

Studi Skala Efek Pada Uji Kuat Tekan Uniaksial Terhadap Batulempung Formasi Pulau Balang dan Formasi Balikpapan Di Samarinda

Eka Ely Febrianty¹, Tommy Trides², Shalaho Dina Devy³
^{1,2,3} Universitas Mulawarman

Abstract: Rock mass is a volume of rock consisting of rock material in the form of minerals, texture, composition and also consisting of discontinuous planes, forming a material and interconnected with all elements as a unit. The rock mass itself is composed of several intact rocks which basically have isotropic, continuous and homogeneous properties. However, the conditions found in the field are different, namely anisotropic, discontinuous and heterogeneous. These properties will certainly influence the test results in the uniaxial test. There are several factors that influence the results of uniaxial rock tests, one of which is the scale effect. The purpose of this test is to determine and analyze the effect of rock sample size on the uniaxial compressive strength value of claystone. This rock testing was carried out at the Mineral and Coal Technology Laboratory and the rock sampling locations were in Palaran District, Samarinda City and in North Samarinda District, Samarinda City. In this uniaxial compressive strength test, 3 side widths with different lengths will be used. After carrying out the uniaxial compressive strength test, the average uniaxial compressive strength test value was obtained in each formation, such as the Balang Island formation, the average rock compressive strength test value was 1.68 Mpa and the Balikpapan formation, the average rock compressive strength test value was 3.10 Mpa. Based on these results, it can be concluded that the larger the sample size, the smaller the rock compressive strength test value tends to be.

Keywords: Claystone, Balikpapan Formation, Balang Island Formation, Uniaxial Compressive Strength (UCS), Scale Effect.

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 di lapangan berbeda, yaitu anisotrop, diskontinu dan heterogen. Sifat tersebut tentunya akan mempengaruhi hasil pengujian pada uji uniaksial. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil uji uniaksial batuan, salah satunya adalah efek skala. Tujuan dilakukan pengujian tersebut adalah untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh ukuran contoh batuan terhadap nilai kuat tekan uniaksial pada batulempung. Pengujian batuan ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara dan untuk lokasi pengambilan sampel batumannya berada di Kecamatan Palaran, Kota Samarinda dan di Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda. Dalam uji kuat tekan uniaksial ini akan menggunakan 3 lebar sisi dengan panjang yang berbeda. Setelah dilakukan pengujian kuat tekan uniaksial didapatkan nilai uji kuat tekan uniaksial rata-rata di setiap formasi seperti formasi pulau balang nilai uji kuat tekan batuan rata-rata adalah 1,68 Mpa dan formasi Balikpapan nilai uji kuat tekan batuan rata-rata adalah 3,10 Mpa. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran sampel maka semakin cenderung kecil nilai uji kuat tekan batuan.

Kata Kunci : Batulempung, Formasi Balikpapan, Formasi Pulau Balang, Kuat Tekan Uniaksial (UCS), Efek Skala.

PENDAHULUAN

Batulempung merupakan jenis batuan dari batuan sedimen. Batulempung yaitu batuan yang memiliki struktur padat dengan susunan mineral yang lebih banyak dari batu lanau. Selain itu, batulempung juga dapat diartikan sebagai salah satu jenis batuan sedimen yang bersifat liat atau plastis, tersusun dari *hidrous aluminium silikat* (mineral lempung) yang ukuran butirannya halus. Formasi-formasi pembawa batulempung yang sering di temui di antaranya formasi Balikpapan dan formasi Pulaubalang. Formasi Balikpapan terdiri atas perselingan batupasir kuarsa, batulempung, lanau, batu gamping dan batubara. Formasi Pulaubalang diendapkan secara selaras diatas formasi bebuluh, sedangkan dibagian atasnya berhubungan menjemari

dengan formasi Balikpapan. Litologi formasi ini terdiri dari *greywacker*, batupasir kuarsa, batugamping, tufa pasir dan batubara. Formasi Pulaubalang berumur *Miosen Tengah*. Dari setiap formasi-formasi pembawa batulempung tersebut, kekuatan massa batuan disetiap formasi tentunya akan berbeda pula satu dengan yang lainnya. Massa batuan merupakan susunan dari batuan utuh, kekuatan dari massa batuan dapat diketahui dari pengujian terhadap batuan utuh. Pengujian ini biasanya dilakukan di laboratorium seperti uji triaksial, uji geser dan uji kuat tekan uniaksial.

Efek skala adalah kondisi keheterogenan pada batuan. Secara teori dalam perhitungan mekanika batuan contoh batuan dianggap homogen, isotrop, 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.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh efek skala pada pengujian kuat tekan pada batulempung formasi Pulaubalang dan formasi Balikpapan, yang dimana nantinya dapat diketahui besarnya kekuatan batuan terhadap ukuran skala batuan tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Batuan

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. (Supandi, 2022).

Sifat Batuan

Batuan pada dasarnya memiliki beberapa sifat yang harus diketahui, maka dari itu menurut Rai dkk (2013), ada beberapa sifat batuan diantaranya: Homogen dan Heterogen, Kontinu dan Diskontinyu, dan Isotropik dan Anisotropik.

Sifat Fisik Batuan

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). 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. Parameter sifat fisik diantaranya adalah bobot isi asli (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh

(*saturated density*), ketiganya dalam satuan gr/cm^3 , kadar air asli (*natural water content*), derajat kejenuhan (*degree of saturation*), dan porositas (*porosity*) dalam satuan %; serta angka pori (*void ratio*) tanpa satuan, (Melati,2019).

Batulempung

Lempung merupakan partikel tanah paling halus yang umumnya mengandung mineral lempung. Partikel tanah berukuran lempung dapat merupakan kendala atau sisi lemah dalam perencanaan sipil dan bangunan, tetapi juga dapat merupakan kekuatan bila mana dapat mengupayakan substitusi ion-ionnya melalui *soil improvement* secara kimiawi. Selain itu, mineral lempung mempunyai manfaat dalam dunia farmasi, perminyakan, mekanika tanah, geoteknik (bendungan) maupun metalurgi (ilmu logam) (Brotodiharjo, 1990).

Uji Kuat Tekan Uniaksial

Kekuatan batuan merupakan kriteria penting dalam klasifikasi batuan untuk mengoptimalkan penggunaan konstruksi dan desain stuktur permukaan. Secara umum baik kekuatan maupun deformabilitas batuan ini menunjukkan ketergantungan pada porositas. Porositas adalah kemampuan batuan dalam menyerap fluida. Batuan yang memiliki ruang atau rongga yang cukup banyak akan terisi oleh fluida, hal tersebut akan sangat berpengaruh pada kekuatan suatu batuan (Rai, 2013).

Modulus Young

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 (Rai,2013).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di daerah Palaran Kota Samarinda dan Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur.. Dalam kegiatan penelitian ini akan dibagi menjadi tiga tahapan yaitu pertama tahap pra lapangan berupa studi literatur, perumusan masalah serta metodologi penelitian. Tahap kedua adalah kegiatan tahap lapangan berupa pengambilan data, data-data diambil dari lapangan dan uji laboratorium, jumlah sampel dan standar pengujian dapat dilihat pada tabel 1. Tahap ketiga berupa pasca lapangan yaitu mengolah data yang diperoleh dari tahap kedua, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan pengaruh *scale effect* terhadap uji kuat tekan uniaksial.

Tabel 1 Pengujian Laboratorium

No	Jenis Uji	Standar Pengujian	Jumlah Sampel
1	Uji Sifat Fisik Batuan	ISRM (International Society Mechanics)	18
2	Uji Kuat Tekan Batuan	ISRM (International Society Mechanics)	18

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik dan Sifat Mekanik

Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik mengacu pada Standar *internasional society for rock mechanic and rock engineering* (ISRM) 1977 dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dari sampel batuan. Adapun sifat fisik yang dilakukan antara lain penimbangan berat contoh kondisi normal, berat contoh jenuh, berat contoh tergantung dan berat contoh setelah di oven/kering. Setelah didapatkan nilai tersebut dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai bobot isi asli (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), berat jenis sejati (*true specific gravity*), kadar air asli (*natural water content*), dan kadar air jenuh (*saturated water content*), porositas (*porosity*), derajat kejenuhan (*degree of saturation*), dan void ratio. Berdasarkan perhitungan sifat fisik dari sampel-sampel batuan tersebut hasil uji sifat fisik sampel batuan dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2 Hasil uji sifat fisik batulempung Formasi Pulau Balang

KONDISI SAMPEL	UNIT	SBL (BALIKPAPAN)									Rata-Rata	
		Nomor Cawan	SBL01	SBL02	SBL03	SBL04	SBL05	SBL06	SBL07	SBL08		SBL09
Natural Density	gr/cm ³		1.351	1.334	1.255	1.310	1.263	1.256	1.358	1.250	1.336	1.301
Dry Density	gr/cm ³		1.119	1.053	1.028	1.122	1.091	1.029	1.160	1.066	0.973	1.071
Saturated Density	gr/cm ³		1.623	1.602	1.553	1.618	1.550	1.519	1.621	1.537	1.625	1.583
Apparent specific gravity	-		1.119	1.053	1.028	1.122	1.091	1.029	1.160	1.066	0.973	1.071
True specific gravity	-		2.257	2.336	2.166	2.229	2.016	2.017	2.153	2.014	2.791	2.220
Water content	%		20.719	26.641	22.168	16.783	15.802	22.061	17.073	17.290	37.193	21.748
Saturated water content	%		45.030	52.146	51.157	44.289	42.099	47.636	39.721	44.159	66.894	48.126
Saturation	%		46.011	51.090	43.333	37.895	37.534	46.310	42.982	39.153	55.601	44.434
Porosity	%		50.402	54.920	52.566	49.673	45.912	49.002	46.092	47.073	65.119	51.196
Void Ratio	-		1.016	1.218	1.108	0.987	0.849	0.961	0.855	0.889	1.867	1.083
RATA-RATA			17.065	19.339	17.736	15.703	14.921	17.282	15.418	15.550	23.437	-

Tabel 3 Hasil uji sifat fisik batulempung Formasi Balikpapan

KONDISI SAMPEL	UNIT	SBL1 (PULAU BALANG)									Rata-Rata	
		Nomor Cawan	SBL1	SBL2	SBL3	SBL4	SBL5	SBL6	SBL7	SBL8		SBL9
Natural Density	gr/cm ³		1.621	1.636	1.618	1.698	1.664	1.698	1.762	1.631	1.783	1.679
Dry Density	gr/cm ³		1.355	1.317	1.369	1.345	1.345	1.320	1.401	1.422	1.508	1.376
Saturated Density	gr/cm ³		1.690	1.712	1.721	1.767	1.759	1.796	1.807	1.730	1.857	1.760
Apparent specific gravity	-		1.355	1.317	1.369	1.345	1.345	1.320	1.401	1.422	1.508	1.376
True specific gravity	-		2.039	2.177	2.112	2.329	2.293	2.518	2.360	2.054	2.318	2.244
Water content	%		19.617	24.198	18.139	26.263	23.710	28.608	25.750	14.676	18.203	22.129
Saturated water content	%		24.761	30.000	25.677	31.439	30.713	36.015	29.000	21.615	23.168	28.043
Saturation	%		79.227	80.658	70.642	83.534	77.200	79.433	88.793	67.895	78.571	78.439
Porosity	%		33.549	39.512	35.161	42.275	41.322	47.555	40.630	30.744	34.938	38.410
Void Ratio	-		0.505	0.653	0.542	0.732	0.704	0.907	0.684	0.444	0.537	0.634
RATA-RATA			16.572	18.318	15.835	19.273	18.206	20.117	19.359	14.363	16.439	-

Hasil dari uji sifat fisik batuan dari hasil *porositas* rata-rata sampel pada formasi pulau balang didapat nilai yaitu 51,196% sedangkan untuk sampel pada formasi Balikpapan didapat

nilai yaitu 38,410 %.

Sifat Mekanik

Pada penelitian ini dilakukan pengujian mekanik batuan berupa Uji Kuat Tekan Uniaksial untuk menentukan nilai kuat tekan batuan (UCS) dan nilai Modulus Young secant, tangen dan average yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan grafik perbandingan scale effect terhadap nilai kuat tekan uniaksial batuan.

Berdasarkan hasil kurva tegangan regangan aksial yang telah dibuat seperti pada lampiran B didapatkan hasil seperti pada tabel 4 dan 5

Tabel 4 Hasil uji kuat tekan uniaksial batulempung formasi pulau balang

Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial Batulempung Formasi Balikpapan								
No	H	W	H/W	Failure (Kn)	UCS (Mpa)	Modulus Secant (Mpa)	Modulus Tangent (Mpa)	Modulus Average (Mpa)
1	5	6.5	1.3	21	6.593	4.231	3.957	5
2	5	8	1.6	21	5.214	5.105	4.722	11.207
3	5	9.5	1.9	17	3.069	5.543	5.233	5.306
4	7	9	1.3	19	3.083	4.632	4.625	3.6
5	7	11	1.6	13	1.633	6.829	7.273	3.8
6	7	13	1.9	17	1.884	3.75	3.889	3.793
7	9	10.5	1.2	17	1.754	2.5	2.296	2.86
8	9	12	1.3	14	1.296	2.917	3.05	2.286
9	9	13.5	1.5	41	3.409	2.188	2.273	1.86

Tabel 4 Hasil uji kuat tekan uniaksial batulempung formasi balikpapan.

Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial Batulempung Formasi Pulau Balang								
No	H	W	H/W	Failure (Kn)	UCS (Mpa)	Modulus Secant (Mpa)	Modulus Tangent (Mpa)	Modulus Average (Mpa)
1	5	6.5	1.3	7	2.198	2.75	3.188	1.5
2	5	8	1.6	8	1.928	1.18	1.139	0.975
3	5	9.5	1.9	9	1.925	3.158	3.1	4.107
4	7	9	1.3	11	1.723	2.183	2.328	1.589
5	7	11	1.6	13	1.633	1.455	1.486	1.8
6	7	13	1.9	13	1.476	2.35	2.412	1.837
7	9	10.5	1.2	13	1.391	2.574	2.65	1.586
8	9	12	1.3	15	1.429	0.82	0.76	0.868
9	9	13.5	1.5	17	1.43	4.25	4.257	3.958

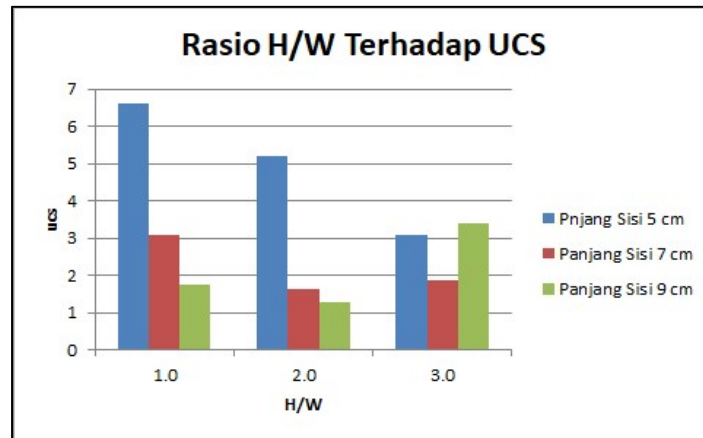
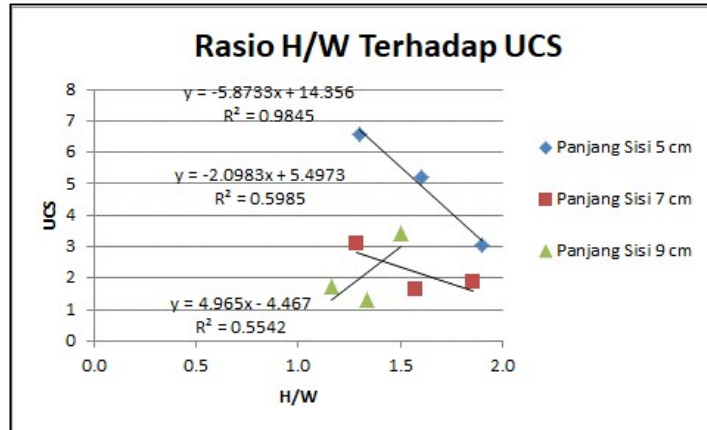
Berdasarkan hasil dari tabel 4 dan 5 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan uniaksial pada formasi balikpapan lebih besar dari nilai kuat tekan uniaksial pada formasi pulau balang. Dari bebrapa sampel yang dilakukan pengujian uji kuat tekan uniaksial rata-rata tipe rekahan yang dihasilkan adalah *Axial Splitting* dengan nilai failure yang bervariasi setiap sampelnya. Namun pada satupada formasi balikpapan didapat hasil tipe rekahan berbeda saat pengujian. Tipe rekahan yang dihasil satu sampel tersebut adalah *Combinatiol Avial & Local Shear* dengan nilai failure 41 kN.

Dari tabel 4 dan 5 dapat dilihat semakin tinggi nilai ucs yang dihasilkan maka akan semakin tinggi nilai modulus young yang akan didapatkan. Dapat dilihat pada lampiran B data hasil grafik modulus young yang telah di olah.

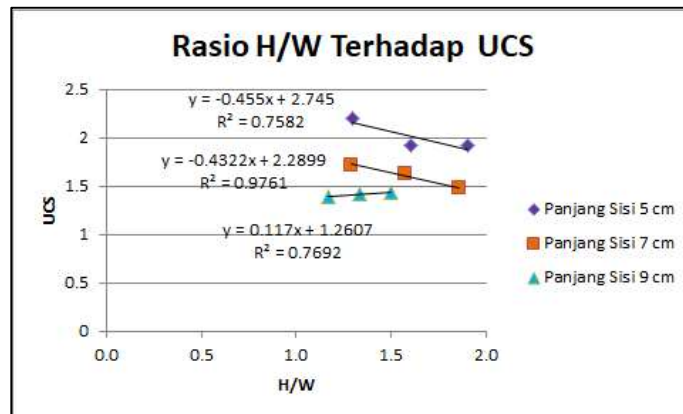
Hubungan efek skala dan uji kuat tekan uniaksial

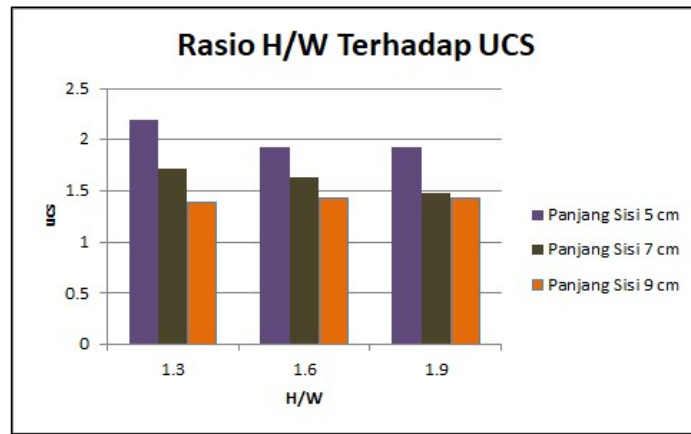
Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan uniaksial dengan rasio H/W : 6,5/5, 8/5, 9,5/5 untuk panjang sisi 5cm, 9/7, 11/7, 13/7 untuk panjang sisi 7cm dan 10,5/9, 12/9, 13,5/9 untuk

panjang sisi 9cm didapatkan hasil nilai kuat tekan untuk formasi balikpapan dan formasi pulau balang serta grafik hubungan nilai kuat tekan uniaksial dengan rasio H/W dapat dilihat pada tabel 6 gambar 1 dan 2



Gambar 1 Grafik hubungan efek skala dengan kuat tekan uniaksial batulempung ormasi balikpapan.



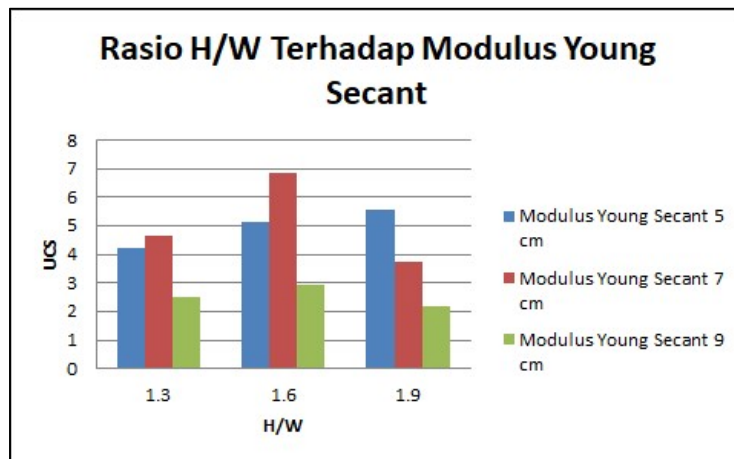


Gambar 2 Grafik hubungan efek skala dengan kuat tekan uniaksial batulempung formasi pulau balang.

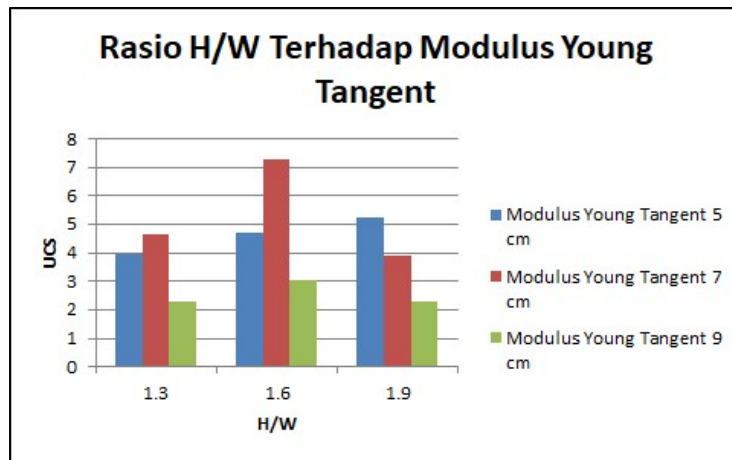
Dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 bahwa semakin besar rasio H/W, kuat tekan uniaksial (UCS) semakin kecil. Adapun satu sampel yang memiliki nilai hasil berbeda seperti pada gambar 2 yaitu semakin besar rasio H/W, kuat tekan uniaksial (UCS) yang di dapatkan semakin tinggi. Dari hasil kuat tekan yang di lakukan pada sampel batulempung di formasi balikpapan maupun pulau balang dapat diidentifikasi kedalam kategori batuan sangat lunak sesuai dengan tabel klasifikasi kuat tekan dan skala mohs menurut Bieniawski & Tamrock.

Hubungan Efek Skala Dengan modulus Young

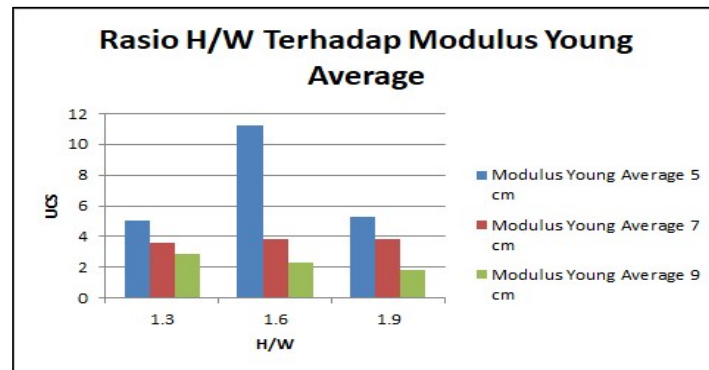
Modulus Young (atau Modulus Young) adalah sifat mekanik bahan padat yang mengukur kekakuan tarik atau tekan ketika gaya diterapkan secara memanjang. Ini adalah modulus elastisitas tegangan atau kompresi aksial



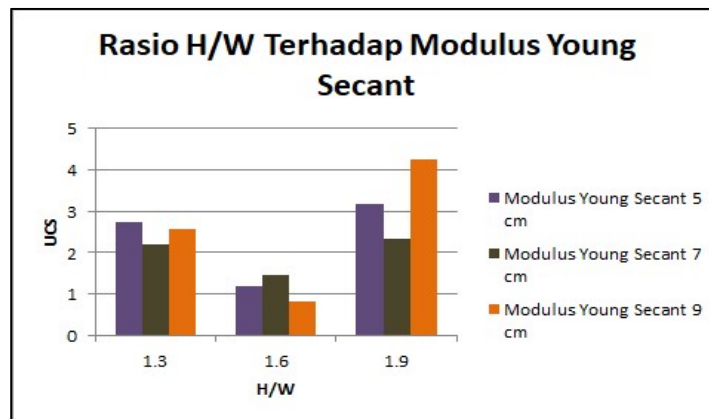
Gambar 3 Grafik Hubungan Efek Skala dengan Modulus Young Secant Formasi Balikpapan



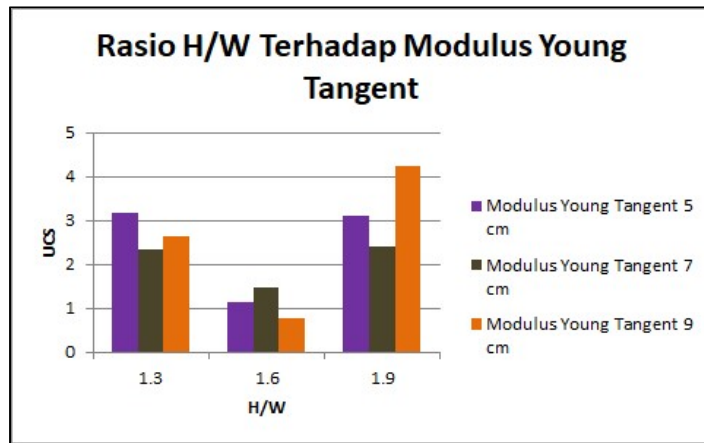
Gambar 4 Grafik Hubungan Efek Skala dengan Modulus Young Tangent Formasi Balikpapan



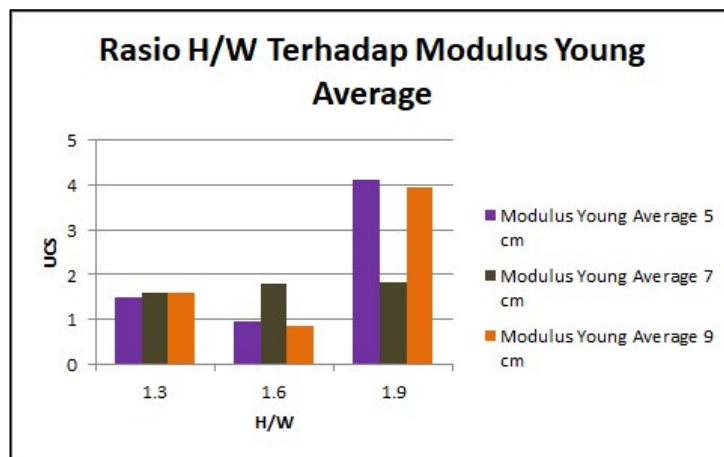
Gambar 5 Grafik Hubungan Efek Skala dengan Modulus Young Average Formasi Balikpapan



Gambar 6 Grafik Hubungan Efek Skala dengan Modulus Young Secant Formasi Pulau Balang



Gambar 7 Grafik Hubungan Efek Skala dengan Modulus Young Tangent Formasi Pulau Balang



Gambar 8 Grafik Hubungan Efek Skala dengan Modulus Young Average Formasi Balikpapan

Pada hasil pengolahan data yang telah dilakukan, diketahui nilai modulus young secant, tangent, dan average bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan uniaksial maka nilai modulus young juga semakin besar begitu pun 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 nilai puncak suatu batuan untuk mempermudah dalam perhitungan modulus young.

Dalam pengujian ini juga dapat mengetahui hubungan rasio H/W dengan nilai modulus young seperti pada gambar 3 sampai 8 Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi ukuran sampel maka cenderung semakin kecil nilai modulus young yang dihasilkan. Seperti halnya pada efek skala terhadap rasio H/W pada sampel batuan.

Hasil Pecah Contoh Batu Uji

Untuk hasil pecah contoh batu uji didapatkan dari pengujian uji kuat tekan uniaksial di Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara dan mendapatkan hasil rata-rata pecah contoh batu uji dengan model dan arah rekahan dengan tipe belahan arah (*Axial Splitting*). Tipe rekahan ini cenderung vertikal dan tidak bercabang. Yang diakibatkan oleh gaya tekan aksial yang menunjukkan lepasnya ikatan antar butir dalam contoh batuan karena tarikan. Untuk gambar contoh uji nya dapat dilihat pada lampiran C.

Namun pada salah satu sampel di formasi dan lokasi yang sama didapatkan tipe rekahan berbeda yaitu kombinasi belahan arah axial dan geser (*Combinatiol Avial & Local Shear*). Hal ini terjadi pada salah satu sampel di formasi balikpapan dengan rasio H/W = 13.5/9 seperti pada di gambar 9



Gambar 9 Hasil Pecah Contoh Batu Uji

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian berupa pengolahan data maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai kuat tekan pada formasi balikpapan dengan rata-rata 3,104 Mpa dan pada formasi pulau balang dengan rata-rata 1,681 Mpa sehingga disimpulkan formasi balikpapan cenderung lebih kuat dibandingkan formasi pulau balang.
2. Dari hasil yang telah didapatkan dari pengolahan data modulus young
3. Dari hasil yang telah didapatkan dari pengolahan data, untuk pengaruh nilai UCS terhadap rasio H/W adalah bahwa semakin besar rasio H/W, kuat tekan uniaksial (UCS) semakin tinggi.

Saran

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan dimensi sampel batuan yang lebih bervariasi lagi selain yang telah dilakukan oleh penulis.
2. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dapat mengambil sampel batuan pada formasi yang lain selain yang telah dilakukan oleh penulis.
3. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan sampel batuan selain balempung.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Brotodihardjo, A. P. P. (1990). Masalah geoteknik di sekitar rencana terowongan/saluran irigasi Karedok Kanan, DAS Cimanuk. In *Proceedings PIT-IAGI XIX*, 11-13 Desember 1990 (pp. 132-142).
- 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>
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2013). *Mekanika Batuan*. Bandung: Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang, Institut Teknologi Bandung.
- Supandi. (2022). *Mekanika Batuan*. Jawa Barat: Cv. Mega Press Nusantara.