

Pengaruh Nilai Kuat Tekan Batupasir Terhadap Perbedaan Kondisi Fisik di Jalan Perjuangan dan Jalan Ringroad Kota Samarinda

Provinsi Kalimantan Timur

*(The Effect of Sandstone Compressive Strength Values on Differences in Physical
Conditions on Jalan Perjuangan and Jalan Ringroad Kota Samarinda, Province of East
Kalimantan)*

Ketut Swarningsih, Revia Oktaviani, Henny Magdalena, Tommy Trides, Lucia Litha Respati
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

* Korespondensi E-mail: revia.oktaviani@gmail.com
swarningsihketut@gmail.com

Abstrak

Kekuatan batuan adalah kemampuan suatu batuan untuk mempertahankan kekuatannya hingga pecah ketika diberikan gaya. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui klasifikasi kekuatan batuan di daerah penelitian dan perbandingan kekuatan batuan dalam kondisi fisik yang berbeda yaitu kondisi natural, jenuh, kering dan 2 siklus basah-kering pada batupasir dengan melakukan pengujian kuat tekan uniaxial sesuai standar SNI 2825-2008. Hasil pengujian kuat tekan pada dua lokasi yang berbeda memperlihatkan kondisi batuan disekitar wilayah Samarinda adalah lemah sampai sedang, dengan nilai kekuatan pada lokasi 1 berkisar 1,61 – 14,31 MPa dan pada lokasi 2 berkisar 8,26 – 36,27 MPa. *Modulus Elastis* yang diperoleh pada lokasi 1 berkisar 1,88 -18,60 dan di lokasi 2 berkisar 8,26 – 37,928. Semakin ke Barat dari kota Samarinda, maka kekuatan batuan semakin meningkat. Dengan perlakuan batuan yang mengalami proses basah-kering secara berulang, tidak menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan batuan dibandingkan dengan kondisi batuan yang mengalami penenuhan. Hal ini disebabkan karena jumlah kadar air yang cukup besar pada kondisi jenuh mengakibatkan pelemahan pada batuan. Semakin rendah kadar air maka semakin kuat suatu batuan.

Kata kunci: Batupasir, kuat tekan, kadar air

Abstract

Rock strength is the ability of a rock to maintain its strength until it breaks when given force. The purpose of this study is to determine the comparison of rock strength values in different physical conditions, namely natural, saturated, dry conditions and 2 wet-dry cycles on sandstones by testing uniaxial compressive strength according to SNI standards 2825-2008. The results of compressive strength testing at two different locations showed that the condition of the rocks around the Samarinda region was weak to moderate, with strength values at location 1 ranging from 1.61 – 14.31 MPa and at location 2 ranging from 8.26 – 36.27 MPa. The Elastic Modulus obtained at location 1 ranges from 1.88 -18.60 and at location 2 it ranges from 8.26 – 37.928. The more to the West from the city of Samarinda, the strength of the rocks is increasing. With the treatment of rocks that undergo repeated wet-dry processes, it does not cause a decrease in rock strength compared to the condition of rocks undergoing saturation. This is because the amount of water content that is large enough in saturated conditions results in weakening of the rock. The lower the water content, the stronger a rock.

Keywords: Sandstone, uniaxial compressive strength, water content

1. Pendahuluan

Pada pertambangan nilai kuat tekan dan sifat fisik batuan berkaitan erat dengan kestabilan geoteknik lereng tambang terbuka dan lubang galian tambang bawah tanah (Melati, 2019). Serta dapat dimanfaatkan juga sebagai dasar untuk kegiatan pembongkaran material, apabila kekuatan suatu batuan tersebut besar/batuan sangat keras maka dapat dilakukan pembongkaran dengan cara peledakan (*blasting*). Sifat fisik batuan, diantaranya densitas dan

porositas serta Modulus Young dan Rasio Poisson yang diperoleh dari uji kuat tekan uniaxial merupakan masukan dasar untuk pemodelan geomekanik dan desain teknik geologi (Zhang, 2019).

Kekuatan batuan itu sendiri adalah kemampuan batuan untuk bertahan menahan suatu gaya hingga pecah. Kekuatan batuan dapat dibentuk oleh suatu ikatan antar butir mineral atau tingkat sementasi pada batuan tersebut, serta kekerasan mineral yang

membentuknya. Untuk memperoleh nilai dari kekuatan pada batuan dapat dilakukan pengujian di laboratorium dengan menggunakan metode uji kuat tekan uniaksial (Beko, dkk 2021).

Kuat tekan uniaksial adalah gambaran dari nilai tegangan maksimum yang dapat ditanggung sebuah contoh batuan sesaat sebelum contoh tersebut hancur (*failure*) (Rai, 2013). Adapun persamaan kuat tekan uniaksial sebagai berikut.

Modulus elastis merupakan kemampuan batuan untuk mempertahankan kondisi elastisnya. Nilai modulus elastis diturunkan dari kemiringan kurva tegangan-regangan pada bagian yang linier karena pada saat itulah contoh batuan mengalami deformasi elastis (Arif, 2016). Adapun persamaan untuk mencari nilai modulus elastis sebagai berikut.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan suatu batuan, yang pertama yaitu komposisi mineral penyusunnya, mineral-mineral dengan kemampuan mengikat yang tinggi akan menyebabkan nilai kekuatan batuan menjadi tinggi begitupun sebaliknya apabila kemampuan mengikatnya rendah maka nilai kekuatan batuan akan rendah (Dias, dkk., 2022). Selain itu kadar air juga menjadi faktor yang mempengaruhi kekuatan batuan. Kadar air merupakan jumlah kandungan air yang terdapat pada suatu batuan dan dapat dinyatakan dalam bentuk persen. Pengaruh kadar air umumnya lebih besar pada batuan sedimen daripada batuan beku dan metamorf (Wong, dkk., 2015). Semakin besar peningkatan kadar air akan menyebabkan pengurangan yang signifikan terhadap nilai kuat tekan dan modulus deformasi, terutama pada batuan sedimen (Daraei & Zare, 2018). Semakin lama perendaman batupasir getas dalam air, UCS dan Modulus Young semakin rendah, tetapi Ratio Poisson semakin tinggi (Tang, 2018). Sehingga kekuatan batuan akan menurun dengan cepat apabila suatu batuan mengalami peningkatan kadar air dan ketika diberikan tekanan batuan akan mudah runtuh (Li & Wang, 2019).

Pada penelitian terdahulu pengaruh kadar air dan derajat kejenuhan menunjukkan korelasi yang kuat dan nilai kuat tekan uniaksial mengalami penurunan saat kadar air asli dan derajat kejenuhan meningkat (Winonazada dkk., 2020). Selain kadar air, temperatur juga mempengaruhi nilai kekuatan batuan. Suatu batuan mengalami peningkatan kekuatan dan *Modulus Young* pada saat pemanasan (Tanoto & Widodo, 2017), Hal ini dapat disebabkan karena pada saat pemanasan air yang terdapat pada sampel mengalami penguapan sehingga kadar airnya menurun. Namun pada tambang bawah tanah pengaruh suhu tinggi pada sifat mekanik batupasir harus dipertimbangkan ketika merancang penyangga batuan karena untuk

mengetahui ketahanan penyangga serta menghindari keruntuhan yang akan terjadi (Yang dkk, 2022). Penelitian mengenai kuat tekan uniaksial dengan beberapa jenis batuan telah banyak dilakukan antara lain Banunaek, dkk., 2021; Nugraha & Winonazada, 2020.

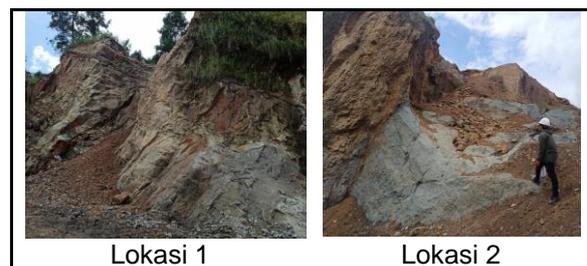
Pada penelitian kali ini sampel yang digunakan merupakan batupasir pada 2 lokasi yang berbeda yang akan diberi perlakuan seperti pemanasan dan perendaman.

dengan kondisi fisik batuan antara lain, kondisi natural, kondisi jenuh, kondisi kering dan kondisi 2 siklus basah-kering . Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu ingin mengetahui perbedaan kekuatan antar kondisi fisik batuan serta nilai modulus elastis yang dihasilkan.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan pada dua lokasi yang terletak di daerah Samarinda, lokasi pertama diambil pada penambangan batupasir tradisional milik warga setempat yang terletak di jalan Perjuangan dengan Koordinat 0517581 E, 9949526 N dan berada pada ketinggian 33 meter. Secara administratif lokasi pertama ini berada di Kelurahan Sempaja, Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Kalimantan Timur.

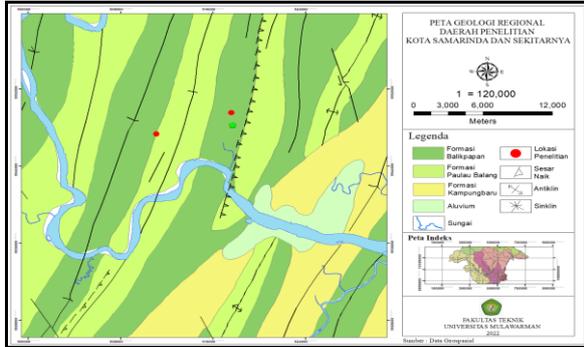
Sedangkan lokasi ke dua di lakukan pada penambangan batupasir tradisional milik warga setempat yang terletak di jalan Ringroad dengan Koordinat 0511095 E, 9947329 N dan berada pada ketinggian 31 meter. Secara administratif lokasi kedua berada di Kelurahan Lok Bahu, Kecamatan Sungai Kunjang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Lokasi pengambilan sampel diketahui terletak pada Formasi Balikpapan dan Formasi Paulau Balang,



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pada peta geologi lembar Samarinda (Supriatna 1995), Formasi Balikpapan merupakan Perselingan Batupasir dan Batulempung Sisipan Batulanau, Serpih, Batugamping dan Batubara. Batupasir Kuarsa, putih kekuningan, tebal lapisan 1 – 3 m, disisipi lapisan batubara, tebal 5 – 10 cm. Batupasir Gampingan, coklat, berstruktur sedimen lapisan sejajar dan silang siur, tebal lapisan 20 – 40 cm. Batugamping Pasiran, mengandung *foraminifera* besar, moluska, menunjukkan umur *Miosen* Akhir

bagian bawah - *Miosen* Tengah bagian atas, tebal formasi 1000 – 1500 m. Formasi Balikpapan terbentuk dalam lingkungan pengendapan delta atau litoral hingga laut dangkal terbuka. Formasi Paulau Balang merupakan susunan dari perselingan antara *greywacke* dan batupasir kuarsa dengan sisipan batugamping, batulempung, batubara, dan *tuff* dasit.



Gambar 2. Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan Timur

Batupasir *greywacke* warnanya kelabu kehijauan, padat, dan tebal lapisan antara 50 – 100 cm. Batupasir kuarsa berwarna kelabu kemerahan dengan tebal lapisan antara 15 – 60 cm. batugamping warnanya coklat muda kekuningan dan tebal lapisan 10 – 40 cm. lingkungan pengendapannya di laut dangkal. Batu lempung berwarna kelabu kehitaman dan tebal lapisannya 1 – 2 cm. berselingan dengan batubara yang tebalnya mencapai 4 m dan Tufa Dasit warnanya putih yang merupakan sisipan dalam pasir kuarsa.

Sampel batupasir yang diambil dilapangan dalam bentuk bongkah (*boulder*), dikarenakan untuk memudahkan pada saat preparasi di laboratorium. Sampel yang telah diambil selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan preparasi sesuai Standar pengujian yang digunakan yaitu menggunakan SNI 2825-2008 dengan ukuran sampel 2D. Sampel dalam bentuk silinder dapat di hasilkan dengan cara

menggunakan *diamond core drill*. Sampel yang dihasilkan memiliki diameter 42.5mm dan panjang 85mm. Kemudian sampel dengan kondisi natural dapat langsung dilakukan uji kuat tekan, namun sampel pada kondisi jenuh harus dilakukan perendaman terlebih dahulu selama 24 jam sebelum di uji kuat tekan, sampel pada kondisi kering di oven selama 24 jam dengan temperatur 105°C dan kondisi sampel 2 siklus basah-kering dioven terlebih dahulu dengan temperatur 105°C kemudian direndam selama 24 jam dan terakhir dioven kembali dengan temperatur 105°C selama 24 jam selanjutnya dilakukan uji kuat tekan. Dari semua kondisi sampel yang telah di uji kuat tekan selanjutnya di preparasi untuk dilakukan pengujian kadar air.

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui kekuatan suatu batuan ketika menerima beban dari luar. Adapun rumus kuat tekan uniaksial yang dapat digunakan yaitu:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

- Keterangan :
- σ_c : Kuat Tekan
 - P : Beban Sumbu (kN)
 - A : Luas Permukaan (cm²)

Selain untuk mengetahui kekuatan suatu batuan, nilai kuat tekan dapat digunakan untuk menentukan modulus elastis yang di peroleh dari masing-masing conto, dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \dots \dots \dots (2)$$

- Keterangan :
- E : Modulus Elastis (MPa)
 - $\Delta\sigma$: Beda Tegangan (MPa)
 - $\Delta\epsilon$: Beda Regangan Aksial (%)



Gambar 3. Alat Uji Kuat Tekan Uniaksial

Tabel 1. Klasifikasi Kuat Tekan Batuan menurut ISRM (1981)

UCS (MPa)	KLASIFIKASI
<1	Sangat-sangat lemah
1-5	Sangat lemah
5-25	Lemah
25-50	Sedang
50-100	Kuat
100-250	Sangat kuat
>250	Sangat-sangat kuat

Sumber: Rai, 2013

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian kadar air dan uji kuat tekan uniaksial pada masing-masing kondisi sampel. Dapat diketahui nilai kadar air batuan di lokasi 1 dalam kondisi natural berkisar 20,25%-22,42%, kondisi jenuh berkisar 21,36%-23,30%, kondisi kering berkisar 1,87%-4,36% dan kondisi 2 siklus basah-kering berkisar 1,87%-4,35%. Sedangkan nilai kadar air di lokasi 2 pada kondisi natural berkisar 7,34%-8,45%, kondisi jenuh berkisar 8,11%-8,93%, kondisi kering berkisar 1,18%-4,35%, dan kondisi 2 siklus basah-kering 1,45%-2,79. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa kadar air pada lokasi 1 lebih besar daripada lokasi 2. Serta nilai kadar air paling besar pada kondisi jenuh, hal ini dapat disebabkan karena pada saat perendaman air mengisi pori-pori batuan, batuan yang mengandung kadar air dalam jumlah banyak akan memperlemah kekuatan batuan tersebut. Batuan pada lokasi 1 memiliki pori yang lebih besar dibandingkan lokasi 2. Hal ini membuat nilai kuat tekan yang dihasilkan pada kondisi jenuh lokasi 1 pun lebih kecil dibandingkan kondisi natural, kering dan 2 siklus basah-kering dalam lokasi yang sama, hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 3. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, klasifikasi kuat tekan batuan di lokasi penelitian yaitu jalan Perjuangan dan jalan Ringroad Kota Samarinda adalah

sangat lemah hingga sedang. Pada lokasi 1 nilai kuat tekan batuan yang dihasilkan berkisar 1,61 – 14,31 MPa dan nilai kuat tekan batuan pada lokasi 2 berkisar 8,26 – 36,27 MPa. Sedangkan *Modulus Elastis* yang diperoleh pada lokasi 1 berkisar 1,88 - 18,60 dan di lokasi 2 berkisar 8,26 – 37,928. Sehingga dapat dikatakan bahwa lokasi 2 memiliki kemampuan untuk mempertahankan keelastisitasannya lebih besar dibandingkan lokasi 1. Semakin besar nilai modulus elastis maka kemampuan batuan menahan tegangan cukup besar, nilai kuat tekan uniaksial dan modulus elastis yang diperoleh ditunjukkan pada tabel 3.

Klasifikasi kuat tekan batuan yang digunakan yaitu *International Society for Rock Mechanics* (ISRM) 1981 yang ditunjukkan pada tabel 1. Klasifikasi kuat tekan batuan pada kondisi natural yaitu sangat lemah hingga lemah. Diantaranya 2 sampel yang masuk dalam kategori sangat lemah dan 10 sampel masuk dalam kategori lemah. Pada kondisi jenuh batuan masuk dalam kategori sangat lemah hingga lemah, diantaranya 4 sampel yang masuk kategori sangat lemah dan 8 sampel masuk kategori lemah. Pada kondisi kering batuan masuk dalam kategori lemah hingga sedang diantaranya yaitu 7 sampel yang masuk kategori lemah dan 5 yang masuk kategori sedang. Pada kondisi 2 siklus basah-kering batuan masuk dalam kategori lemah

hingga sedang diantaranya yaitu 8 sampel yang masuk kategori lemah dan 4 yang masuk kategori sedang, yang ditunjukkan pada gambar 4.

Tabel 2. Kadar Air (%) Masing-Masing Kondisi

Sampel	Natural	Jenuh	Kering	2 siklus basah-kering
L1S1T1	22.42	23.30	3.99	4.17
L1S2T1	20.41	21.95	4.35	18.44
L1S3T1	21.33	22.70	2.74	22.16
L1S1T2	20.71	21.95	1.87	2.34
L1S2T2	20.25	21.36	2.21	2.19
L1S3T2	20.41	21.51	1.87	1.74
L2S1T1	8.20	8.34	1.18	2.79
L2S2T1	8.45	8.93	1.18	1.45
L2S3T1	7.34	8.46	4.35	1.89
L2S1T2	8.08	8.34	1.87	1.74
L2S2T2	7.95	8.11	2.04	2.04
L2S3T2	7.71	8.70	1.69	1.60

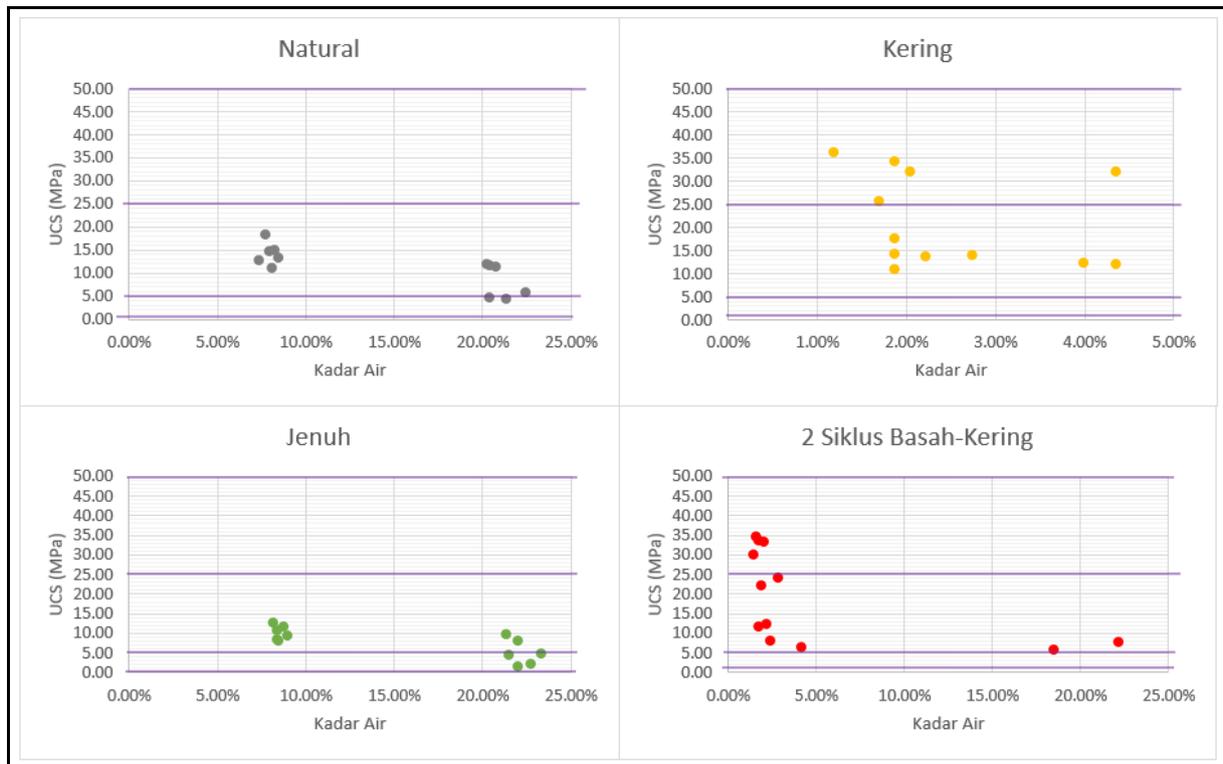
Keterangan : Lokasi (L), Sampel (S), Titik (T)

Tabel 3. Nilai Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Dengan Masing-Masing Kondisi

No.	Nama Sampel	Peak (kN)	Ucs (Mpa)	Rata-rata Ucs (Mpa)	Modulus Secant	Modulus Tangent	Modulus Average
1	L1N1T1	8.29	5.84		5.51	4.64	5.43
2	L1N2T1	6.86	4.84		3.38	2.27	2.46
3	L1N3T1	6.29	4.43	8.40	4.45	6.82	6.31
4	L1N1T2	16.29	11.49		14.08	12.62	16.92
5	L1N2T2	17.14	12.10		12.09	13.74	14.05
6	L1N3T2	16.57	11.69		14.43	16.32	17.32
7	L2N1T1	16.00	11.28		13.93	17.69	18.18
8	L2N2T1	21.14	14.91		15.22	18.41	16.05
9	L2N3T1	26.28	18.54	14.34	11.02	9.00	12.52
10	L2N1T2	21.43	15.11		16.79	14.76	17.38
11	L2N2T2	18.87	13.30		14.46	16.62	15.5
12	L2N3T2	18.29	12.90		17.43	37.93	20
13	L1J1T1	6.86	4.84		5.90	18.60	11.54
14	L1J2T1	2.29	1.61		2.24	2.52	2.97
15	L1J3T1	3.43	2.42	5.27	4.17	3.02	3.50
16	L1J1T2	11.71	8.26		7.38	5.99	11.01
17	L1J2T2	14.00	9.87		10.50	12.66	13.59
18	L1J3T2	6.57	4.63		7.72	9.23	5.58
19	L2J1T1	12.00	8.46		10.58	11.47	11.25
20	L2J2T1	13.43	9.47		10.64	13.72	13.48
21	L2J3T1	11.71	8.26	10,24	9.39	12.71	11.38
22	L2J1T2	15.14	10.68		19.07	16.69	15.00
23	L2J2T2	18.00	12.69		11.98	9.62	14.02
24	L2J3T2	16.86	11.89		11.11	8.26	12.78
25	L1D1T1	17.43	12.29		6.03	5.59	6.91
26	L1D2T1	17.14	12.09		5.76	4.95	6.89
27	L1D3T1	20.00	14.10	12,93	6.41	7.05	7.20
28	L1D1T2	20.28	14.31		9.93	7.45	9.38
29	L1D2T2	19.43	13.70		10.87	10.70	9.92
30	L1D3T2	15.71	11.08		8.80	9.08	9.18
31	L2D1T1	51.43	36.27		20.56	16.49	22.73
32	L2D2T1	45.71	32.24		17.71	20.15	22.50
33	L2D3T1	48.57	34.25	29,75	19.24	24.64	20.29
34	L2D1T2	25.14	17.73		22.73	19.92	23.33
35	L2D2T2	45.71	32.24		22.39	36.64	28.18
36	L2D3T2	36.57	25.79		20.47	23.88	22.96

37	L1P1T1	9.14	6.45		2.46	2.72	3.54
38	L1P2T1	8.29	5.84		1.67	1.88	2.97
39	L1P3T1	11.14	7.86	8,73	3.00	2.87	4.16
40	L1P1T2	11.43	8.06		5.84	5.52	9.18
41	L1P2T2	17.71	12.49		6.25	6.06	8.45
42	L1P3T2	16.57	11.69		5.96	6.09	9.06
43	L2P1T1	34.28	24.18		17.27	17.27	17.00
44	L2P2T1	42.57	30.02		16.50	20.02	18.80
45	L2P3T1	31.71	22.37	29,72	13.16	8.54	15.27
46	L2P1T2	47.71	33.65		22.74	26.29	25.63
47	L2P2T2	47.43	33.45		20.65	16.72	18.90
48	L2P3T2	49.14	34.66		19.04	12.47	22.30

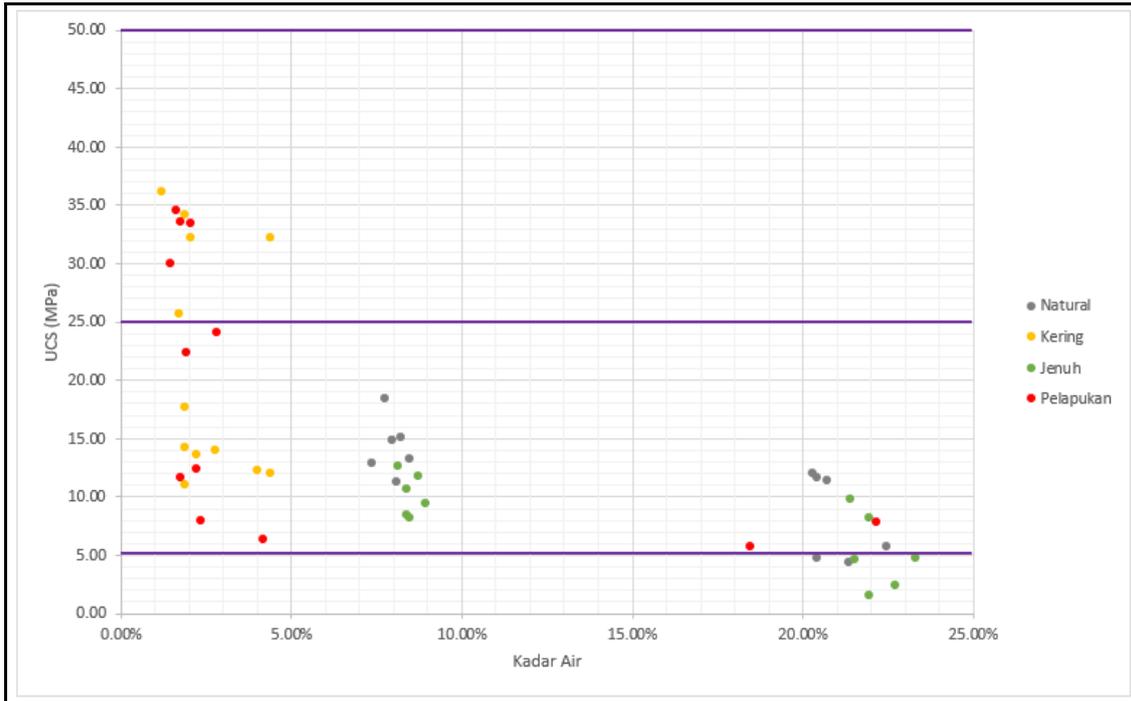
Keterangan : Natural (N), Jenuh (J), Kering (D) dan 2 siklus basah-kering (P)



Gambar 4. Pengelompokan Kekuatan Batuan

Pada hasil pengujian kuat tekan dan kadar air terhadap sampel batuan dengan 4 kondisi fisik yang berbeda, diketahui bahwa kondisi batuan dengan kadar air yang sangat rendah atau dalam kondisi kering dan 2 siklus basah-kering akan memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi

dibandingkan dengan kondisi batuan yang basah atau kadar air yang lebih tinggi. Selain itu juga dapat dilihat bahwa semakin ke arah barat dari Kota Samarinda memperlihatkan kecenderungan nilai kuat tekan batupasir semakin tinggi seperti pada sampel lokasi 1 dan lokasi 2.



Gambar 5. Kekuatan Batuan Terhadap Kadar Air dalam Masing-masing Kondisi

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian sampel batupasir yang terletak di jalan Perjuangan dan jalan Ringroad Kota Samarinda, diketahui nilai kadar air pada lokasi 1 lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi 2, hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi 1 memiliki daya serap air yang cukup baik. Kadar air yang tinggi serta batuan yang memiliki daya serap yang baik merupakan salah satu faktor lemahnya suatu batuan sehingga dapat diketahui dari hasil pengujian bahwa rata-rata nilai kuat tekan pada lokasi 1 lebih rendah dibandingkan dengan lokasi 2. Adapun klasifikasi kuat tekan batuan yang diperoleh yaitu sangat lemah hingga sedang yang dapat diketahui melalui nilai kuat tekan uniaksial. Berdasarkan nilai kuat tekan batupasir yang diperoleh nilai kuat tekan pada kondisi jenuh paling rendah diantara kondisi fisik batuan yang lain, hal itu disebabkan karena proses perendaman mempengaruhi kemampuan suatu batuan untuk mempertahankan kekuatan dan keelastisitasannya.

Ucapan Terimakasih

Penulis ucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini, kemudian terimakasih kepada orangtua, para dosen pembimbing dan penguji serta teman-teman dari S1 Teknik Pertambangan Universitas Mulawarman yang telah mendukung dan membantu hingga penelitian ini dapat diselesaikan.

Daftar Pustaka

- Arif, Irwandy. 2016. Geoteknik Tambang. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Banunaek, Deny Januardi., Herman., Sikopa, Maudy Cesilya., Thari, Ines Adnan. 2021. Analisis Pengaruh Kadar Air dan Derajat Kejenuhan Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batugamping Chalk, Gamping dan Batupasir di Ramang-ramang Maros. Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN III) Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia 10 Juli 2021.
- Beko, Bryan Caesar Mahaputra., Angkie, Jackie., Mahmud, Dahniel., Aristo, Johanis. 2021. Analisis Kualitas Massa Batuan dengan Metode *Rock Mass Rating* pada Batugamping. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IX 2021 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. ISSN 2685-6875.
- Daraei, Ako., & Zare, Shokrollah. 2018. *Effect of Water Content Variation on Critical and Failure Strains of Rock*. *KSCE Journal of Civil Engineering* 1-9.
- Dias, Evie Noviany., Beko, Bryan Caesar M., Putri, Ratih Hardini Kusuma. 2022. Studi Analisis Pengaruh Parameter Sifat Fisik Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Contoh Batuan Andesit. *Jurnal SEMITAN*, 1 (1), 48-59. ISSN 2723-8105
- Melati, Sari. 2019. Studi Karakteristik Relasi Parameter Sifat Fisik dan Kuat Tekan Uniaksial Pada Contoh Batulempung, Andesit, dan Beton

- Nugraha, Listiyawati & Winonazada, Rety., 2020. Pengaruh 2 siklus basah-kering Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batuan Andesit. Prosiding TPT XXIX Perhapi 2020.
- Rai, Made Astawa, dkk. 2013. Mekanika Batuan. Bandung: ITB
- SNI 2825-2008. Cara Uji Kuat Tekan Batu Uniaksial. ICS 93.010
- Tang, S. 2018. *The Effects of Water on the Strength of Black Sandstone in a Brittle Regime. Engineering Geology. Vol 239. Pages 167-178.*
- Winonazada, Rety., Irwan, Andesta Granitio., Rezky, Danu Mirza. 2020. Analisis Pengaruh Kadar Air dan Derajat Kejenuhan Terhadap Perbedaan Nilai Kuat Tekan Uniaksial Pada Batugamping, Pantai Ngrumput, Yogyakarta. Prosiding Seminar Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Pangkalpinang 8-9 Oktober 2020.
- Wong, Louis Ngai Yuen., Maruvancheryz, Varun., Liu, Gong. 2015. *Water Effect on Rock Stength and Stiffiness degradation. Acta Geotech 713-737.*
- Yang Yushun, Wei Sijiang, Zhang Jihua, Wu Jingke, & Zhang Chunlei. 2022. *Effect Study of Heat Treatment on Tensile Properties of Coarse Sandstone. Scientific Reports 12:17525.*
- Zhang, J.J. 2019. *Rock Physical and Mechanical Properties. Applied Petroleum Geomechanics. Elsevier. Pages 29-80.*