



Studi Uji Kuat Tekan Uniaksial dan Uji Kuat Tarik Tidak Langsung Untuk Menentukan Brittleness Index (BI) Pada Batupasir di Formasi Pulau Balang dan Balikpapan

Musmulyanas Mus¹, Tommy Trides², Lucia Litha Respati³

^{1,2,3} Universitas Mulawarman

Abstract: Physical properties of rocks are properties of rocks that can be seen directly from the physical rock, or physical properties are properties of rocks in their original state. Physical property tests are useful as supporting data for the rock to be tested. The Uniaxial Compressive Strength (UCS) test is a comparison of the pressure exerted on a rock sample to the surface area of the rock sample that is exposed to pressure. This compressive strength is calculated when each rock sample experiences failure with the load (P) acting when the failure occurs. Brazilian Tensile Strength (BTS) or better known as the Brazilian Test, is an indirect tensile strength test method and this test is usually carried out using a hydraulic press machine. In the indirect tensile strength test, the sample will be subjected to pressure in the axial direction, while the strain that arises due to pressure will be calculated as the tensile strength, so that in this test, the tensile strength is the maximum stress before the sample cracks. Brittleness Index (Fragility Index) is a measure used to quantify the level of fragility of a material. Brittleness as one of the rock properties, it has a big impact on the collapse process. For example, one of the most dominant phenomena frequently observed in deep mining and tunneling projects is rockburst, a brittle collapse process that releases large amounts of energy. From the results of UCS testing of sandstone samples from the Pulaubalang formation, location one obtained an average value of 6.606 Mpa, location two 4.817 Mpa, while in the Balikpapan formation, location one obtained an average value of 4.404 Mpa, and location two 8.188 Mpa. And the BTS value in the Pulaubalang formation at location one obtained an average value of 1.563 Mpa and at location two 2.188 Mpa. Meanwhile, in the Balikpapan formation, location one obtained an average value of 2,344 Mpa and location two 3,906 Mpa. Based on the test results data, the R^2 coefficient of determination value was obtained. In the Pulaubalang formation, the R^2 value for porosity and UCS was 0.0575, density and UCS were 0.0009, water content and UCS were 0.0942. In the Balikpapan formation, the R^2 value for porosity and UCS was 0.8014, density and UCS were 0.3229, water content and UCS were 0.9382. And based on the calculation results, the Brittleness Index value for the Pulaubalang formation obtained a BI value of 3.323 to 8.002. And in the Balikpapan formation, BI values were obtained from 3.125 to 5.432. And based on the classification of rock fragility, the Brittleness Index value in this study is included in class V with a description of low brittleness (Low).

Keywords: Physical Properties, Compressive Strength, Indirect Tensile Strength, Brittleness Index (BI)

Abstrak: sifat fisik batuan merupakan sifat batuan yang dapat dilihat secara langsung terhadap fisik batuan, atau sifat fisik merupakan sifat batuan dalam keadaan asli. Uji sifat fisik berguna sebagai data pendukung dari batuan yang akan diuji. Uji kuat tekan uniaksial atau *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) merupakan perbandingan tekanan yang diberikan pada sampel batuan terhadap luas permukaan sampel batuan yang terkena tekanan. Kuat tekan ini dihitung pada saat tiap sampel batuan yang mengalami keruntuhan (*failure*) dengan beban (P) yang bekerja ketika terjadinya keruntuhan. *Brazilian Tensile Strength* (BTS) atau lebih dikenal dengan *Brazilian Test*, merupakan salah satu metode uji kuat tarik tidak langsung dan Pengujian ini biasanya dilakukan dengan menggunakan mesin tekan hidrolik. Pada pengujian kuat tarik tidak langsung, sampel akan diberikan tekanan searah axialnya, sementara regangan yang timbul akibat tekanan akan dikalkulasikan sebagai kuat tariknya, sehingga pada pengujian ini, kuat tarik merupakan tegangan maksimal sebelum sampel retak/patah. *Brittleness Index* (Indeks Kerapuhan) merupakan ukuran yang digunakan untuk mengkuantifikasi tingkat kerapuhan suatu material. *Brittleness* sebagai salah satu sifat batuan mempunyai dampak yang besar terhadap proses keruntuhan. Misalnya, salah satu fenomena paling dominan yang sering diamati dalam proyek penambangan dan pembuatan terowongan dalam adalah ledakan batuan, suatu proses keruntuhan rapuh yang melepaskan energi dalam jumlah besar. Dari hasil pengujian UCS sampel batupasir formasi pulaubalang lokasi satu diperoleh nilai rata-rata 6,606 Mpa, lokasi dua 4,817 Mpa, sedangkan pada formasi balikpapan lokasi 1 diperoleh nilai rata-rata 4,404 Mpa, dan lokasi dua 8,188 Mpa. Dan nilai BTS pada formasi pulaubalang lokasi satu diperoleh nilai rata-rata 1,563 Mpa dan lokasi dua 2,188 Mpa. Sedangkan pada formasi balikpapan lokasi satu diperoleh nilai rata-rata 2,344 Mpa dan lokasi dua 3,906 Mpa. Berdasarkan data hasil pengujian diperoleh nilai koefisien determinasi R^2 Pada formasi pulaubalang didapatkan nilai R^2 porositas dan UCS sebesar 0,0575, densitas dan UCS sebesar 0,0009, kadar air dan UCS sebesar 0,0942. Pada formasi balikpapan didapatkan nilai R^2 porositas dan UCS sebesar 0,8014, densitas dan UCS sebesar 0,3229, kadar air dan UCS sebesar 0,9382. Dan berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai *Brittleness Index* pada formasi pulaubalang didapatkan nilai BI 3,323 hingga 8,002. Dan pada formasi balikpapan didapatkan nilai BI 3,125 hingga 5,432. Dan berdasarkan klasifikasi kerapuhan batuan nilai *Brittleness Index* pada penelitian ini masuk dalam kelas V dengan deskripsi kerapuhan rendah (*Low*).

Kata Kunci: Sifat Fisik, Kuat Tekan, Kuat Tarik Tidak Langsung, Brittleness Index (BI)

PENDAHULUAN

Batuan adalah kumpulan atau agregasi ilmiah dari satu atau lebih mineral, fosil, atau material lainnya yang merupakan bagian dari kerak bumi. Terdapat tiga jenis batuan yang utama berdasarkan proses dan lingkungan pembentukannya, yaitu batuan beku (*igneous rock*), batuan sedimen (*sedimentary rock*), dan batuan metamorfik (*metamorphic rock*) (Balfas, 2015).

Batupasir (*sandstone*) adalah batuan endapan yang terutama terdiri dari mineral atau butiran batuan berukuran pasir (1/16 mm - 2 mm). Sebagian batupasir terbentuk oleh kuarsa atau feldspar karena mineral-mineral tersebut paling banyak terdapat di kulit bumi. Batupasir dapat di kelompokkan menjadi, batu pasir halus, sedang, dan kasar (Balfas, 2015).

Uji kuat tekan uniaksial atau *Uniaxial Compressive Strength (UCS)* merupakan perbandingan tekanan yang diberikan pada contoh batuan terhadap luas permukaan contoh batuan yang terkena tekanan. Tujuan uji kuat tekan UCS adalah untuk mengukur kuat tekan uniaksial dari sebuah contoh batuan dalam geometri yang beraturan, baik dalam bentuk silinder, balok maupun prisma dalam satu arah (uniaksial). Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk klasifikasi kekuatan dan karakteristik batuan utuh. Kuat tarik (*tensile strength, ultimate tensile strength*) merupakan kekuatan tertinggi yang tertahan oleh sebuah batuan apabila ditarik atau diregangkan sebelum contoh tersebut terbelah. *Brazilian Test* dikembangkan untuk mengukur kekuatan tarik bahan rapuh seperti batu dan beton. Pengujian kuat tarik ialah kebalikan dari pengujian kuat tekan, dan besarnya dapat berbeda. Pengujian kuat tarik seringkali digunakan untuk menentukan data kekuatan material. Pengujian kuat tarik dapat diukur ketahanannya dari suatu mineral dengan gaya statis secara perlahan Nilai *Uniaxial Tensile Strength (UTS)* dari suatu batuan hanya 10% dari nilai *Uniaxial Compressive Strength (UCS)*. Perbandingan antara *Uniaxial Tensile Strength (UTS)* terhadap *Uniaxial Compressive Strength (UCS)* umumnya disebut sebagai *Toughness Ratio* atau *Brittleness Index (BI)* (Jumikis, 1983 dalam Rai, 2013).

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Batuan

Menurut Balfas (2015), batuan adalah kumpulan atau agregasi ilmiah dari satu atau lebih mineral, fosil, atau material lainnya yang merupakan bagian dari kerak bumi. Terdapat tiga jenis batuan yang utama berdasarkan proses dan lingkungan pembentukannya, yaitu batuan beku (*igneous rock*), batuan sedimen (*sedimentary rock*), dan batuan metamorfik (*metamorphic rock*).

Geologi Regional

Sedimen Cekungan Kutai telah diendapkan sejak awal Tersier dan mengisi cekungan terus –menerus dari barat ke arah timur. Ketebalan sedimen paling maksimum (pusat pengendapan) mengalami perpindahan ke arah timur secara menerus menurut waktu dan ketebalan maksimum dari sedimen. Pada akhir Miosen hingga Resen terletak pada bagian lepas pantai dari cekungan. Paket sedimen terbentuk pada sebuah seri pengendapan. Pengendapan ini berkembang menjadi grup dari formasi pada regresi laut ke arah timur. Urutan regresif di Cekungan Kutai mengandung lapisan–lapisan klastik deltaik hingga paralik yang mengandung banyak lapisan–lapisan batubara dan lignit, sehingga merupakan kompleks delta yang terdiri dari siklus endapan delta. Tiap siklus dimulai dengan endapan paparan delta (delta plain) yang terdiri dari endapan rawa (marsh), endapan alur sungai (channel), point bar, tanggul–tanggul sungai (natural levees) dan crevasse splay. Di tempat yang lebih dalam diendapkan sedimen delta front dan prodelta. Kemudian terjadi transgresi dan diendapkan sedimen laut di atas endapan paparan delta. Disusul adanya regresi dan sedimen paparan delta diendapkan kembali di atas endapan delta front dan prodelta. Siklus – siklus endapan delta ini terlihat jelas di Cekungan Kutai dari Eosen hingga Tersier Muda prograding dari barat ke timur. Ditandai oleh pengendapan Formasi Pamaluan, Formasi Bebulu (Miosen Awal–Miosen Tengah), Formasi Balikpapan (Miosen Tengah), Formasi Kampung Baru (Miosen Akhir–Pliosen) dan endapan rawa yang merupakan endapan Kuarter.

Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Batuan

Menurut Rai dkk (2013), batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang perlu diketahui dalam mekanika batuan dan dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu sifat fisik dan sifat mekanik. Parameter umum pada sifat fisik adalah bobot isi, berat jenis, porositas, absorpsi, dan *void ratio*. Sedangkan untuk sifat mekanik standard dikenal sifat mekanik statik dan sifat mekanik dinamik. Selain sifat mekanik *standard* dikenal juga sifat mekanik dan *cuttability* yang diperoleh dari uji indeks. Parameter lainnya yang sering digunakan untuk memperkirakan sifat abrasivitas ditentukan melalui sifat kekerasan dan abrasivitas. ringkasan parameter mekanik dan nama ujinya. Semua sifat tersebut kecuali abrasivitas dapat ditentukan baik di laboratorium maupun di lapangan (in-situ). Penentuan di laboratorium pada umumnya dilakukan terhadap contoh yang diambil di lapangan. Satu contoh dapat digunakan untuk menentukan kedua sifat batuan. Pertama-tama adalah penentuan sifat fisik batuan yang merupakan uji tanpa merusak (*nondestructive test*), kemudian dilanjutkan dengan penentuan sifat mekanik batuan yang merupakan uji merusak (*destructive test*) sehingga contoh batu hancur.

Kuat Tekan Uniaksial

Menurut Rai dkk (2013), kuat tekan uniaksial adalah gambaran dari nilai tegangan maksimum yang dapat ditanggung sebuah contoh batuan sesaat sebelum contoh tersebut hancur (*failure*) tanpa adanya pengaruh dari tegangan pemampatan (tegangan pemampatan sama dengan nol).

Adapun rumus perhitungan kuat tekan batuan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

σ_c = Kuat tekan uniaksial batuan (MPa)

F = Gaya yang bekerja pada saat contoh batuan hancur (MN)

A = Luas penampang contoh batuan (m²)

Kuat Tarik Tidak Langsung

Brazilian Tensile Strength (BTS) atau lebih dikenal dengan *Brazilian Test*, merupakan salah satu metode uji kuat tarik tidak langsung yang diterapkan oleh ISRM (1978) dan ASTM (2008b). Pengujian ini biasanya dilakukan dengan menggunakan mesin tekan hidrolik. Pada pengujian kuat tarik tidak langsung, sampel akan diberikan tekanan searah axialnya, sementara regangan yang timbul akibat tekanan akan dikalkulasikan sebagai kuat tariknya, sehingga pada pengujian ini, kuat tarik merupakan tegangan maksimal sebelum sampel retak/patah.

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi Dt}$$

Keterangan:

σ_t = Kuat tarik (MPa)

F = Beban atau gaya tarik yang menyebabkan contoh batuan hancur (N)

D = Diameter contoh batuan (mm)

t = Ketebalan contoh batuan (mm)

Brittleness Index (BI)

Menurut Hajiabdolmajid & Kaiser (2003) dalam Ghadernejad dkk (2020), *Brittleness* sebagai salah satu sifat material geo, dimana terdapat heterogenitas antara sifat mekanik dan geometri dan kondisi pembebanan menyebabkan distribusi tegangan yang tidak homogen pada massa yang patah, yang pada akhirnya menghasilkan potensi patah sepanjang bidang. *Brittleness* sebagai salah satu sifat batuan mempunyai dampak yang besar terhadap proses keruntuhan. Misalnya, salah satu fenomena paling dominan yang sering diamati dalam proyek penambangan dan pembuatan terowongan dalam adalah ledakan batuan, suatu proses keruntuhan rapuh yang melepaskan energi dalam jumlah besar. Pada bidang teknik pertambangan dan geologi, kerapuhan dianggap sebagai salah satu sifat batuan yang paling penting, karena hal ini memainkan peran penting tidak hanya dalam proses kegagalan batuan utuh tetapi juga dalam respon massa batuan terhadap proyek terowongan dan penambangan. Kerapuhan batuan telah dimanfaatkan untuk penilaian ledakan batuan, stabilitas bawah tanah, dan kemampuan pengeboran.

Adapun persamaan untuk mendapatkan nilai *Brittleness Indeks (BI)* sebagai berikut:

$$B_1 = (\sigma_c / \sigma_t)$$

$$B_2 = (\sigma_c - \sigma_t) / (\sigma_c + \sigma_t)$$

$$B_3 = (\sigma_c \times \sigma_t) / 2$$

$$B_4 = (\sigma_c \times \sigma_t)^{0,72}$$

$$B_{new} = \sigma_c^{1,26} \times \sigma_t^{0,76}$$

Keterangan:

BI = Brittleness Indeks

σ_c = Kuat tekan uniaksial batuan (MPa)

σ_t = Kuat tarik batuan (*Braziliant Test*) (MPa)

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

Penelitian ini berlokasi di formasi pulaubalang dan balikpapan, 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 tahap ketiga berupa pasca lapangan yaitu mengolah data yang diperoleh dari tahap kedua, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan perbandingan nilai kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung untuk mendapatkan nilai *Brittleness Indeks (BI)*, yang kemudian dapat menentukan klasifikasi *Brittleness Indeks (BI)* pada batuan.

Tabel 1 Pengujian Laboratorium

No	Jenis Uji	Standar Pengujian	Jumlah Sampel
1.	Uji Sifat Fisik	ISRM (International Society for Rock Mechanics)	12
2.	Uji Kuat Tekan Uniaksial	ISRM, (1981)	12
3.	Uji Kuat Tarik Tidak Langsung	ASTM D 653-67	12

Tahap Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu, tahap pra lapangan, tahap lapangan dan tahap pasca lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik pada batupasir dari 4 titik lokasi pengambilan sampel di Formasi Pulau Balang dan Balikpapan, digunakan masing-masing 3 sampel untuk menentukan nilai sifat fisik batuan pada penelitian kali ini. dan didapatkan nilai porositas, densitas, dan kadar air pada tabel 2 dan 3 sebagai berikut.

Tabel 2 Hasil Uji Sifat Fisik Formasi Pulaubalang

Jenis Material	Formasi Pulaubalang				
	Lokasi	Kode Sampel	Porositas (%)	Densitas (gr/cm ³)	Kadar Air (%)
Batupasir	1	PBSS1A	17,444	2,047	8,262
		PBSS1B	19,270	2,037	9,012
		PBSS1C	19,067	2,043	9,101
Rata-rata			18,594	2,042	8,792
Batupasir	2	PBSS2A	19,221	2,063	7,553
		PBSS2B	18,980	2,055	8,983
		PBSS2C	17,304	2,024	8,992
Rata-rata			18,502	2,048	8,509

Tabel 3 Hasil Uji Sifat fisik Formasi Balikpapan

Jenis Material	Formasi Balikpapan				
	Lokasi	Kode Sampel	Porositas (%)	Densitas (gr/cm ³)	Kadar Air (%)
Batupasir	1	BPSS1A	21,042	2,012	10,088
		BPSS1B	20,161	2,024	9,727
		BPSS1C	23,166	1,931	11,982
Rata-rata			21,456	1,989	10,599
Batupasir	2	BPSS2A	19,612	1,965	6,977
		BPSS2B	19,763	2,018	6,911
		BPSS2C	16,255	2,086	4,214
Rata-rata			18,543	2,023	6,034

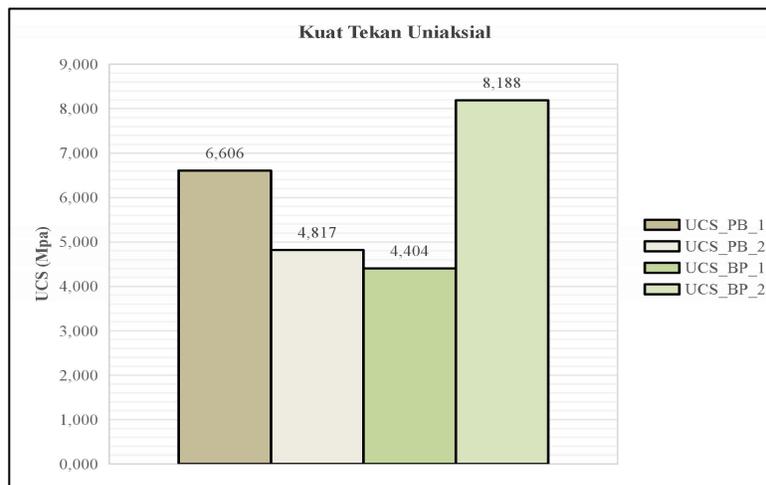
Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa batuan dengan nilai porositas lebih besar akan memiliki nilai kadar air yang lebih besar dan memiliki nilai bobot isi asli lebih kecil, hal ini terjadi disebabkan oleh lubang pori yang lebih besar sehingga cenderung menampung air lebih banyak dibandingkan dengan lubang pori yang lebih kecil, hal ini kemudian akan berbanding terbalik dengan nilai bobot isi asli dikarenakan ketika volume yang sama berat material pada batuan yang memiliki nilai porositas kecil akan lebih berat.

Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial

Pada pengujian kuat tekan uniaksial dilakukan dengan menggunakan masing-masing 3 sampel untuk tiap titik dari 2 titik lokasi pengambilan sampel di formasi pulau balang dan 2 titik di formasi balikpapan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada lampiran B, dan didapatkan nilai kuat tekan uniaksial pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4 Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial

Sampel	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Failure (KN)	UCS (Mpa)	Rata-Rata(Mpa)
PBSS1A	4,2	8,4	9	6,399	6,606
PBSS1B	4,2	8,4	8	5,986	
PBSS1C	4,2	8,4	10	7,432	
PBSS2A	4,2	8,4	7	4,748	4,817
PBSS2B	4,2	8,4	7	5,367	
PBSS2C	4,2	8,4	6	4,335	
BPSS1A	4,2	8,4	6	4,129	4,404
BPSS1B	4,2	8,4	7	4,954	
BPSS1C	4,2	8,4	6	4,129	
BPSS2A	4,2	8,4	11	7,844	8,188
BPSS2B	4,2	8,4	10	7,019	
BPSS2C	4,2	8,4	13	9,702	



Gambar 1 Grafik Nilai UCS Formasi Pulaubalang dan Balikpapan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium, didapatkan nilai kuat tekan uniaksial yang bervariasi, nilai failure atau besarnya gaya untuk menekan batuan hingga mengalami retakan, kuat tekan dapat dilihat pada lampiran B dan hasil UCS dapat diterangkan bahwa nilai kuat tekan uniaksial pada batupasir di Formasi Pulaubalang lokasi 1

memiliki nilai kuat tekan dengan rata-rata 6,606 Mpa dan lokasi 2 memiliki nilai rata-rata sebesar 4,817 Mpa. Dan pada Formasi Balikpapan pada lokasi 1 memiliki nilai kuat tekan dengan rata-rata 4,404 Mpa dan pada lokasi 2 memiliki nilai rata-rata sebesar 8,188 Mpa. Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan bahwa kekuatan batuan pada formasi Balikpapan lebih besar daripada kekuatan batuan formasi Pulaubalang.

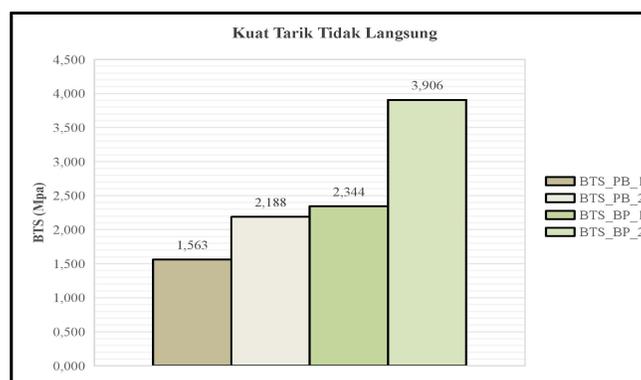
Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat bahwa batuan pada formasi Pulaubalang lebih kecil dari batuan formasi Balikpapan yang disebabkan karena beberapa aspek geologi yaitu, kondisi batuan formasi Balikpapan lebih kuat dikarenakan dipengaruhi oleh kedalaman yang sedimentasinya lebih sempurna akibat tekanan dan temperaturnya semakin tinggi sedangkan Pulaubalang berada pada permukaan sehingga terjadi proses pelapukan pada batuan akibat terpapar unsur air, udara, dan Panas membuat batuan semakin lemah.

Hasil Uji Kuat Tarik Tidak Langsung

Pada pengujian *Brazilian Test* yang dilakukan dengan menggunakan masing-masing 3 sampel untuk tiap titik dari 2 titik lokasi pengambilan sampel di formasi Pulau Balang dan 2 titik di formasi Balikpapan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dan didapatkan nilai kuat tarik tidak langsung pada tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5 Hasil Uji Kuat Tarik Tidak langsung

Sampel	F	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	BTS (Mpa)	rata-rata (Mpa)
PBSS1A	3	42	32	1,406	1,563
PBSS1B	3	42	32	1,406	
PBSS1C	4	42	32	1,875	
PBSS2A	5	42	32	2,344	2,188
PBSS2B	4	42	32	1,875	
PBSS2C	5	42	32	2,344	
BPSS1A	4	42	32	1,875	2,344
BPSS1B	6	42	32	2,813	
BPSS1C	5	42	32	2,344	
BPSS2A	7	42	32	3,281	3,906
BPSS2B	8	42	32	3,750	
BPSS2C	10	42	32	4,688	



Gambar 2 Grafik Nilai BTS Formasi Pulaubalang dan Balikpapan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium, didapatkan nilai kuat tarik tidak langsung yang bervariasi, kuat tarik tidak langsung dapat dilihat pada lampiran C dan hasil BTS pada tabel dapat diterangkan bahwa nilai kuat tarik tidak langsung pada batupasir di Formasi Pulaubalang lokasi 1 memiliki nilai dengan rata-rata 1,563 Mpa dan lokasi 2 memiliki nilai rata-rata sebesar 2,188 Mpa. Dan pada Formasi Balikpapan pada lokasi 1 memiliki nilai dengan rata-rata 2,344 Mpa dan pada lokasi 2 memiliki nilai rata-rata sebesar 3,906 Mpa. Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik batuan pada formasi Balikpapan lebih besar daripada kekuatan tarik batuan formasi pulau balang.

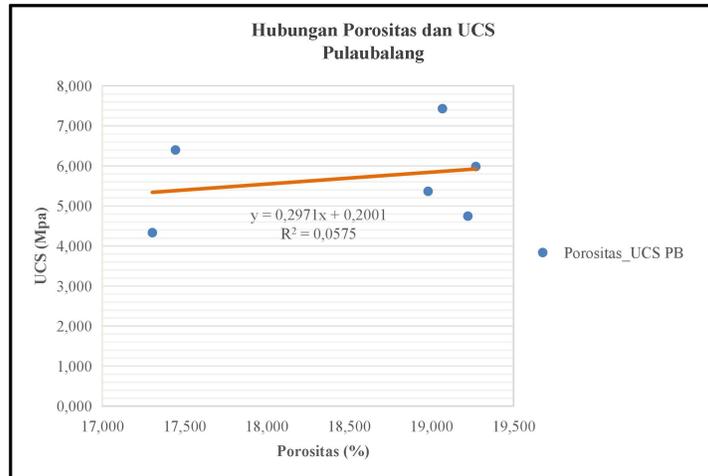
Berdasarkan tabel 5 dapat dilihat bahwa batuan pada formasi pulaubalang lebih kecil dari batuan formasi Balikpapan yang disebabkan karena beberapa aspek geologi yaitu, kondisi batuan formasi Balikpapan lebih kuat dikarenakan dipengaruhi oleh kedalaman yang sedimentasinya lebih sempurna akibat tekanan dan temperaturnya semakin tinggi sedangkan pulaubalang berada pada permukaan sehingga terjadi proses pelapukan pada batuan akibat terpapar unsur air, udara, dan Panas membuat batuan semakin lemah.

Hubungan Porositas, Densitas , Kadar Air terhadap UCS

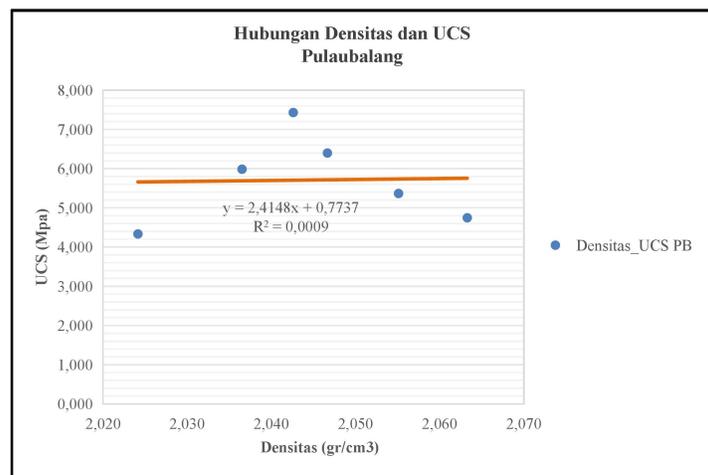
Berdasarkan hasil uji sifat fisik dan hasil uji mekanik pada formasi pulau balang dan Balikpapan didapatkan hasil dari porositas , densitas dan kadar air yang dilakukan korelasi terhadap nilai UCS.

Hubungan Porositas, densitas, dan kadar air pada UCS Formasi Pulaubalang

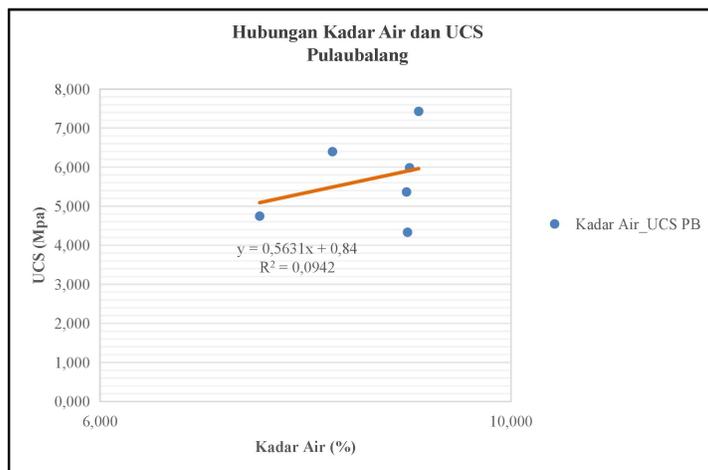
Dari hasil uji sifat fisik yang dilakukan pada sampel formasi pulaubalang didapatkan nilai porositas, densitas, dan kadar air dapat dilihat pada sifat fisik dan sifat mekanik pada suatu batuan memiliki keterkaitan yang saling mempengaruhi. Untuk memperlihatkan keterkaitan tersebut, berikut ini dilihat dalam beberapa grafik perbandingan dari sampel dua batuan yang berbeda yaitu batulempung dan batupasir pada dua formasi batuan, Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang. Pengujian sifat fisik yang dilakukan untuk mendapatkan nilai porositas dan densitas batuan pada batupasir, dengan menggunakan nilai porositas densitas, dan kadar air batuan natural dan sifat mekanik untuk nilai kuat tekan uniaksial.



Gambar 3 Hubungan Porositas Pada UCS batupasir Formasi Pulaubalang



Gambar 4 Hubungan Densitas Pada UCS batupasir Formasi Pulaubalang

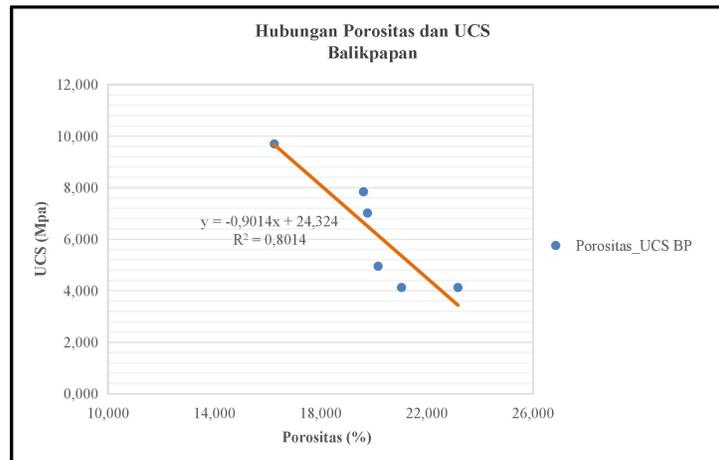


Gambar 5 Hubungan Kadar Air Pada UCS batupasir Formasi Pulaubalang

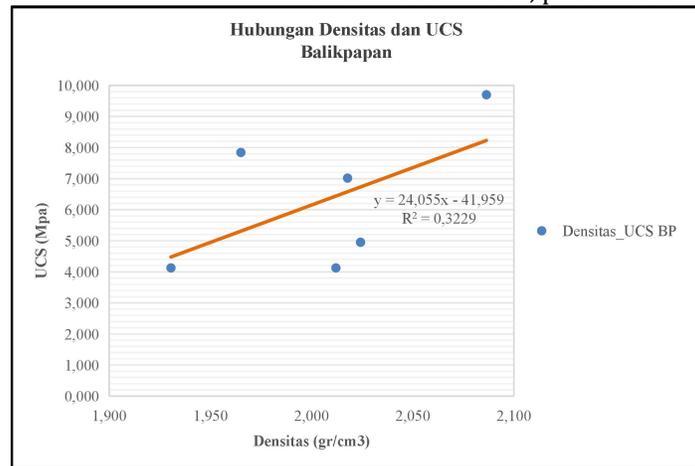
Dapat dilihat pada Grafik 3, 4 dan Grafik 5 melalui uji sifat fisik dan kuat tekan uniaksial hubungan porositas, kadar air dan densitas dengan kuat tekan, didapatkan hasil bahwa semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan maka porositas akan semakin menurun, kadar air akan semakin menurun dan densitas semakin meningkat. Berdasarkan gambar 3 pada formasi Pulaubalang didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,0575$ yang artinya tidak ada hubungan atau memiliki hubungan yang lemah antara nilai UCS terhadap porositas batuan tersebut. Pada gambar 4 didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,0009$ yang artinya tidak ada hubungan atau memiliki hubungan yang lemah antara nilai UCS terhadap densitas batuan tersebut. Dan pada gambar 5 didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,0942$ yang artinya tidak ada hubungan atau memiliki hubungan yang lemah antara nilai UCS terhadap kadar air batuan tersebut. Berdasarkan gambar 3, 4 dan 5 dapat disimpulkan bahwa nilai UCS tidak mempengaruhi nilai porositas, densitas dan kadar air batuan tersebut.

Hubungan Porositas, Densitas, Kadar air dan UCS Formasi Balikpapan

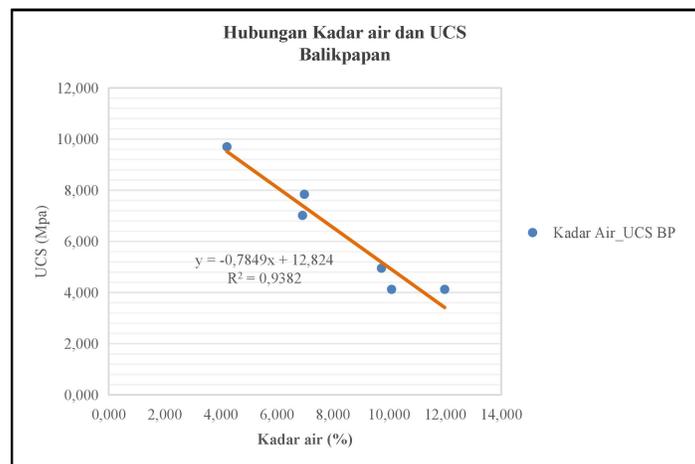
Dari hasil uji sifat fisik yang dilakukan pada sampel formasi balikpapan didapatkan nilai porositas, densitas, dan kadar air dapat dilihat pada sifat fisik dan sifat mekanik pada suatu batuan memiliki keterkaitan yang saling mempengaruhi. Untuk memperlihatkan keterkaitan tersebut, berikut ini dilihat dalam beberapa grafik. Pengujian sifat fisik yang dilakukan untuk mendapatkan nilai porositas dan densitas batuan pada batupasir, dengan menggunakan nilai porositas densitas, dan kadar air batuan natural dan sifat mekanik untuk nilai kuat tekan uniaksial.



Gambar 6 Hubungan Porositas Pada UCS batupasir Formasi Balikpapan



Gambar 7 Hubungan Densitas Pada UCS batupasir Formasi Balikpapan



Gambar 8 Hubungan Kadar Air Pada UCS batupasir Formasi Balikpapan

Dapat dilihat pada Grafik 6, 7 dan Grafik 8 melalui uji sifat fisik dan kuat tekan uniaksial hubungan porositas, kadar air dan densitas dengan kuat tekan, didapatkan hasil bahwa semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan maka porositas akan semakin menurun, kadar air akan semakin menurun dan densitas semakin meningkat. Berdasarkan gambar 6 pada formasi Balikpapan didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,8014$ yang artinya memiliki hubungan yang sangat kuat antara nilai UCS terhadap porositas batuan tersebut. Pada gambar 7 didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,3229$ yang artinya memiliki hubungan yang sedang antara nilai UCS terhadap densitas batuan tersebut. Dan pada gambar 8 didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,9382$ yang artinya memiliki hubungan yang sangat kuat antara nilai UCS terhadap kadar air batuan tersebut. Berdasarkan gambar 6, 7 dan 8 dapat disimpulkan bahwa nilai UCS memiliki pengaruh terhadap nilai porositas, densitas dan kadar air batuan tersebut.

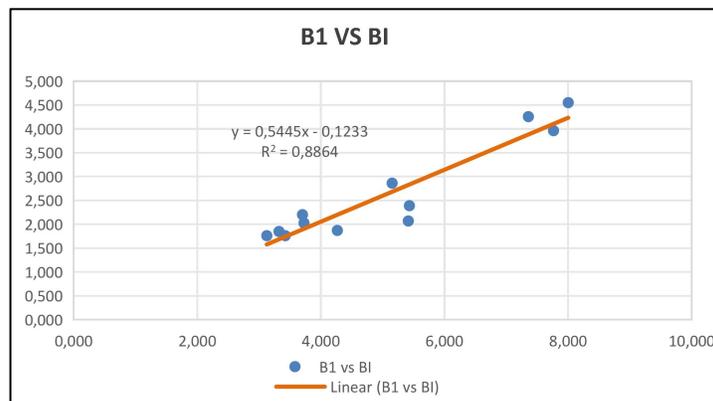
Brittleness Index

Berdasarkan hasil uji mekanik pada batupasir formasi pulaubalang dan balikpapan didapatkan nilai *Brittleness Index* seperti pada tabel dibawah dibawah ini.

Tabel 6 Nilai Hasil *Brittleness Index*

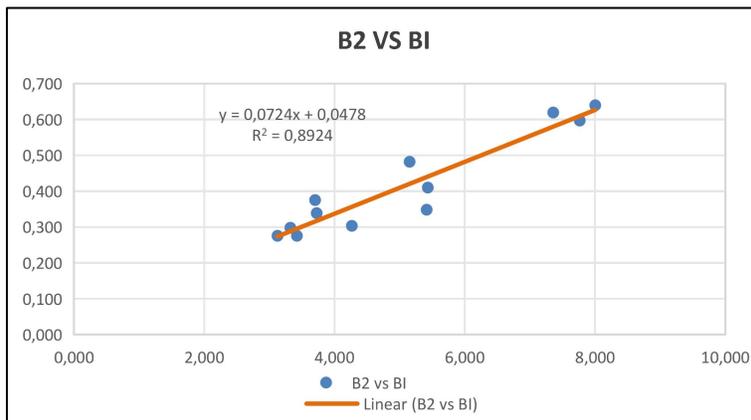
Sampel	BI 1	BI 2	BI 3	BI 4	BI
PBSS1A	4,551	0,640	4,500	4,864	8,002
PBSS1B	4,257	0,620	4,209	4,636	7,357
PBSS1C	3,963	0,597	6,967	6,664	7,764
PBSS2A	2,026	0,339	5,564	5,668	3,726
PBSS2B	2,863	0,482	5,032	5,272	5,152
PBSS2C	1,850	0,298	5,080	5,308	3,323
BPSS1A	2,202	0,375	3,871	4,365	3,702
BPSS1B	1,762	0,276	6,967	6,664	3,423
BPSS1C	1,762	0,276	4,838	5,125	3,125
BPSS2A	2,391	0,410	12,870	10,366	5,432
BPSS2B	1,872	0,304	13,160	10,534	4,266
BPSS2C	2,070	0,348	22,740	15,618	5,414

Berdasarkan hasil yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 6 dapat dijelaskan bahwa untuk mendapatkan nilai *Brittleness Index* yang optimal maka digunakan BI dengan nilai antara 3,323 hingga 8,002 pada formasi pulaubalang dan pada formasi balikpapan didapatkan nilai BI 3,125 hingga 5,432. merujuk pada tabel klasifikasi kerapuhan batuan maka nilai BI masuk dalam kelas V dengan deskripsi kerapuhan *Low*. Dengan demikian nilai BI yang didapatkan pada penelitian ini berada pada nilai dibawah 40 dan dapat diartikan bahwa pada lokasi penelitian ini memiliki tingkat kerapuhan batuan yang rendah.



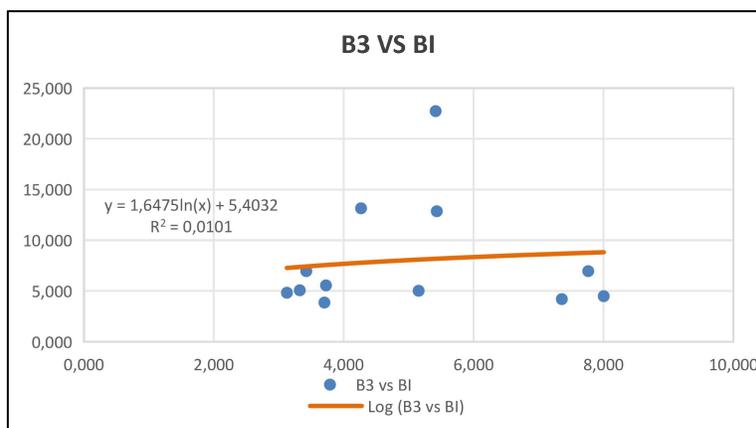
Gambar 9 Korelasi B1 dan BI

Berdasarkan gambar 9 didapatkan nilai R^2 antara B1 dan BI sebesar 0,8864 dengan demikian didapatkan interpretasi hubungan yang sangat kuat antara B1 terhadap BI.



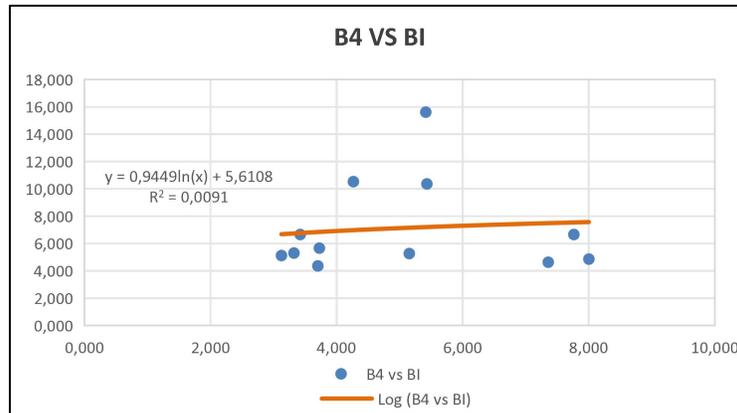
Gambar 10 Korelasi B2 dan BI

Berdasarkan gambar 10 didapatkan nilai R^2 antara B2 dan BI sebesar 0,8924 dengan demikian didapatkan interpretasi hubungan yang sangat kuat antara B1 terhadap BI.



Gambar 11 Korelasi B3 dan BI

Berdasarkan gambar 11 didapatkan nilai R^2 antara B3 dan BI sebesar 0,0101 dengan demikian didapatkan interpretasi tidak ada hubungan atau memiliki hubungan yang lemah antara B1 terhadap BI.



Gambar 12 Korelasi B4 dan BI

Berdasarkan gambar 4.16 didapatkan nilai R^2 antara B1 dan BI sebesar 0,0091 dengan demikian didapatkan interpretasi tidak ada hubungan atau memiliki hubungan yang lemah antara B4 terhadap BI.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada formasi pulaubalang sesuai analisis regresi didapatkan nilai R^2 porositas dan UCS sebesar 0,0575 artinya tidak ada hubungan. densitas dan UCS sebesar 0,0009 artinya tidak ada hubungan. Nilai R^2 kadar air dan UCS sebesar 0,0942 artinya tidak ada hubungan. Pada formasi balikpapan sesuai analisis regresi didapatkan nilai R^2 porositas dan UCS sebesar 0,8014 artinya memiliki hubungan sangat kuat. Nilai R^2 densitas dan UCS sebesar 0,3229 artinya memiliki hubungan sedang. Nilai R^2 kadar air dan UCS sebesar 0,9382 artinya memiliki hubungan sangat kuat.
2. Nilai kuat tekan uniaksial pada formasi pulaubalang lokasi 1 didapatkan nilai dengan rata-rata 6,606 Mpa dan lokasi 2 sebesar 4,817 Mpa. Pada formasi balikpapan lokasi 1 didapatkan nilai dengan rata-rata 4,404 Mpa dan lokasi 2 sebesar 8,188 Mpa. Dan nilai kuat tarik tidak langsung pada formasi pulaubalang lokasi 1 didapatkan nilai dengan rata-rata 1,563 Mpa dan lokasi 2 sebesar 2,188 Mpa. Pada formasi balikpapan lokasi 1 didapatkan nilai dengan rata-rata 2,344 Mpa dan lokasi 2 sebesar 3,906 Mpa.

3. Pada formasi pulaubalang didapatkan nilai B_{new} 3,323 hingga 8,002. Dan pada formasi balikpapan didapatkan nilai B_{new} 3,125 hingga 5,432. Dan berdasarkan klasifikasi kerapuhan batuan nilai *Brittleness Index* pada penelitian ini masuk dalam kelas V dengan deskripsi kerapuhan rendah (*Low*).

Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan dalam pengujian selanjutnya sebagai berikut :

1. Sampel batuan yang digunakan sebaiknya 2 atau lebih jenis batuan, dan sampel batuan diambil di wilayah luar Kalimantan Timur.
2. Untuk formasi batuan yang telah digunakan dapat ditambah dengan formasi batuan lainnya.
3. Hasil pada penelitian ini hanya berlaku pada lokasi penelitian, dan untuk lokasi lain perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G. P., & Chambers, J. L. C. (1998). *Regional Geology and Stratigraphy of the Kutei Basin, Sedimentation in the Modern and Miocene Mahakam Delta*. Indonesian Petroleum Association.
- Ariyanto, K. D., Rabin, S., Saleky, D. B., Titirloloby, A., & Cahyono, Y. D. G. (2020). Analisis Pengaruh Porositas Terhadap Uji Kuat Tekan Uniaksial pada Batu Gamping. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, ISSN 2686-0651, 2(1).
- Balfas, M. D. (2015). *Geologi Untuk Pertambangan Umum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ghademejad, S., Hamid, R. N., Yagis, S. 2020. *A New Rock Brittleness Index on The Basis of Punch Penetration Test Data*. *School of Mining Engineering University of Tehran. Iran*
- ISRM. (1981). *Suggested Method For Determining The Uniaxial Compressive Strength Of Rock Material*. Pergamon Press.
- Jumikis, A. R. (1983). *Rock Mechanics*. Trans Tech Publications.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2013). *Mekanika Batuan*. Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang, Institut Teknologi Bandung, Bandung.