdasarkan proses dan lingkungan pembentukannya yaitu batuan beku, batuan sedimen dan juga batuan metamorf. Batupasir merupakan jenis batuan sedimen yang terdiri dari mineral atau butiran batuan berukuran pasir, dimana sebagian besar batupasir terbentuk oleh kuarsa karena mineral tersebut paling banyak terdapat pada kulit bumi. Batupasir dapat dikelompokkan menjadi batupasir halus, sedang dan kasar (Balfas, 2015).

Pengujian sifat fisik batuan berguna sebagai data pendukung dari batuan yang akan di uji. Apabila hasil dari uji sifat fisik batuan yang diuji

menunjukkan ketidakseragaman, hal ini akan menjadi indikasi tidak meratanya kekuatan batuan (Arif, 2016). Batuan yang memiliki ruang atau rongga yang cukup banyak akan terisi oleh fluida, hal tersebut akan sangat berpengaruh pada kekuatan suatu batuan. Kuat tekan batuan sangat berkaitan dengan erat dengan porositas, dimana semakin besar nilai kuat tekan batuan maka nilai porositas batuan akan semakin kecil sebaliknya jika nilai dari porositas semakin besar maka kekuatan batuan tersebut semakin lemah (Pratiwi dkk, 2021). 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 (Irwan dkk, 2020).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah

dilakukan oleh (Guskarnali dkk, 2020) dikatakan bahwa nilai pada porositas lebih mempengaruhi nilai uji kuat tekan uniaxial dan kadar air lebih mempengaruhi nilai pada Modulus Young.

Dalam Rai (2013) menjelaskan bahwa penyebaran tegangan didalam contoh batuan secara teoritis adalah searah dengan gaya yang dikenakan pada contoh tersebut. Kuat tekan uniaxial atau *uniaxial compressive strength* (UCS) dan sifat fisik merupakan parameter penentu yang sangat penting dalam berbagai keperluan rekayasa mekanika batuan (Melati, 2019).

Pengujian efek skala telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, seperti penelitian yang dilakukan oleh (Li et al., 2021) dimana pada penelitian tersebut menyimpulkan bahwa nilai kuat tekan meningkat ketikan sampel memiliki diameter yang besar, berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh (Rangga dkk, 2019) dan (Maulana dkk, 2021) dimana penelitian tersebut menyimpulkan bahwa semakin tinggi suatu sampel maka kekuatan batuan akan semakin kecil.

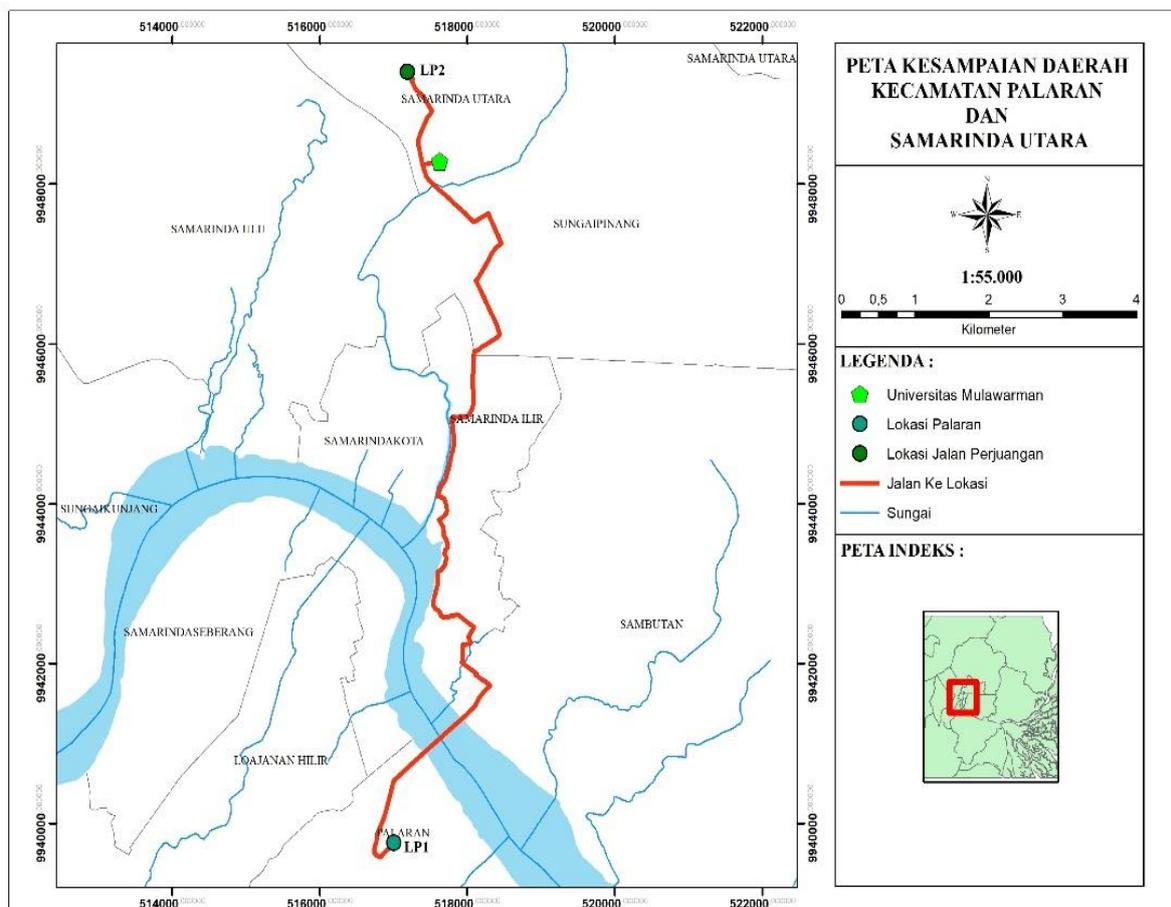
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan suatu batuan berdasarkan dimensi

sampel yang berbeda serta mengetahui perbandingan nilai UCS dan nilai sifat fisik batuan.

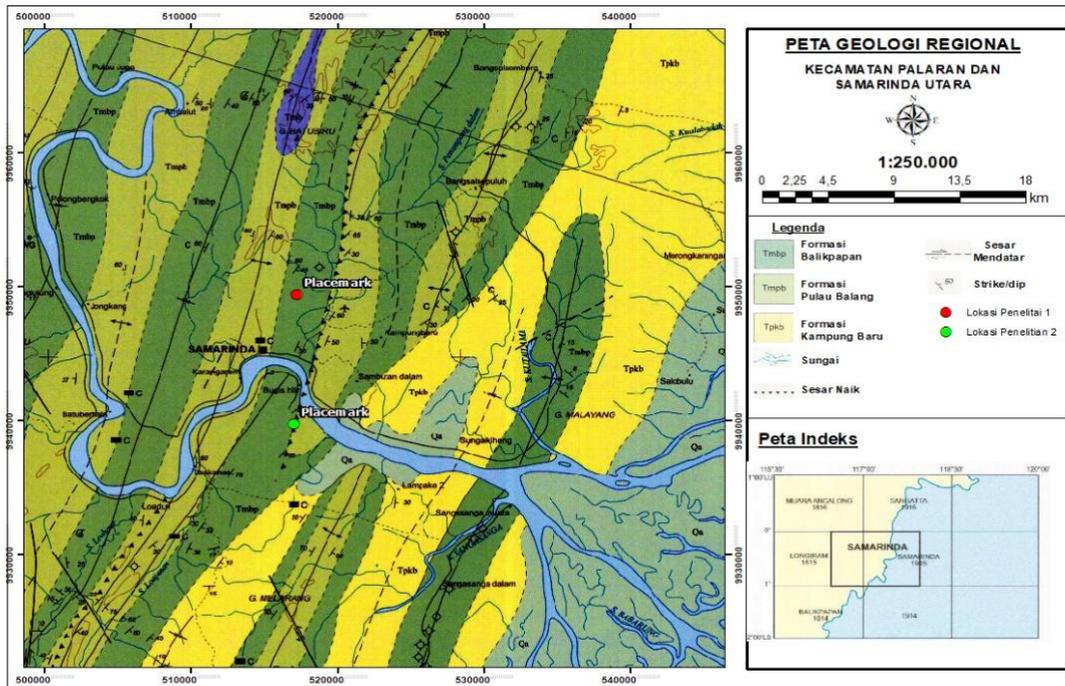
2. Metode

Penelitian ini dilakukan pada lokasi yang secara geografis terletak pada kordinat $0^{\circ} 27' 27.89''S$ dan $117^{\circ} 9' 16,02'' E$. Berikut di bawah ini Gambar 1 yang memperlihatkan lokasi penelitian. Secara administratif lokasi pengambilan sampel dilakukan pada daerah Jl. Perjuangan, Gunung Kelua, kota Samarinda Utara Provinsi Kalimantan Timur dimana lokasi dapat ditempuh selama ± 10 menit dari pusat kampus Universitas Mulawarman dengan kendaraan sepeda motor dan sekitar 15 menit dengan menggunakan kendaraan roda empat.

Pada lokasi penelitian yang dilakukan terdapat beberapa formasi batuan diantaranya yaitu Formasi Balikpapan dan juga Formasi Pulau Balang. Pada penelitian ini sampel batuan uji yang akan digunakan yaitu batuan yang berada pada Formasi Balikpapan. Pada Formasi Balikpapan, memiliki jenis batuan (litologi) berupa perselingan batupasir dan batulempung sisipan batulanau, serpih, batugamping dan batubara (Gambar 2).



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah Lokasi Penelitian



Gambar 2. Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian (Peta Geologi Lembar Samarinda, Sukardi & Rustandi, 1955)

Penelitian ini diawali dengan melakukan observasi lapangan yang dimana pada saat melakukan observasi, proses pengambilan data

koordinat dilakukan dengan menggunakan GPS. Berikut gambar yang menunjukkan pengambilan titik koordinat di lapangan (Gambar 3).



Gambar 3. Proses pengambilan data koordinat

Tahapan pengambilan sampel batuan sesuai dengan kebutuhan penelitian dilakukan setelah tahap observasi lapangan selesai. Kegiatan pengambilan sampel dilakukan dengan

menggunakan alat linggis dan juga palu geologi. penelitian ini berfokus untuk menguji kekuatan batupasir yang termasuk dalam jenis batuan sedimen (Gambar 4).



Gambar 4. Pengambilan sampel batuan di lapangan

Pengujian sifat fisik dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Bobot isi asli = $\frac{W_n}{W_w - W_s}$ (1)
- Bobot isi kering = $\frac{W_o}{W_w - W_s}$ (2)
- Bobot isi jenuh = $\frac{W_w}{W_w - W_s}$ (3)
- Berat jenis semu = $\frac{\frac{W_o}{W_w - W_s}}{\text{bobot isi air}}$ (4)
- Berat jenis sejati = $\frac{\frac{W_o}{W_w - W_s}}{\text{bobot isi air}}$ (5)
- Kadar air = $\frac{W_n - W_o}{W_o} \times 100\%$ (6)
- Kadar air jenuh = $\frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100\%$ (7)
- Derajat kejenuhan = $\frac{W_n - W_o}{W_w - W_o} \times 100\%$ (8)
- Porositas = $\frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100\%$ (9)
- Void Ratio = $\frac{\left(\frac{n}{100}\right)}{1 - \left(\frac{n}{100}\right)}$ (10)

Keterangan:

- W_n = Berat sampel batuan natural (gr)
- W_w = Berat sampel batuan jenuh (gr)
- W_s = Berat sampel jenuh tergantung dalam air (gr)
- W_o = Berat sampel batuan kering (gr)

Kekuatan suatu batuan sangat perlu untuk diketahui dikarenakan dalam pemanfaatannya, baik dalam segi kontruksi maupun dalam bidang aktivitas penambangan. Salah satu pengujian yang dapat dilakukan ialah kuat tekan uniaksial. Pengujian kuat tekan uniaksial merupakan pengujian yang dilakukan dengan memberikan tekanan pada suatu sampel untuk mengetahui seberapa kuat sampel batuan dalam menahan suatu beban hingga akhirnya mengalami keruntuhan. kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

..... $\sigma_c = \frac{F}{A}$ (11)

..... $A = \frac{1}{4} \pi D^2$ (12)

Keterangan:

- σ_c = Kuat tekan uniaksial (MPa)
- F = Tekanan yang diberikan pada batuan (Kn)
- A = Luas permukaan conto (mm²)
- D = Diameter conto
- π = Konstanta

Modulus Young (Modulus elastisitas) merupakan kemampuan batuan untuk mempertahankan kondisi elastiknya. Nilai Modulus Young diturunkan dari kemiringan kurva tegangan-regangan pada bagian yang linear karena pada saat inilah contoh batuan mengalami deformasi elastik (Arif, 2016).

Adapun persamaan dalam mencari nilai dari Modulus Young adalah sebagai berikut:

$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon a}$ (13)

Keterangan:

- E = Modulus Young (MPa)
- $\Delta\sigma$ = Beda Tegangan (MPa)
- $\Delta\epsilon a$ = Beda Regangan Aksial (%)

3.. Hasil dan Pembahasan

Sifat fisik batuan merupakan sifat batuan yang dapat dilihat secara langsung terhadap fisik batuan, hal- hal yang sangat spesifik utamanya berkaitan dengan jenis batuan, warna, tekstur, komposisi mineral, struktur batuan dan penamaan batuan berdasarkan klasifikasi tertentu. Berdasarkan pengujian sifat fisik yang telah dilakukan (Tabel 1), diketahui bahwa nilai bobot isi rata-rata pada sampel yaitu 1,609% dan nilai porositas yaitu 21,756%. Kedua nilai tersebut sangat berpengaruh pada kekuatan suatu batuan karena membahas mengenai kerapatan suatu sampel dan juga rongga pada sampel batuan tersebut. dibawah ini tabel hasil uji secara keseluruhan.

Tabel 1. Data analisis sifat fisik batuan

No	Sampel	unit	FBPP_A	FBPP_B	FBPP_C	FBPP_D	FBPP_E
1	Natural Density	gr/cm ³	1,82	1,59	1,57	1,45	1,60
2	Dry Density	gr/cm ³	1,78	1,56	1,52	1,41	1,56
3	Saturated Density	gr/cm ³	2,01	1,78	1,73	1,62	1,78
4	Apparent Specific Gravity	-	1,78	1,56	1,52	1,41	1,56
5	True Specific Gravity	-	2,32	2,01	1,92	1,79	2,01
6	Natural Water Content	%	2,34	2,28	2,88	2,48	2,79
7	Saturated Water Content	%	12,63	14,16	13,43	15,00	14,41
8	Degree Of Saturation	%	18,59	16,20	21,37	16,33	19,51
9	Porosity	%	22,56	22,12	20,45	21,22	22,41
10	Void Ratio	-	0,29	0,28	0,25	0,27	0,28

Keterangan: FBPP (Formasi Balikpapan)

Pada pengujian kuat tekan yang telah dilakukan pada beberapa sampel batuan dengan menggunakan lima dimensi berbeda, yaitu 3 cm, 3,5 cm, 4 cm, 4,5 cm, dan 5 cm, yang kemudian

dilakukan pengolahan data dengan menghitung nilai kuat tekan dari sampel batuan dan juga modulus young, hasil uji yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Data analisis sifat mekanik batuan

No	H Sampel (cm)	W Sampel (cm)	Failur (kN)	UCS (MPa)	Modulus Secant (MPa)	Modulus Tangen (MPa)	Modulus Average (MPa)
1	4,5	3	3,14	3,49	7,45	6,91	5,37
2	6	3	4,85	5,39	10,43	11,53	9,21
3	7,5	3	4,57	5,07	10,88	9,24	11,11
4	5,25	3,5	4	3,26	10,55	11,56	9,33
5	7	3,5	4,85	3,96	10,20	10,47	8,20
6	8,75	3,5	4,28	3,49	6,55	6,75	8,21
7	6	4	6,57	4,10	7,46	7,30	7,68
8	8	4	5,42	3,39	8,92	9,06	6,33
9	10	4	5,15	3,21	4,94	4,90	5,71
10	6,75	4,5	6,85	3,38	7,05	8,63	3,61
11	9	4,5	12,85	6,34	5,87	5,59	6,86
12	11,25	4,5	10	4,93	6,25	6,80	7,11
13	7,5	5	7,14	2,85	2,61	2,34	2,92
14	10	5	3,42	1,37	2,68	2,66	2,43
15	12,5	5	12,85	5,14	6,00	4,76	5,45

Keterangan: UCS (*Uniaxial Compressive Strength*), kN (kilo Newton), MPa (*Mega Pascal*)

Berdasarkan tipe pecah yang dikemukakan (Rai, 2013), terdapat beberapa jenis tipe pecah pada sampel batuan. Pada sampel batuan yang telah diuji (Tabel 3), dimana sampel uji berbentuk balok, diketahui tipe pecah sampel didominasi oleh tipe pecah *Axial Splitting* dan *Homogeneous Shear*. *Axial splitting* terbentuk jika rekahan yang terjadi searah atau paralel dengan arah tegangan

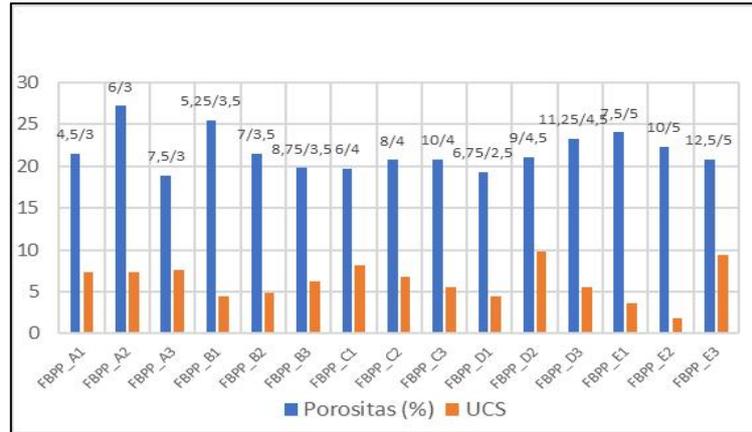
aksial. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan butiran pada contoh akan runtuh karena tarikan. Sedangkan *Homogeneous Shear* terjadi ketika rekahan tunggal atau beberapa rekahan mempropagasi keseluruhan contoh batuan, sehingga terjadi pergeseran sepanjang rekahan yang terbentuk. Berikut hasil pecah sampel batuan yang telah diuji.

Tabel 3. Data analisis sifat fisik batuan

No	H Sampel (cm)	W Sample (cm)	Rasio Sampel (cm)	Tipe Pecahan
1.	4,5	3	1,5	<i>Axial Splitting</i>
2.	6	3	2	<i>Homogeneous Shear</i>
3.	7,5	3	2,5	<i>Axial Splitting</i>
4.	5,25	3,5	1,5	<i>Axial Splitting</i>
5.	7	3,5	2	<i>Homogeneous Shear</i>
6.	8,75	3,5	2,5	<i>Homogeneous Shear</i>
7.	6	4	1,5	<i>Homogeneous Shear</i>
8.	8	4	2	<i>Homogeneous Shear</i>
9.	10	4	2,5	<i>Axial Splitting</i>
10.	6,75	4,5	1,5	<i>Combination axial & local shear</i>
11.	9	4,5	2	<i>Axial Splitting</i>
12.	11,25	4,5	2,5	<i>Combination axial & local shear</i>
13.	7,5	5	1,5	<i>Axial Splitting</i>
14.	10	5	2	<i>Homogeneous Shear</i>
15.	12,5	5	2,5	<i>Axial Splitting</i>

Dari pengujian sifat fisik batuan dan juga pengujian kuat tekan uniaksial yang telah dilakukan, dapat diketahui perbandingan sifat fisik batuan yaitu nilai porositas dan juga nilai kuat tekan pada sampel batuan memiliki pengaruh terhadap kekuatan suatu batuan. pada contoh batuan yang diuji diketahui bahwa nilai porositas yang didapatkan tidak seragam, hal ini

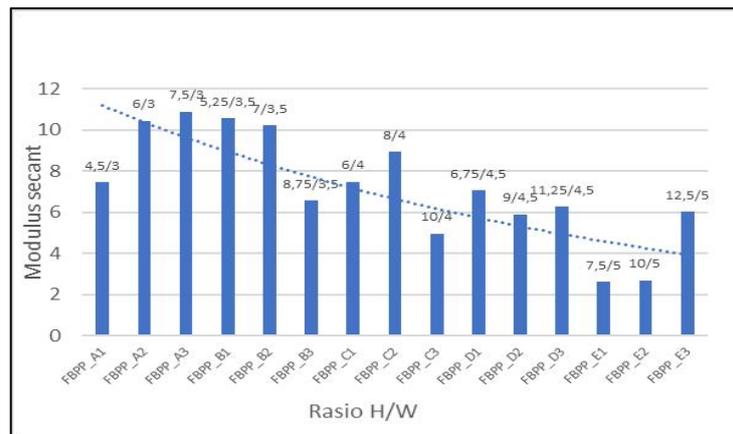
membuktikan bahwa kerapatan suatu contoh batuan tidak baik sehingga kuat tekan pada tiap contoh batuan juga memiliki nilai yang rendah. dapat dilihat pada gambar sebagai berikut yang memperlihatkan perbandingan antara nilai dari porositas dan juga nilai kuat tekan pada contoh batuan yang telah di uji (Gambar 5).



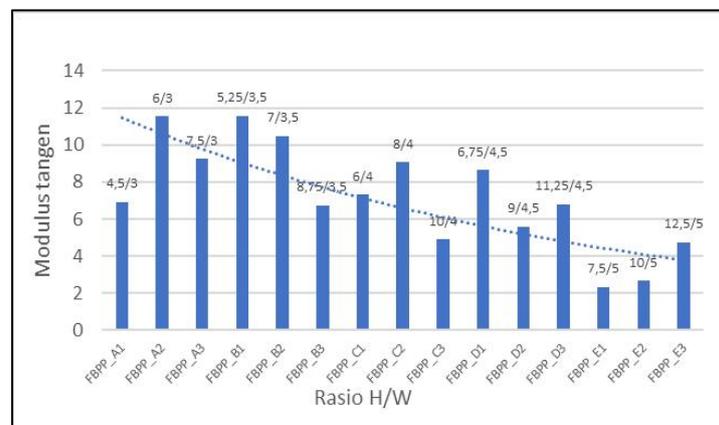
Gambar 5. Perbandingan Nilai Porositas dan Kuat Tekan Uniaksial

Pada hasil pengolahan data yang telah dilakukan, diketahui nilai modulus young secant, tangen, dan average bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan uniasial maka nilai modulus young juga akan semakin besar begitu juga sebaliknya jika nilai dari kuat tekan rendah maka nilai dari modulus young juga akan semakin kecil. Pada perhitungan modulus young, data yang perlu

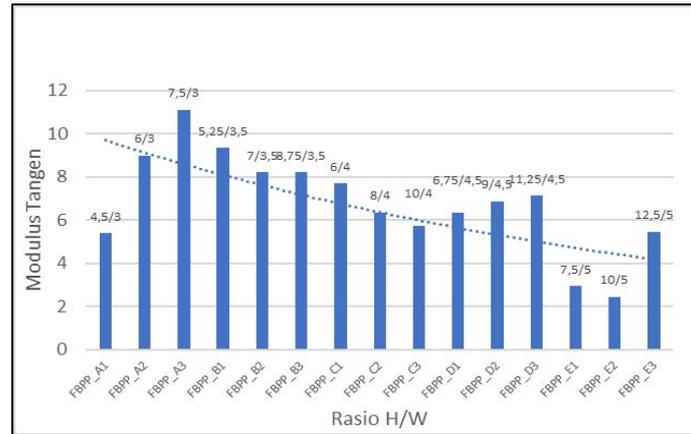
diketahui adalah nilai closing crack batuan, batas elastis, batas plastis, dan juga nilai dari puncak suatu batuan untuk mempermudah dalam perhitungan. Dari pengujian ini dapat diketahui juga hubungan rasio H/W dengan nilai modulus young, berikut di bawah ini pada Gambar 6, 7 dan 8 yang memperlihatkan hubungan rasio H/W dengan modulus young.



Gambar 6. Hubungan Rasio H/W dengan Modulus Young Secant



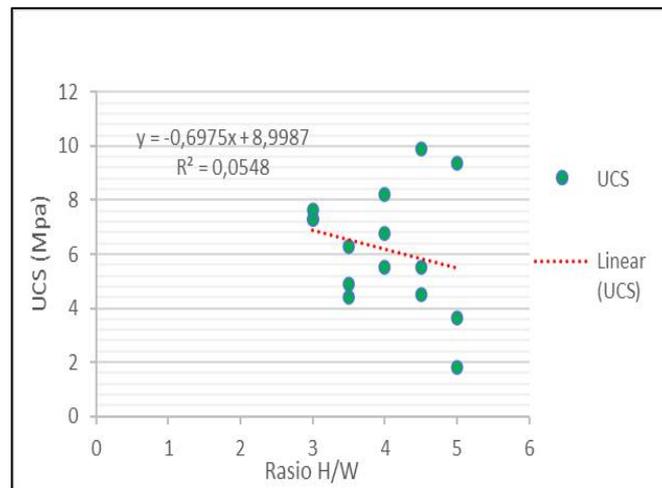
Gambar 7. Hubungan Rasio H/W dengan Modulus Young Tangen



Gambar 8. Hubungan Rasio H/W dengan Modulus Young Average

Dari Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suatu sampel batuan maka nilai dari modulus young cenderung akan semakin kecil. Seperti halnya dengan hubungan efek skala terhadap rasio H/W pada sampel batuan, diketahui bahwa semakin tinggi suatu sampel batuan maka nilai

dari kekuatan suatu batuan akan semakin rendah. Hal ini menegaskan bahwa kekuatan dari batuan selain dipengaruhi oleh porositas, juga dipengaruhi oleh rampingnya suatu sampel batuan. Berikut pada Gambar 9 yang menunjukkan pengaruh efek skala terhadap nilai kuat tekan suatu sampel batuan.



Gambar 9. Hubungan Efek Skala terhadap UCS

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rasio H/W sangat mempengaruhi nilai dari kekuatan batuan, selain itu, sifat fisik pada batuan juga mempengaruhi nilai dari kekuatan batuan. Pada pengujian ini diketahui bahwa semakin tinggi porositas suatu batuan maka nilai dari kekuatan batuan akan semakin kecil, dapat dilihat pada tabel 1 bahwa nilai porositas pada sampel rerata mencapai 22%. Sehubungan dengan hal tersebut, semakin tinggi suatu sampel batuan maka nilai dari kekuatan batuan tersebut akan semakin kecil dapat dilihat pada Gambar 9 dengan nilai $y = -0,6975x + 8,9987$ dan nilai R^2 yaitu 0,0548.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kepala dan staf Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara Fakultas Teknik Universitas Mulawarman.

Daftar Pustaka

- Andesta, G. I., Danu, M. R. dan Rety, W., 2020. Pengaruh Porositas Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batu Sedimen. Yogyakarta. Jurnal PROMINE, Desember 2020, Vol. 8 (2) Hal. 61-64.
- Guskarnali, G., Oktarianty, H. dan Armelia, D., 2021. Pengaruh Sifat Fisik Batuan Terhadap Kuat Tekan Uniaksial pada Batu Granit di Pulau Bangka. Jurnal Geomine, 8(3), 214. <https://doi.org/10.33536/jg.v8i3.712>

- Li, H., Song, K., Tang, M., Qin, M., Liu, Z., Qu, M., Li, B. and Li, Y., 2021. *Determination of Scale Effects on Mechanical Properties of Berea Sandstone*. *Geofluids*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6637371>
- Maulana, A., Sa'adah, Z., Syahputra, A. E., Saputri, M. A., Saputra, W. dan Cahyono, Y. D. G., 2021. *Analisis Efek Skala Pada Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Terhadap Batugamping Pada Desa Delegan, Kecamatan Panceng, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan IX, Sample C*, 147–152
- 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>
- Imelda, Y. P., Kurniawan, A., Firmansyah dan Yudho, D. G. C., 2021. *Analisis Korelasi Sifat Fisik Terhadap Nilai Uji Kuat Tekan (UCS) Batu Andesit*. *Jurnal ISSN 2686 – 0561* Vol. 3. No. 1. Juli 2021.
- Rangga, E. dan Kurnia, K., 2019. *Analisis Efek Skala Pada Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Terhadap Batu Dolomit Pada PT . Polowijo Gosari , Gresik Jawa Timur*. 2019(November), 130–133.
- Arif, I., 2016. *Geoteknik Tambang*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. ISBN 978-602-03-2735-8.
- Made, A. R., Suseno, K. dan Ridho, K. W., 2013. *Mekanika Batuan*. Bandung. Penerbit ITB. ISBN 978-602-9056-62-4.
- Muhammad, D. B., 2015. *Geologi Untuk Pertambangan Umum*. Yogyakarta. Graha Ilmu. ISBN: 978-602-262-395-3. Cetakan Pertama, tahun 2015.