

Analisis Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung dengan Metode Regresi pada Batupasir Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur

Muhlisin Efendi

Universitas Mulawarman

Revia Oktaviani

Universitas Mulawarman

Windhu Nugroho

Universitas Mulawarman

Abstract: *The strength of rocks has an important role in the mining industry. These forces can determine many aspects in mining such as slope geometry, excavation, blasting, and drilling. The strength of rocks can include tensile strength, compressive strength, and shear strength. Therefore, research was conducted to determine the relationship between UCS and UTS in sandstone in the Kutai Kartanegara area, East Kalimantan province. This study uses quantitative and qualitative methods, carried out by calculating the physical properties of sandstone so that the values of density, porosity and moisture content, grain size and mechanical properties are obtained, namely compressive strength and tensile strength. The density values obtained were from 1.71 gr/cm³ to 1.90 gr/cm³. Porosity value from 29.61%-34.11%. The value of Natural Moisture Content is from 11.02%-14.52%. And it was found that the grain size in the Sanga-sanga area was dominated by fine, while Loa Janan was coarse-grained. The compressive strength value is obtained from 2.11 MPa – 4.44 MPa, while the tensile strength value is from 0.65 MPa – 1.24 MPa. A perfect relationship was obtained with the equation $UCS = 3.9582\sigma_t - 0.4004$. And RMSE with a score of 0.033 and MAPE 5.89%. The results of this test are known at the research location of the Sanga-sanga area dominated by fine sand and Loa Janan dominated by coarse sand. The compressive and tensile forces in this study showed a perfect relationship with the regression equation, namely $UCS = 3.9582 \sigma_t - 0.4004$, and the accuracy was obtained from the regression model using RMSE and MAPE which showed a very good level of accuracy.*

Keywords: *uniaxial compressive strength, indirect tensile strength, RMSE, MAPE*

Abstrak: Kekuatan batuan memiliki peranan penting dalam industri pertambangan. Kekuatan tersebut dapat menentukan banyak aspek dalam penambangan seperti geometri lereng, penggalian, peledakan, dan pengeboran. Kekuatan batuan dapat meliputi kuat tarik, kuat tekan, dan kuat geser. Karena itu penelitian dilakukan untuk mengetahui hubungan antara UCS dan UTS pada batupasir di daerah Kutai Kartanegara, provinsi Kalimantan timur. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif, dilakukan dengan melakukan perhitungan pada uji sifat fisik batupasir sehingga didapat nilai densitas, porositas dan kadar air, ukuran butir dan sifat mekanik yaitu kuat tekan dan kuat tarik. Nilai densitas yang didapat dari 1,71 gr/cm³-1,90 gr/cm³. Nilai porositas dari 29,61%-34,11%. Nilai Kadar Air Asli dari 11,02%-14,52%. Dan didapat ukuran butir di daerah Sanga-sanga didominasi halus, sedangkan Loa Janan berbutir kasar. Nilai kuat tekan didapat dari 2,11 MPa – 4,44 MPa, sedangkan nilai kuat tarik dari 0,65 MPa – 1,24 MPa. Didapatkan hubungan yang sempurna dengan persamaan $UCS = 3,9582\sigma_t - 0,4004$. Dan RMSE dengan nilai 0,033 serta MAPE 5,89%. Hasil pengujian ini diketahui dilokasi penelitian daerah Sanga-sanga didominasi oleh pasir halus dan Loa Janan didominasi pasir kasar. Kuat tekan dan kuat tarik pada penelitian ini menunjukkan hubungan yang sempurna dengan persamaan regresi yaitu $UCS = 3,9582 \sigma_t - 0,4004$, dan didapatkan keakuratan dari model regresi menggunakan RMSE dan MAPE yang menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik.

Kata Kunci: Kuat Tekan Uniaksial, Kuat Tarik Tidak Langsung, RMSE, MAPE

PENDAHULUAN

Batupasir (*sandstone*) adalah endapan batuan yang 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, batupasir halus, sedang, dan kasar.

Kekuatan batuan merupakan salah satu aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam industri pertambangan. Kekuatan tersebut mempengaruhi banyak hal dalam kegiatan pertambangan seperti analisis geometri lereng, pembuatan penyangga untuk lubang bukaan, dan memperkirakan kemampuan produksi alat dalam melakukan penggalian. Kuat tekan batuan utuh (*Compressive Strength*) merupakan salah satu sifat mekanik dari suatu perilaku batuan. Kuat tekan batuan utuh menunjukkan kekuatan batuan untuk bertahan saMPai batuan tersebut mengalami *failure* terhadap gaya yang diterimanya. Sedangkan uji kuat tarik adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material saat diregangkan atau ditarik, sebelum material tersebut terbelah. Uji tarik langsung pada sampel batuan relatif sulit dilakukan dan uji Brazil menawarkan metode tidak langsung untuk mengukur kekuatan tarik. Uji *Brazilian Test* dilakukan untuk mengetahui kuat tarik (*tensile strength*) dari sampel batuan yang berbentuk silinder (Arif, 2016).

Oleh karena itu, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara *uniaxial compressive strength* (UCS) dan *uniaxial tensile strength* (UTS) pada batupasir daerah kalimantan timur karena berdasarkan pada pengujian sebelumnya banyak membahas hubungan *uniaxial compressive strength* (UCS) dan *uniaxial tensile strength* (UTS) pada batuan sedimen dengan nilai kuat tekan rendah.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Batuan

Pengetahuan atau ilmu geologi didasarkan kepada studi terhadap batuan. Diawali dengan mengetahui bagaimana batuan itu terbentuk, berubah, kemudian bagaimana hingga batuan itu sekarang meneMPati bagian dari pegunungan, dataran-dataran di benua hingga didalam cekungan dibawah permukaan laut. Menurut Rai dkk, (2014) batuan adalah campuran dari satu atau lebih mineral yang berbeda, tidak mempunyai komposisi kimia tetap. Tetapi batuan tidak sama dengan tanah. Tanah dikenal sebagai material yang mobile, rapuh dan letaknya dekat dengan permukaan tanah. Sedangkan menurut ahli geoteknik istilah batuan hanya untuk formasi yang keras dan padat dari kulit bumi yang merupakan suatu bahan yang keras tidak dapat digali dengan cara biasa misalnya dengan cangkul.

Sedangkan menurut Fitri dkk, (2017) batuan adalah benda padat yang terbuat secara alami dari mineral atau *mineraloid*. Secara umum terdapat tiga jenis batuan yang ada di permukaan bumi, yaitu batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf. Setiap jenis batuan berasal dari proses pembentukan yang berbeda-beda. Beragam jenis batuan sedimen dapat dilihat dari tekstur batuan dan hanya ahli geologi yang dapat mengklasifikasinya.

Batuan dapat mengalami perubahan dari satu tipe menjadi tipe batuan yang lainnya. Batuan dari jenis apapun jika tertimbun kedalam bumi, mendapatkan energi panas hingga meleleh, kemudian membeku kembali, maka batuan tersebut akan menjadi batuan beku. Batuan jenis apapun jika mengalami pelapukan, transportasi, kemudian terendapkan kembali, maka batuan tersebut akan menjadi batuan sedimen. Batuan jenis apapun jika mengalami pemanasan (pematangan termal) dan penekanan, maka batuan tersebut akan berubah menjadi batuan metamorf (Zuhdi, 2019).

Klasifikasi Batuan

Penelitian-penelitian yang dilakukan oleh para ahli Geologi terhadap batuan, menyimpulkan bahwa antara ketiga kelompok tersebut terdapat hubungan yang erat satu dengan lainnya, dan menurut Noor, (2012) batuan beku dianggap sebagai “nenek moyang” dari batuan lainnya. Dari sejarah pembentukan bumi, diperoleh gambaran bahwa pada awalnya seluruh bagian luar dari Bumi ini terdiri dari batuan beku. Dengan perjalanan waktu serta perubahan keadaan, maka terjadilah perubahan-perubahan yang disertai dengan pembentukan kelompok-kelompok batuan yang lainnya. Proses perubahan dari satu kelompok batuan ke kelompok lainnya, merupakan suatu siklus yang dinamakan daur batuan. Dari hasil pengamatan terhadap jenis-jenis batuan tersebut, Batuan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar, yaitu batuan beku, batuan sedimen dan batuan malihan atau metamorfis.

Menurut Rai (2016) siklus pembentukan batuan dimulai dari magma keluar dan membeku dan terbentuk batuan beku. Setelah batuan beku terpapar dari permukaan atau dekat permukaan, maka akan terjadi proses pelapukan dan hasilnya yang berupa material lapuk akan ter-transport dan diendapkan atau mengalami sedimentasi sehingga hasil akhirnya disebut sedimen. Jika material sedimen tersebut mengalami konsolidasi dan tegangan, maka material tersebut akan menjadi batuan sedimen.

Dalam fungsi waktu dan jika batuan sedimen mengalami pembebanan dan temperature di dalam bumi maka batuan tersebut akan mengalami *metamorphose* sehingga terbentuk batuan metamorf. Secara singkat dapat dikatakan bahwa batuan beku atau batuan sedimen atau batuan metamorf yang mengalami pelapukan dapat menjadi batuan sedimen baru. Demikian juga halnya dengan kejadian batuan metamorf baru, bahwa apakah batuan beku atau batuan sedimen

atau batuan metamorf jika mengalami *metamorphose* akan dapat menjadi batuan metamorf baru.

Batu Sedimen

Menurut Tucker (2001) sedimen adalah kelompok batuan yang beragam, mulai dari batulumpur berbutir halus, melalui batupasir hingga konglomerat dan breksi berbutir kasar. Sedimen sebagian besar terdiri dari biji-bijian (*klast*) yang berasal dari batuan beku, metamorf dan sedimen yang sudah ada sebelumnya. Butiran klastik dilepaskan melalui pelapukan mekanis dan kimia proses, dan kemudian diangkut ke pengendapan situs oleh berbagai mekanisme, termasuk angin, gletser, arus sungai, gelombang, arus pasang surut, aliran puing dan arus kekeruhan. Konglomerat dibuat terutama dari kerikil dan batu besar, dan ini dapat berupa berbagai jenis batuan. Batupasir juga mengandung fragmen batuan, tetapi sebagian besar butiran adalah kristal individu, terutama kuarsa dan feldspar, terkelupas ke berbagai derajat. Produk penguraian yang lebih halus dari batuan asli, terbentuk selama pelapukan dan sebagian besar terdiri dari mineral lempung, dominan dalam lumpur dan membentuk matriks menjadi beberapa batupasir dan konglomerat. Dalam arti luas, komposisi sedimen silisiklastik merupakan cerminan dari proses pelapukan, yang sangat ditentukan oleh iklim dan geologi daerah sumber (asal dari sedimen). Daerah sumber umumnya adalah dataran tinggi, daerah pegunungan mengalami pengangkatan, tetapi detritus juga dapat dipasok dari erosi di dataran rendah dan daerah pesisir. Komposisi sedimen juga terpengaruh berdasarkan jarak transpor sedimen dan diagenetik proses.

Dua fitur penting dari sedimen adalah struktur dan tekstur sedimennya. Ini bayak dihasilkan oleh proses pengendapan, sedangkan yang lain bersifat pasca-deposisi atau diagenetik asal. Banyak struktur sedimen pada batupasir juga terdapat pada batugamping dan beberapa jenis batuan sedimen lainnya. Untuk studi batupasir komposisi, tekstur, diagenesis dan porositas, irisan tipis secara rutin digunakan. Studi tekstur sedimen melibatkan pertimbangan parameter ukuran butir, morfologi butir, tekstur permukaan butir dan kain sedimen. Berdasarkan atribut teksturnya, sedimen dapat dilihat dari kematangan teksturnya.

Batupasir



Gambar 1 Batupasir (Nichols, 2009)

Menurut Nichols (2009) butiran pasir terbentuk dari hancurnya batuan asal oleh erosi, pelapukan dan dari material yang ada pada suatu lingkungan pengendapan. Hasil hancuran

suatu batuan asal akan terbagi menjadi dua kategori yaitu butiran mineral detrital, yang merupakan hasil erosi dari suatu batuan asal dan fragmen litik yang merupakan pecahan suatu batuan asal hingga ukuran pasir di tempat itu juga atau insitu. Butiran yang berasal dari lingkungan pengendapan pada prinsipnya merupakan material organik yang berasal dari hewan maupun tumbuhan namun ada juga yang merupakan hasil proses kimiawi. Pasir didefinisikan sebagai sedimen yang umumnya memiliki ukuran butir antara 0,0625 mm - 2 mm.

Sifat Fisik Batuan

Menurut Rai (2014) 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 (Tabel 1). Semua sifat tersebut kecuali abrasivitas dapat ditentukan baik di laboratorium maupun di lapangan (in-situ). Penentuan di laboratorium pada umumnya dilakukan terhadap sampel yang diambil di lapangan. Satu sampel 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 sampel batu hancur.

Sifat Mekanik Batuan

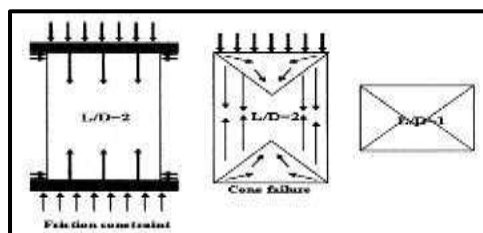
Kuat Tekan Uniaksial

Menurut Arif (2016) uji tekan dilakukan untuk mengukur kuat tekan uniaksial (*unconfined comprehensive strength test – UCS test*) dari sebuah sampel batuan berbentuk silinder dalam satu arah (uniaksial). Tujuan utama uji ini adalah untuk mengklasifikasi kekuatan dan karakterisasi batuan utuh. Hasil uji ini berupa beberapa informasi, seperti kurva tegangan-regangan, kuat tekan uniaxial, modulus elastisitas, nisbah poisson, energy fraktur spesifik. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin tekan (*compression machine*) dan dalam pembebanannya mengikuti standar dari *international society for rock mechanics* (ISRM, 1981). Kekerasan batuan sangat ditentukan dari mineral pembentuk batuan tersebut. Semakin keras mineral pembentuknya maka semakin keras pula batuan tersebut, dan akan menghasilkan nilai kuat tekan yang semakin besar juga. Skala kekerasan pada mineral dikenal dengan skala kekerasan Mohs. Skala Mohs ini dimulai dari angka 1 yang merupakan mineral terlembut, dan berakhir di angka 10 yang merupakan mineral terkeras.

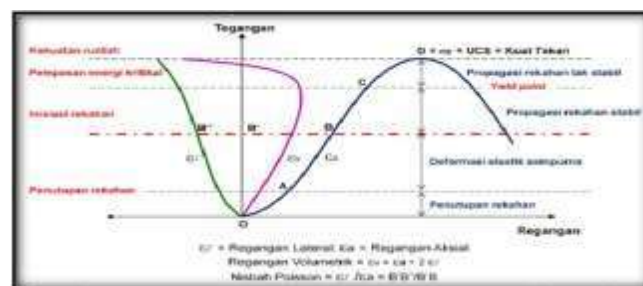
Tabel 1 Klasifikasi kuat tekan dan skala Mohs menurut Bieniawski & Tamrock (Rai dkk, 2014)

klasifikasi	kuat tekan uniaksial (MPa)	
	bieniawski, 1973	tamrock, 1988
sangat keras	250-700	200 (7)
keras	100-250	120-200 (6-7)
keras sedang	50-100	60-120 (4,5-6)
cukup lunak lunak	-	30-60 (3-4,5)
lunak	25-50	10-30 (2-3)
sangat lunak	1-25	-10

Sampel batuan yang akan digunakan dalam pengujian kuat tekan harus memenuhi beberapa syarat. Kedua muka sampel batuan uji harus mencapai kerataan hingga 0,22 mm dan tidak melenceng dari sumbu tegak lurus lebih besar daripada 0,001 radian (sekitar 3,5 min) atau 0,05 mm dalam 50 mm (0,06°). demikian juga sisi panjangnya harus bebas dari ketidakrataan sehingga kelurusannya sepanjang sampel batu uji tidak melenceng lebih dari 0,3 mm. Perbandingan antara tinggi dan diameter sampel batuan (L/D) akan mempengaruhi nilai kuat tekan batuan. Jika digunakan perbandingan (L/D) = 1, kondisi tegangan triaxial saling bertemu sehingga akan memperbesar nilai kuat tekan batuan. Sesuai dengan ISRM (1981), untuk pengujian kuat tekan digunakan rasio (L/D) antara 2 – 2,5 dan sebaiknya diameter (D) sampel batu uji paling tidak berukuran tidak kurang dari ukuran NX, atau kurang lebih 54 mm.



Gambar 2 Bentuk pecahan kerucut dan distribusi tegangan di dalam contoh batuan pada Uji Kuat Tekan (UCS) (Rai dkk, 2014)



Gambar 3 Kurva tegangan-regangan pada uji kuat tekan uniaksial (Hoek and Brown, 1980) dalam (Kevin, 2010)

Kuat tekan uniaksial adalah gambaran dari nilai tegangan maksimum yang dapat ditanggung sebuah sampel batuan sesaat sebelum sampel tersebut hancur (*failure*) tanpa adanya pengaruh dari tegangan pemampatan (tegangan pemampatan sama dengan nol). Untuk perhitungan kuat tekan uniaksial dapat dilihat pada persamaan 2.1 (Rai dkk, 2014).

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan: σ_c = Kuat tekan uniaksial batuan (MPa)

F = Gaya yang bekerja pada saat sampel batu hancur (KN)

A = Luas penampang sampel batuan (cm^2)

Uji Kuat Tarik Tak Langsung (Indirect Tensile Strength Test)

Menurut *American society for testing and materials* (ASTM) D 653-67 *standard definition of terms and symbol* dalam Arif (2016) yang berhubungan dengan mekanika batuan dan mekanika tanah, kuat tarik dari suatu material didefinisikan sebagai “nilai tegangan maksimum yang dikembangkan oleh suatu sampel material”. Secara praktis, kuat tarik dipandang sebagai nilai tegangan maksimum yang dikembangkan oleh suatu sampel material dalam suatu pengujian tarikan yang dilakukan untuk memecah batuan dalam kondisi tertentu.

Brazilian test, yang merupakan salah satu metode uji kuat tarik batuan secara tidak langsung, dilakukan untuk mengetahui kuat tarik (*tensile strength*) dari ontoh batuan yang berbentuk silinder. Alat yang digunakan adalah mesin tekan, seperti pada pengujian kuat tekan. Menurut Bienewski (1967) dan mellor & hawkes (1971) serta ISRM (1981) dalam Arif (2016), kuat tarik suatu sampel batuan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

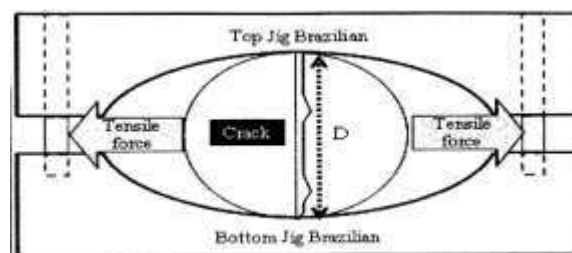
$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi Dt} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan: σ_t = Kuat tarik (MPa)

F = Gaya pada saat batuan hancur (N)

D = Diameter sampel batuan (mm)

t = Tebal sampel batuan (mm), jika berbentuk silinder maka tinggi silindernya



Gambar 4 Sampel batu uji kuat tarik *Brazilian* dan susunan jig (Rai dkk, 2014)

Ukuran Butir (Grain Size)

Ukuran butir merupakan komponen yang memiliki peranan sangat penting dalam mempelajari batuan sedimen, khususnya sedimen. Kasar halusnya suatu ukuran butir akan mencerminkan tinggi rendahnya tingkat energi yang mengontrol proses pelapukan, proses erosi, transportasi, dan sedimentasi batuan tersebut. Ukuran butir bervariasi, mulai dari partikel yang berukuran lempung (yang membutuhkan pengamatan melalui mikroskop) sampai yang

berukuran bongkahan dengan diameter hingga beberapa meter. Langkah dalam mempelajari ukuran butir sedimen setidaknya meliputi tiga aspek berikut, yaitu:

- (1) Teknik penentuan ukuran butir, kemudian mengelompoknya dalam skala tertentu.
- (2) Melakukan pemilahan sejumlah data ukuran butir yang representatif, kemudian menyajikannya dalam bentuk grafik atau dengan cara statistik lainnya sehingga lebih mudah dievaluasi dan dipelajari.
- (3) Pencatatan data untuk kemudahan melakukan interpretasi aspek sedimentasi, misalnya energi pengendapan, arus yang mengangkut butiran sedimen, hingga lingkungan pengendapan.

(Surjono dan Amijaya, 2017)

Menurut Boggs, (1987) dalam Surjono dkk, (2017), distribusi ukuran butir batuan sedimen dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu:

- 1) Variasi ukuran butir sedimen asal (sumber).
- 2) Proses transportasi dan energi pengendapan, dan
- 3) Proses diagenesis yang berlangsung setelah pengendapan.

Sedimen bentukan alam akan menunjukkan variasi ukuran butir yang sangat beragam, mulai dari fraksi yang berukuran sangat halus (mikron) saMPai sangat kasar (meter). Melihat fenomena yang demikian, Udden dan Wentworth merumuskan suatu klasifikasiukuran butir batuan sedimen secara geometrik mulai dari fraksi lempung (*clay*) saMPai bongkah (*boulder*) yang terbagi atas 14 segmen. Klasifikasi ini akan mempermudah pemahaman dalam pengelompokan ukuran butir sedimen secara sistematis. Penambahan skala mikron tersebut dirasakan sangat membantu pemakaian terutama untuk pengukuran butiran yang sangat halus secara *mickrokopis*.

Tabel 2 Skala Wenwort (1922)

Ukuran Butir (mm)	Nama Butir	Nama Batuan
> 256		Breksi
64-256	Bongkah (<i>Boulder</i>)	Berbentuk runcing
4-64	Berangkal (<i>Couple</i>) Kerakal	Konglomerat
2-4	(<i>Pebble</i>)	Fragmen berbentuk membulat
1-2	Kerikil (<i>Gravel</i>)	
1/2-1		
1/4-1/2	Pasir Sangat Kasar Pasir Kasar	Batu Pasir
1/8-1/4	Pasir Sedang Pasir halus	
1/16-1/8	Pasir sangat halus Lanau	
1/256-1/16	Lempung	Lanau
<1/256		Lempung

Koefisien

Koefisien Korelasi

Persamaa regresi yang diperoleh dengan menggunakan formulasi adalah persamaan yang menunjukkan hubungan fungsional antara variabel dependen (Y) dengan variabel indenpenden (X), penentuan koefisien korelasi dengan menggunakan metode analisis korelasi Person Product Moment sebagai :

$$r_{xy} = \frac{\sum x y}{\sqrt{\sum x^2 y^2}} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

r_{xy} : korelasi antara variabel x dan y

x : $(x_i - \bar{x})$

y : $(y_i - \bar{y})$

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\} \{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\}}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

r_{xy} : koefisien korelasi pearson

x_i : variabel independen

y_i : variabel dependen

n : banyak sampel

Besarnya koefisien korelasi (r) antara dua buah variabel adalah nol sampai dengan ± 1 . Apabila dua buah variabel mempunyai nilai $r = 0$, berarti antara variabel tersebut tidak ada hubungan. Sedangkan apabila dua buah variabel mempunyai nilai $r = \pm 1$, maka dua buah variabel tersebut mempunyai hubungan yang sempurna. Tanda minus (-) pada nilai r menunjukkan hubungan yang berlawanan arah (apabila nilai variabel yang satu naik, maka nilai variabel yang lain turun), dan sebaliknya tanda plus (+) pada nilai r menunjukkan hubungan yang searah (apabila nilai variabel yang satu naik, maka nilai variabel yang lain juga naik). Semakin tinggi nilai koefisien korelasi antara dua buah variabel (semakin mendekati 1), maka tingkat keeratan hubungan antara dua variabel tersebut semakin tinggi. Dan sebaliknya semakin rendah koefisien korelasi antara dua macam variabel (semakin mendekati 0), maka tingkat keeratan hubungan antara dua variabel tersebut semakin lemah (Nuryadi dkk., 2017).

Tabel 3 Tabel Interpretasi Koefisien Korelasi (Sugiyono, 2010 dalam Jabnabillah & Margina, 2022).

No	Nilai r	Interpretasi
1	0,00-1,199	Sangat rendah
2	0,20-0,399	Rendah
3	0,40-0,599	Sedang
4	0,60-0,799	Kuat
5	0,80-1,000	Sangat Kuat

Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (R^2) adalah bagian dari keragaman total variabel terikat (Y) yang dapat diterangkan oleh keragaman variabel bebas (X). Koefisien ini dihitung dengan mengkuadratkan koefisien korelasi dan diinterpretasi dengan sebuah hubungan. Adapun interpretasi nilai koefisien determinasi menurut Colon dalam Hastono, 2001 dalam Josep, 2019 dapat dilihat pada Tabel 4. Pada Tabel 4 Nilai koefisien determinasi dibagi menjadi 4 kelompok

dengan interpretasi dari tidak ada hubungan hingga hubungan sangat kuat, dan dapat dihitung dengan rumus matematis seperti dibawah ini

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

R^2 = Koefisien determinasi

\hat{Y} = $a+bx$

\bar{y} = Rata-rata perhitungan nilai y

y = Variabel dependen

Tabel 4 Tabel interpretasi nilai R² (Indra dkk, 2022)

R ²	Interpretasi
0,00 - 0,25	Tidak ada hubungan/hubungan lemah
0,26 - 0,50	Hubungan sedang
0,51 - 0,75	Hubungan kuat
0,76 - 1,00	Hubungan sangat kuat/semurna

Persamaan Regresi

Menurut Nuryadi dkk, (2017) analisis regresi linear sederhana (*simple linear regression analysis*) adalah didalam analisis hanya melibatkan dua buah variabel, yaitu variabel yang satu merupakan variabel mempengaruhi (*independent variabel*) dan variabel yang lain merupakan variabel dipengaruhi (*dependent variabel*).Sedangkan maksud dari linear adalah asumsi yang digunakan bahwa hubungan antara dua variabel yang dianalisis menunjukkan hubungn linear. Analisis regresi bertujuan menentukan persamaan regresi yang baik yang dapat digunakan untuk menafsir nilai variabel dependen. Dengan beberapa asumsi yang digunakan, maka bentuk persamaan yang akan ditentukan adalah sebagai berikut:

$$Y = a + bX \dots\dots\dots (2.16)$$

Yang menyatakan bahwa :

a: Konstanta (nilai Y apabila X= 0)

b: Koefisien Regresi (tafsiran perubahan nilai Y apabila X berubah nilai satu unit)

X: variabel yang nilainya dipengaruhi variabel lain (*dependent variable*)

Y: variabel yang mempengaruhi variabel lain (*independent variable*)

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di lokasi Loa Janan dan Sanga-sanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, 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 5 Tahap ketiga berupa pasca lapangan yaitu mengolah data yang

diperoleh dari tahap kedua, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung.

Tabel 5 Pengujian laboratorium

No	Jenis Uji	Standar Pengujian	Jumlah Sampel
1	Uji Sifat Fisik	ISRM (<i>International Society for Rock Mechanics</i>)	18
2	Uji Ukuran Butir	SNI 03-1968-1990	6
3	Uji Kuat Tekan Uniaksial	ISRM, (1981)	24
4	Uji Kuat Tarik Tidak Langsung	ISRM, (1981)	24

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Sifat Fisik Batupasir

Lokasi Pengambilan Sampel Batupasir

Pada penelitian ini setelah dilakukan pengamatan lapangan, dilakukan pengambilan sampel batupasir di 6 lokasi pada 2 daerah yang berbeda, yaitu Loa Janan dan Sanga-sanga. Adapun lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 5 Lokasi pengambilan sampel batupasir

Hasil Uji Sifat Fisik Batupasir Dearah Loa Janan Dan Sanga-sanga

Pada penelitian kali ini dilakukan pengujian sifat fisik batupasir daerah Loa Janan dan Sanga-sanga formasi Balikpapan. dimana dilakukan penimbangan terhadap sampel batuan untuk mencari berat batuan normal, berat batuan jenuh, berat batuan tergantung dalam air, dan berat batuan kering. Nilai hasil sifat fisik dapat dilihat pada tabel 6

Tabel 6 Hasil uji sifat fisik batupasir

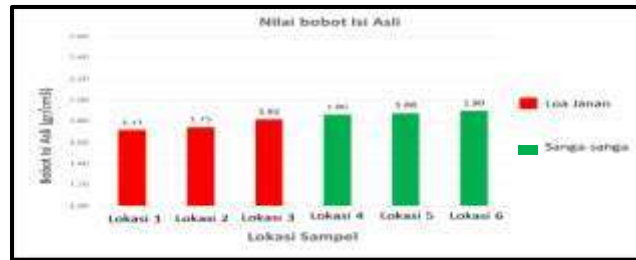
Lokasi	Sampel Kode	Bobot Isi Asli (gr/cm ³)	Rata-rata (gr/cm ³)	Kadar Air Asli (%)	Rata-rata (%)	Porositas (%)	Rata-rata (%)
Loa Janan							
Lokasi 1	S1LJ1	1,83	1,71	17,19	14,52	32,97	34,11
	S2LJ1	1,73		13,90		34,66	
	S3LJ1	1,59		12,47		34,71	
Lokasi 2	S1LJ2	1,68	1,75	9,65	11,02	32,55	31,60
	S2LJ2	1,77		14,06		30,51	
	S3LJ2	1,79		9,34		31,74	
Lokasi 3	S1LJ3	1,88	1,82	15,65	15,31	30,84	31,79
	S2LJ3	1,84		15,47		33,15	
	S3LJ3	1,73		14,81		31,37	
Sanga-sanga							
Lokasi 4	S1SS1	1,80	1,86	12,09	11,65	33,39	31,47
	S2SS1	1,90		12,15		32,33	
	S3SS1	1,89		10,72		28,68	
Lokasi 5	S1SS2	1,78	1,88	11,42	11,37	34,93	30,43
	S2SS2	1,85		9,84		28,04	
	S3SS2	2,00		12,86		28,32	
Lokasi 6	S1SS3	1,85	1,90	10,82	11,32	26,29	29,61
	S2SS3	1,94		11,61		29,84	
	S3SS3	1,91		11,53		32,70	

Terlihat pada tabel 6 hasil uji sifat fisik batupasir lokasi 1 didapatkan nilai bobot isi asli sampel 1.71 gr/cm³, kadar air asli 14.52%, dan porositas 34.11%. Pada lokasi 2 didapatkan nilai bobot isi asli sampel 1.75 gr/cm³, kadar air asli 11.02%, dan porositas 31.60%. Pada lokasi 3 didapatkan nilai bobot isi asli sampel 1.82 gr/cm³, kadar air asli 15.31%, dan porositas 31.79%. Pada lokasi 4 didapatkan nilai bobot isi asli sampel 1.86 gr/cm³, kadar air asli 11.65%, dan porositas 31.47%. Pada lokasi 5 didapatkan nilai bobot isi asli sampel 1.88 gr/cm³, kadar air asli 11.37%, dan porositas 30.43%. Pada lokasi 6 didapatkan nilai bobot isi asli sampel 1.90 gr/cm³, kadar air asli 11.32%, dan porositas 29.61%.

Perbandingan Sifat Fisik Loa Janan dan Sanga-sanga

a. Perbandingan Bobot Isi Asli

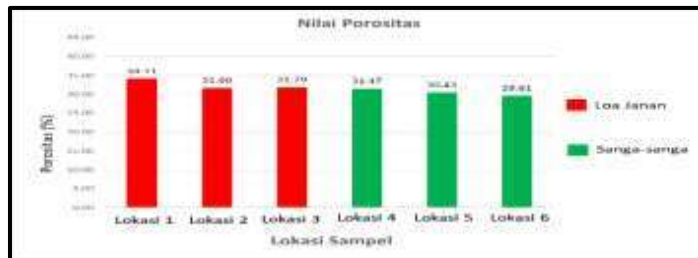
Dari pengujian sifat fisik yang dilakukan pada 6 lokasi yang berbeda dari 2 daerah yaitu Loa Janan dan Sanga-sanga dan dilanjutkan dengan pengolahan data hasil sifat fisik, maka diketahui perbedaan hasil uji sifat fisik dari 2 daerah tersebut. Pada bobot isi asli daerah Loa Janan lokasi 1 sampai 3 didapatkan nilai 1.71 gr/cm³, 1.75 gr/cm³, 1.82 gr/cm³. Dan Pada bobot isi asli daerah Sanga-sanga lokasi 4 sampai 6 didapatkan nilai 1.86 gr/cm³, 1.88 gr/cm³, 1.90 gr/cm³. Berdasarkan gambar 7 dapat diketahui bahwa lokasi didaerah Sanga-sanga memiliki nilai bobot isi asli yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah Loa Janan, ini menunjukkan daerah Sanga-sanga memiliki kerapatan massa yang lebih besar. Dengan begitu semakin mampat antar partikel penyusun benda, maka nilai densitasnya semakin besar untuk benda yang sama.



Gambar 6 Grafik perbandingan nilai bobot isi asli lokasi Loa Janan dan Sanga-sanga

b. Perbandingan Porositas

Pada porositas di daerah Loa Janan dan Sanga-sanga lokasi 1 sampai 3 didapatkan nilai 34.11%, 31.60%, 31.79%. Dan Pada kadar air asli daerah Sanga-sanga lokasi 4 sampai 6 didapatkan nilai 31.47%, 30.43%, 29.61%. Berdasarkan gambar 8 menunjukkan bahwa lokasi Loa Janan memiliki nilai porositas yang lebih besar dibandingkan dengan daerah Sanga-sanga, dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa pori-pori / rongga batupasir daerah Loa Janan lebih besar dibandingkan dengan batupasir daerah Sanga-sanga.



Gambar 7 Grafik perbandingan nilai porositas lokasi Loa Janan dan Sanga-sanga

c. Perbandingan Kadar Air Asli

Dihitung juga nilai kadar air asli pada daerah Loa Janan dan Sanga-sanga. Pada kadar air asli daerah Loa Janan lokasi 1 sampai 3 didapatkan nilai 14.52%, 11.02%, 15.31%. Dan Pada kadar air asli daerah Sanga-sanga lokasi 4 sampai 6 didapatkan nilai 11.65%, 11.37%, 11.32%. Berdasarkan gambar 9 menunjukkan bahwa lokasi Loa Janan memiliki nilai kadar air asli yang lebih besar dibandingkan dengan daerah Sanga-sanga, ini dapat terjadi karena lokasi penelitian di Loa Janan memiliki porositas yang lebih besar dibandingkan dengan Sanga-sanga, sehingga tingkat penyerapan kadar air juga semakin banyak.



Gambar 8 Grafik perbandingan nilai kadar air asli lokasi Loa Janan dan Sanga-sanga

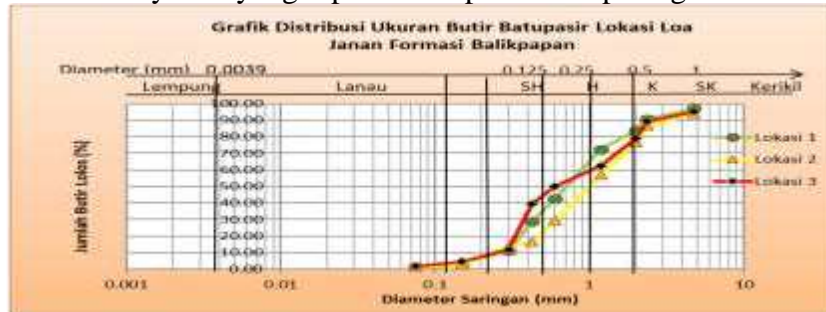
Uji ukuran Butir Batupasir

Pada pengujian ukuran butir menggunakan sampel batupasir dari 6 lokasi yang berbeda. Masing-masing sampel batupasir diambil dari sisa-sisa sampel uji kuat tekan maupun uji kuat

tarik dengan total 500 gram per lokasi, kemudian sampel batupasir dihaluskan dengan menggunakan palu selama 10 menit, selanjutnya akan di uji menggunakan mesin ayakan selama 15 menit. Data yang diperoleh dari pengujian ukuran butir berupa persentase berat yang lolos setiap masing-masing ayakan.

Distribusi ukuran butir batupasir lokasi Loa Janan

Berdasarkan pengujian ukuran butir batupasir dengan menggunakan ayakan, pada lokasi 1 sampai 3 di daerah Loa Janan menggunakan sampel yang di ambil di sisa-sisa sampel uji kuat tekan dan kuat tarik seberat 500 gram dan di uji untuk mengetahui jumlah butir yang lolos (%). Untuk hasil ayakan yang diperoleh dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 9 Grafik distribusi ukuran butir batupasir lokasi Loa Janan

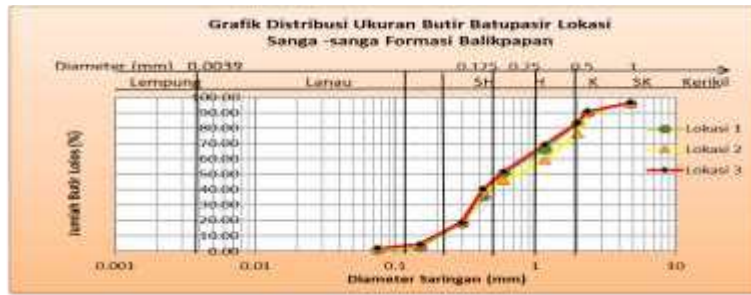
Tabel 7 Presentase Nilai Ukuran Butir Batupasir lokasi Loa Janan

Lokasi	Lempung (%)	Lanau (%)	Pasir				Kerikil (%)	Total (%)
			Sangat Halus (%)	Halus (%)	Kasar (%)	Sangat Kasar (%)		
Lokasi 1	0	2,4	5,5	27,1	30	18,51	16,49	100
Lokasi 2	0	2	6,45	13,85	28,2	25,9	23,60	100
Lokasi 3	0	3,7	5,8	35	15,1	19,28	21,12	100

Berdasarkan pada table 7 diperoleh data-data ukuran butir batupasir pada setiap lokasi, dimana dilokasi 1 terdapat persentase butir batupasir yang dominan diukuran butir pasir kasar (K) sebesar 30%, pada lokasi 2 juga didominasi oleh ukuran butir pasir kasar (K) dengan nilai persentase sebesar 28.2%, dan pada lokasi 3 ukuran butir terbesar ada pada ukuran pasir halus (H) dengan nilai persentase sebesar 35%, hal ini dikarenakan lokasi 3 memiliki jarak yang cukup jauh dari lokasi 1 dan 2 dan adanya sesar naik. Berdasarkan pada nilai porositas hasil pengujian sifat fisik ukuran butir didaerah Loa Janan yang memiliki tingkat pori yang lebih besar, sehingga didapatkan hasil ukuran butir batupasir didaerah Loa Janan didominasi oleh pasir kasar.

Distribusi ukuran butir batupasir lokasi Sanga-sanga

Pada pengujian ayakan batupasir lokasi 4 sampai 6 di daerah Sanga-sanga menggunakan sampel yang di ambil di sisa-sisa sampel uji kuat tekan dan kuat tarik seberat 500 gram dan di uji untuk mengetahui jumlah butir lolos (%) Untuk hasil ayakan yang diperoleh dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 10 Grafik distribusi ukuran butir batupasir lokasi Sanga-sanga

Tabel 8 Presentase Nilai Ukuran Butir Batupasir lokasi Sanga-sanga

Lokasi	Lempung (%)	Lanau (%)	Pasir				Kerikil (%)	Total (%)
			Sangat Halus (%)	Halus (%)	Kasar (%)	Sangat Kasar (%)		
Lokasi 4	0	2	9,5	31,5	19,4	20,64	16,96	100
Lokasi 5	0	3,2	9,6	29,1	14,1	20,42	23,58	100
Lokasi 6	0	3,7	9,1	33,2	19	18,46	16,54	100

Berdasarkan pada table 8 diperoleh data-data ukuran butir batupasir pada setiap lokasi, dimana dilokasi 4 terdapat persentase butir batupasir yang dominan diukurin butir pasir halus (H) sebesar 31.5%, pada lokasi 2 juga didominasi oleh ukuran butir pasir halus (H) dengan nilai persentase sebesar 29.1%, dan pada lokasi 3 ukuran butir terbesar juga ada pada ukuran pasir halus (H) dengan nilai persentase sebesar 33.2%. Berdasarkan pada nilai porositas hasil pengujian sifat fisik didapatkan nilai pori didaerah Sanga-sanga yang lebih kecil dibandingkan Loa Janan, sehingga ukuran butir didapatkan didaerah Sanga-sanga juga lebih halus dibandingkan dengan yg didaerah Loa Janan.

Sifat Mekanik

Kuat Tekan

Pada penelitian ini dilakukan uji sifat mekanik berupa pengujian kuat tekan uniaksial terhadap sampel batupasir. Sampel batuan yang digunakan terdiri dari 4 sampel batupasir di 6 lokasi yang berbeda, dengan dimensi yang digunakan L/D yaitu 2D dan bentuk sampel yang digunakan berbentuk selinder. Selanjutnya akan diolah menggunakan Microsoft exel, hasil uji kuat tekan uniaksial yang dilakukan dapat dilihat pada lampiran C dan didapatkan hasil seperti pada tabel 9.

Tabel 9 Hasil uji kuat tekan batupasir

Daerah	Lokasi	Kode Sampel	D (CM)	F (KN)	UCS (MPa)	Rata-rata (Mpa)
Loa Janan	Lokasi 1	S1LJ1	4,2	2,86	2,06	2,11
		S2LJ1	4,2	2,29	1,65	
		S3LJ1	4,2	3,43	2,48	
		S4LJ1	4,2	3,14	2,27	
	Lokasi 2	S1LJ2	4,2	4,00	2,89	2,37
		S2LJ2	4,2	2,86	2,06	
		S3LJ2	4,2	3,43	2,48	
		S4LJ2	4,2	2,86	2,06	
	Lokasi 3	S1LJ3	4,2	4,57	3,30	3,35
		S2LJ3	4,2	4,86	3,51	
		S3LJ3	4,2	5,14	3,71	
		S4LJ3	4,2	4,00	2,89	

Daerah	Lokasi	Kode Sampel	D (CM)	F (KN)	UCS (MPa)	Rata-rata (Mpa)
Sanga-sanga	Lokasi 4	S1SS1	4,2	5,14	3,71	3,66
		S2SS1	4,2	4,29	3,09	
		S3SS1	4,2	4,86	3,51	
		S4SS1	4,2	6,00	4,33	
	Lokasi 5	S1SS2	4,2	4,57	3,30	3,30
		S2SS2	4,2	3,71	2,68	
		S3SS2	4,2	5,14	3,71	
		S4SS2	4,2	4,86	3,51	
	Lokasi 6	S1SS3	4,2	7,43	5,36	4,44
		S2SS3	4,2	6,00	4,33	
		S3SS3	4,2	6,00	4,33	
		S4SS3	4,2	5,14	3,71	

Berdasarkan pengujian sifat mekanik kuat tekan uniaksial yang di uji dilaboratorium didapatkan nilai kuat tekan (UCS) yang bervariasi. Sampel batuan yang ada pada daerah Loa Janan dilokasi 1 didapatkan nilai sebesar 1.65 MPa – 2.48 MPa, pada lokasi 2 2.06 MPa – 2.89 MPa, dan pada lokasi 3 2.89 MPa – 3.71 MPa. Sedangkan sampel batuan yang ada pada daerah Sanga-sanga dilokasi 4 didapatkan nilai sebesar 3.09 MPa – 4.33 MPa, pada lokasi 5 2.68 MPa – 3.71 MPa, dan pada lokasi 6 3.71 MPa – 5.36 MPa. Dari gambar 4.7 data hasil pengujian didapatkan nilai kuat tekan uniaksial pada lokasi penelitian di Kabupaten Kutai Kartanegara memiliki nilai UCS 2.11 MPa sampai dengan 4.44 MPa, dimana nilai tersebut apabila diklasifikasikan menurut bieniawski dan tamrock pada tabel klasifikasi kuat tekan dan skala mohs (rai, 2014) termasuk dalam klasifikasi sangat lunak.



Gambar 11 Perbandingan nilai UCS Loa Janan dan Sanga-sanga

Kuat Tarik

Pada penelitian ini dilakukan juga uji sifat mekanik berupa pengujian kuat tarik tidak langsung terhadap sampel batupasir. Sampel batuan yang digunakan yaitu terdiri dari 4 sampel batupasir di 6 lokasi yang berbeda, dengan dimensi yang digunakan L/D yaitu 0.75D dan bentuk sampel yang digunakan berbentuk selinder. Selanjutnya hasil data yang diperoleh dari pengujian kuat tarik diolah menggunakan Microsoft excel. Hasil uji kuat tarik tidak langsung yang diperoleh dapat dilihat pada lampiran D dan didapatkan hasil seperti pada tabel 10.

Tabel 10 Hasil uji kuat tarik batupasir

Daerah	Lokasi	Kode Sampel	D (CM)	t (cm)	F (KN)	UTS (MPa)	Rata-rata (Mpa)
LoaJanan	Lokasi 1	S1LJ1	4,2	3,15	1,43	0,69	0,72
		S2LJ1	4,2	3,15	1,71	0,83	
		S3LJ1	4,2	3,15	1,71	0,83	
		S4LJ1	4,2	3,15	1,14	0,55	
	Lokasi 2	S1LJ2	4,2	3,15	1,14	0,55	0,65
		S2LJ2	4,2	3,15	1,43	0,69	
		S3LJ2	4,2	3,15	1,14	0,55	
		S4LJ2	4,2	3,15	1,71	0,83	

Daerah	Lokasi	Kode Sampel	D (CM)	t (cm)	F (KN)	UTS (MPa)	Rata-rata (Mpa)
Sanga-sanga	Lokasi 3	S1LJ3	4,2	3,15	2,57	1,24	0,96
		S2LJ3	4,2	3,15	2,00	0,96	
		S3LJ3	4,2	3,15	2,00	0,96	
		S4LJ3	4,2	3,15	1,43	0,69	
	Lokasi 4	S1SS1	4,2	3,15	2,29	1,10	1,00
		S2SS1	4,2	3,15	1,71	0,83	
		S3SS1	4,2	3,15	2,00	0,96	
		S4SS1	4,2	3,15	2,29	1,10	
	Lokasi 5	S1SS2	4,2	3,15	1,43	0,69	0,89
		S2SS2	4,2	3,15	2,29	1,10	
		S3SS2	4,2	3,15	2,00	0,96	
		S4SS2	4,2	3,15	1,71	0,83	
Lokasi 6	S1SS3	4,2	3,15	2,29	1,10	1,24	
	S2SS3	4,2	3,15	1,71	0,83		
	S3SS3	4,2	3,15	3,43	1,65		
	S4SS3	4,2	3,15	2,86	1,38		

Berdasarkan pengujian sifat mekanik kuat tarik tidak langsung yang di uji dilaboratorium didapatkan nilai kuat tarik (UTS) yang bervariasi. Sampel batuan yang ada pada daerah Loa Janan dilokasi 1 didapatkan nilai sebesar 0.55 MPa – 0.89 MPa, pada lokasi 2 0.55 MPa – 0.83 MPa, dan pada lokasi 3 0.69 MPa – 1.24. Sedangkan sampel batuan yang ada pada daerah Sanga-sanga dilokasi 4 didapatkan nilai sebesar 0.83 MPa – 1.10 MPa, pada lokasi 5 0.69 MPa – 1.10 MPa, dan pada lokasi 6 0.83 MPa – 1.65 MPa. Dari gambar 4.8 data hasil pengujian kuat tarik tidak langsung pada batupasir yang dilakukan, diketahui bahwa nilai UTS pada lokasi penelitian di Kabupaten Kutai Kartanegara memiliki nilai sebesar 0.65 MPa sampai dengan 1.24 MPa. Berdasarkan hasil yang diperoleh, semakin tinggi nilai UCS maka nilai UTS juga semakin tinggi.



Gambar 12 Perbandingan UTS daerah Loa Janan dan Sanga-sanga

Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat tarik tidak langsung Lokasi Loa Janan dan Sanga-sanga Formasi Balikpapan

Dilakukan analisis data menggunakan metode regresi untuk mengetahui bentuk hubungan antara kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung. Metodo regresi yang digunakan adalah regesi linier sederhana, dimana kuat tekan uniaksial merupakan variabel dependen (Y) dan kuat tarik variabel independen (X). Sehingga kuat tarik tidak langsung merupakan variabel bebas X yang mempengaruhi kuat tekan uniaksial yaitu variabel terikat Y.



Gambar 13 Grafik Hubungan UCS dan UTS lokasi Loa Janan dan Sanga-sanga

Tabel 11 Pengujian korelasi *model summary* lokasi Loa Janan dan Sanga-sanga

<i>Model Summary</i>				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,972a	0,944	0,931	0,22533
a. Predictors: (Constant), UTS				

Tabel 12 Pengujian korelasi *coefficients* lokasi Loa Janan dan Sanga-sanga

<i>Coefficients^a</i>						
Model		<i>Unstandardized Coefficients</i>		<i>Standardized Coefficients</i>	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-0,372	0,443		-0,840	0,448
	UTS	3,931	0,477	0,972	8,250	0,001
a. Dependent Variable: UCS						

Pada tabel 11 dapat dilihat nilai dari koefisien korelasi dengan simbol R dalam tabel *model summary* dan nilai dari koefisien determinasi dengan simbol R *square* menggunakan aplikasi SPSS. Nilai koefisien korelasi yang didapatkan adalah 0.972, nilai tersebut dapat diinterpretasikan bahwa hubungan antara dua buah variabel dependen dan independen termasuk dalam kategori sangat kuat. Sedangkan untuk nilai koefisien determinasi atau R *square* yang diperoleh adalah 0.944, yang menunjukkan bahwa model regresi yang dibentuk oleh dua buah variabel memiliki hubungan yang sempurna. Dari nilai hasil determinasi diketahui bahwa pengaruh variabel X sebesar 94.4% terhadap variabel Y. Sedangkan pada pengujian hipotesis dapat dilihat pada tabel 12 bagian *coefficient*, dari tabel tersebut menunjukkan model persamaan regresi yang diperoleh dengan nilai konstanta dan koefisien regresi yang ada di kolom *Unstandardized Coefficient* B. Berdasarkan tabel tersebut diperoleh model persamaan regresi $UCS = 3.931\sigma - 0.372$. sedangkan pada gambar 14 menunjukkan hubungan kuat tekan dan kuat tarik menggunakan Microsoft excel dengan persamaan regresi $UCS = 3.9582 \sigma - 0.4004$, dan $R^2 = 0.945$ yang menyatakan hubungan yang dibentuk memiliki interpretasi yang sempurna. Dari hasil pengujian yang diperoleh dan dilakukan pendekatan matematik berupa regresi linier dapat diketahui bahwa pengaruh nilai kuat tarik terhadap nilai kuat tekan yaitu semakin tinggi nilai dari kuat tarik batuan maka semakin tinggi juga nilai dari kuat tekan yang dihasilkan. Dan jika dilihat dari koefisien korelasi, persamaan linier ini merepresentasikan hubungan antara kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung secara baik, dengan kata lain persamaan linier yang dihasilkan akurasiya tinggi.

Analisis RMSE (*Root Mean Square Error*) dan MAPE (*Mean Absolut Percentage Error*)

RMSE dan MAPE digunakan untuk menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model perkiraan (prediksi). Nilai hasil RMSE akan baik hasil perkiraan (prediksi) apabila nilai RMSE semakin rendah, dan MAPE akan semakin baik ketika persentasenya semakin rendah. Data hasil pengolahan yang diperoleh dengan menggunakan microsoft excel dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13 Hasil analisis dengan pendekatan regresi linier

Daerah	Lokasi	UCS (Mpa)	UTS (MPa)	σ_c^2	σ_t^2	$\sigma_c \cdot \sigma_t$
		Y	X			
Loa Janan	Lokasi 1	2,11	0,72	4,47	0,52	1,53
	Lokasi 2	2,37	0,65	5,63	0,43	1,55
	Lokasi 3	3,35	0,96	11,24	0,93	3,23
Sanga-sanga	Lokasi 4	3,66	1,00	13,41	0,99	3,65
	Lokasi 5	3,30	0,89	10,90	0,80	2,95
	Lokasi 6	4,44	1,24	19,68	1,53	5,49
Jumlah		19,24	5,47	65,33	5,20	18,40

Untuk mencari persamaan regresi linier, maka perlu untuk mencari nilai koefisien dan konstanta dengan cara:

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{6 \times 18,40 - 5,47 \times 19,24}{6 \times 5,20 - (5,47)^2}$$

$$b = 3,9582$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} - \frac{a (\sum X)}{n}$$

$$a = \frac{19,24}{6} - \frac{1,9665 (5,47)}{6}$$

$$a = -0,4004$$

Sehingga didapatkan persamaan regresi linier adalah $y = 3,9582x - 0,4004$ atau $\sigma_c = 3,9582\sigma_t - 0,4004$. Dari persamaan tersebut digunakan untuk memperoleh nilai UCS prediksi. Untuk mendapatkan nilai RMSE maka nilai UCS aktual pada percobaan perlu dikurangkan dengan nilai UCS prediksi. Untuk mencari nilai MAPE, diperlukan nilai mutlak dari hasil pengurangan UCS aktual dan Prediksi yang kemudian akan dibagi dengan nilai UCS aktual. Berikut tabel penyajian data UCS aktual, UCS prediksi, RMSE, dan MAPE.

Tabel 14 Penyajian data UCS aktual, prediksi, RMSE dan MAPE

Daerah	Lokasi	σ_c	σ_c'	$(\sigma_c - \sigma_c')^2$	$(\sigma_c - \sigma_c')/\sigma_c$
Loa Janan	Lokasi 1	2,11	2,46	0,12	0,16
	Lokasi 2	2,37	2,19	0,03	0,08
	Lokasi 3	3,35	3,41	0,00	0,02
Sanga-sanga	Lokasi 4	3,66	3,55	0,01	0,03
	Lokasi 5	3,30	3,14	0,03	0,05
	Lokasi 6	4,44	4,50	0,00	0,01
Jumlah		19,24	19,24	0,20	0,35

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{0,20}{6}}$$

$$RMSE = 0,033$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \times 100}{n}$$

$$MAPE = \frac{0,35}{6} \times 100$$

$$MAPE = 5,89\%$$

Sehingga dari perhitungan RMSE dan MAPE berdasarkan pendekatan regresi linier didapatkan nilai RMSE sebesar 0.033 dan MAPE sebesar 5.89%. dari nilai RMSE yang didapatkan kita dapat mengetahui bahwa metode regresi linier yang digunakan dapat

dikategorikan kuat karena nilainya yang kecil mendekati 0. Sedangkan untuk MAPE didapatkan nilai persentase sebesar 5.89%, dimana nilai ini menunjukkan bahwa persentase kesalahan dari regresi linier dalam kategori rendah atau bisa dikatakan metode regresi linier yang digunakan dapat diinterpretasikan dengan tingkat ke-akuratan yang sangat baik. Berdasarkan hasil pengolahan data dan juga setelah mengetahui bentuk hubungan dari kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung metode RMSE dan MAPE digunakan untuk mengevaluasi model regresi yang digunakan yaitu model regresi linier, dimana dari hasil metode tersebut didapatkan persentase kesalahan yang dapat dikategorikan ke klasifikasi rentang nilai MAPE menurut (Nurani,2023) yaitu akurasi prediksi sangat baik dengan rentang nilai MAPE dibawah 10%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan pengolahan data dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Ukuran butir batupasir pada lokasi penelitian di daerah Loa Janan didominasi oleh ukuran butir batupasir berbutir kasar (K), dan pada lokasi penelitian di daerah Sanga-sanga didominasi oleh batupasir berbutir halus (H).
2. Pada lokasi Loa Janan didapatkan nilai UCS sebesar 2,11 MPa – 3,55 MPa dengan nilai UTS 0,65 MPa – 0,96 MPa. Dan sanga-sanga didapatkan nilai UCS sebesar 3,30 MPa – 4,44 MPa, dengan nilai UTS sebesar 0,89 MPa – 1,24 MPa.
3. Hubungan antara kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung didapatkan persamaan regresi $UCS = 3,9582\sigma - 0,4004$, dengan R^2 sebesar 0,9445 yaitu hubungan sempurna dan R sebesar 0,972.
4. Model regresi yang digunakan adalah regresi linier dimana didapatkan RMSE yaitu 0,033 dan MAPE yaitu 5,89% dengan kategori akurasi yang sangat baik.

Saran

Setelah melakukan pengujian pada penelitian kali ini, adapun saran pada penelitian kali ini ataupun untuk penelitian berikutnya, yaitu:

1. Sebaiknya dilakukan pengambilan sampel untuk ukuran butir langsung pada lokasi penelitian, agar diketahui ukuran butir yang langsung dari lokasinya.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian dengan menggunakan sampel pada batuan sedimen yang lain seperti lanau, lempung dan batubara, guna mendapatkan perbandingan hasil nilai UCS dan UTS pada batuan sedimen.
3. Sebaiknya menggunakan metode pendekatan matematik yang lain seperti statistika deskriptif, regresi linier berganda, polynomial, guna mengetahui metode yang lebih baik untuk menentukan hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. (2016). Geoteknik tambang. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Fitri, D. B., Hidayat, B., & Subandrio, A. S. (2017). Klasifikasi jenis batuan sedimen berdasarkan tekstur dengan metode Gray Level Co-Occurrence Matrix dan K-Nn. *e-Proceeding of Engineering*, 4(2).
- ISRM. (1981). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength of rock materials. Pergamon Press, Incorporated.
- Kevin, D. A., Rabin, S., Saleky, D. B., Titirloloby, A., & Cahyono, Y. D. G. (2010). Analisis pengaruh porositas terhadap uji kuat tekan uniaksial pada batu gamping. *Jurnal ISSN*, 2686-0651, 2(1).
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy*. Wiley Blackwell Publishing. USA.
- Noor, D. (2012). Pengantar geologi. Program Studi Teknik Geologi Universitas Pakuan. Bogor.
- Nurani, A. T., Setiawan, A., & Susanto, B. (2023). Perbandingan kinerja regresi decision tree dan regresi linear berganda untuk prediksi BMI pada dataset asthma. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 6(1).
- Nuryadi, Tutut Dewi Astuti, E. S., & Budiantara, M. (2017). *Dasar-dasar statistik penelitian*. Gramasurya. Yogyakarta.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2014). *Mekanika batuan*. Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Surjono, S. S., & Amijaya, D. H. (2017). *Sedimentologi*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Tucker, M. E. (2001). *Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks*. John Wiley & Sons.
- Zuhdi, M. (2019). *Buku ajar pengantar geologi*. Duta Pustaka Ilmu. Mataram.