



Pengaruh Kadar Air terhadap Nilai Kuat Geser Batulempung pada Cekungan Kutai Menggunakan Metode *Direct Shear* di Provinsi Kalimantan Timur

Muhammad Rahul Shidiq ^{1*}, Tommy Trides ², Albertus Juvensius Pontus ³,

Revia Oktaviani ⁴, Ardhan Ismail ⁵, Rety Winonazada ⁶

¹⁻⁶ Universitas Mulawarman, Indonesia

Korespondensi penulis : rahuls.rr36@gmail.com

Abstract. In the Kutai Basin area, seasonal changes such as high rainfall can significantly increase groundwater content, so that the effect of water content on the shear strength of claystone, increasing water content in rocks tends to decrease shear strength. Water in the pores or fractures can increase pore water pressure and reduce effective normal stress. Shear strength is one of the most important mechanical parameters used to assess soil and rock stability, this parameter is very important in slope stability analysis, foundation planning, and various civil engineering and mining applications. Therefore, this study was conducted to determine whether the water content in rocks can affect the strength of rocks in receiving shear forces. The method used in this study is more quantitative and specific to the effect of water content on the shear strength of claystone in this area. Increasing water content in rocks tends to reduce shear strength. This study was conducted by taking claystone samples from several locations in the Kutai Basin. Data collection in the form of primary data and secondary data for testing physical properties and testing mechanical properties, in testing physical properties, the water content value will be taken as supporting data which is one of the factors that affect rock strength, in testing mechanical properties, claystone shear strength data will be taken. From the results of the physical properties test calculations, the air content in each Formation is obtained, namely, in the Kampungbaru Formation the minimum air content value is 15.54% and the maximum is 20.17%, in the Balikpapan Formation the minimum air content value is 10.21% and the maximum is 12.88%, in the Palaubalang Formation the minimum air content value is 10.49% and the maximum is 22.87%. The results of the strength of the claystone in receiving shear forces in the Kutai Basin are the Muara Jawa location 0.486MPa, Tanah Datar location 0.500 MPa, Sanga-sanga location 0.333 MPa, Muara Badak location 0.269, Air Putih location 0.711MPa, Mugirejo location 0.021 MPa and Lempake location 0.092 MPa.

Keywords: Basin Kutai, Water Content, Cohesion, Shear Strength.

Abstrak. Di wilayah Cekungan Kutai, perubahan musiman seperti curah hujan tinggi dapat meningkatkan kadar air tanah secara signifikan, sehingga pengaruh kadar air terhadap kuat geser batulempung, peningkatan kadar air dalam batuan cenderung menurunkan kuat geser. air yang berada dalam pori-pori atau rekahan dapat meningkatkan tekanan air pori dan menurunkan tegangan normal efektif. Kuat geser merupakan salah satu parameter mekanik paling penting yang digunakan untuk menilai kestabilan tanah dan batuan, parameter ini sangat menentukan dalam analisis kestabilan lereng, perencanaan fondasi, serta berbagai aplikasi teknik sipil dan pertambangan. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah kadar air di dalam batuan dapat mempengaruhi kekuatan batuan dalam menerima gaya geser. Metode yang digunakan pada kajian ini lebih bersifat kuantitatif dan spesifik terhadap pengaruh kadar air terhadap kekuatan geser batulempung di wilayah ini. peningkatan kadar air dalam batuan cenderung menurunkan kuat geser. Penelitian kali ini dilakukan dengan mengambil sampel batulempung dari beberapa lokasi di Cekungan Kutai. Pengambilan data berupa data primer dan data sekunder untuk pengujian sifat fisik dan pengujian sifat mekanik, pada pengujian sifat fisik akan diambil nilai kadar air sebagai data pendukung yang menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan batuan, pada uji sifat mekanik akan diambil data kekuatan geser batulempung. Dari hasil perhitungan uji sifat fisik, didapatkan kadar air pada masing-masing Formasi yaitu, pada Formasi Kampungbaru didapatkan nilai kadar air minimal 15,54% dan maksimal 20,17%, pada Formasi Balikpapan didapatkan nilai kadar air minimal 10,21% dan maksimal 12,88%, pada Formasi Palaubalang didapatkan nilai kadar air minimal 10,49% dan maksimal 22,87%. Hasil kekuatan batulempung dalam menerima gaya geser pada Cekungan Kutai yaitu lokasi Muara jawa 0,486MPa, lokasi Tanah Datar 0,500 MPa, lokasi Sanga-sanga 0,333 MPa, lokasi Muara Badak 0,269, lokasi Air Putih 0,711MPa, lokasi Mugirejo 0,021 MPa dan lokasi Lempake 0,092 MPa.

Kata Kunci : Cekungan Kutai, Kadar Air, Kohesi, Kuat Geser

1. LATAR BELAKANG

Di wilayah Cekungan Kutai, perubahan musiman seperti curah hujan tinggi dapat meningkatkan kadar air tanah secara signifikan, sehingga pengaruh kadar air terhadap kuat geser batulempung menjadi isu penting, namun demikian, masih diperlukan kajian lebih lanjut yang bersifat kuantitatif dan spesifik terhadap pengaruh kadar air terhadap kekuatan geser batulempung di wilayah ini, khususnya berdasarkan karakteristik lokal formasi-formasi batuan di Kalimantan Timur.

Secara umum, peningkatan kadar air dalam batuan cenderung menurunkan kuat geser. air yang berada dalam pori-pori atau rekahan dapat meningkatkan tekanan air pori dan menurunkan tegangan normal efektif, yang merupakan salah satu komponen utama dalam persamaan kuat geser Mohr-Coulomb. Selain itu, air juga dapat melemahkan ikatan antar partikel, terutama pada batuan yang mengandung mineral lempung, sehingga menyebabkan penurunan kohesi.

Kuat geser merupakan salah satu parameter mekanik paling penting yang digunakan untuk menilai kestabilan tanah dan batuan. Parameter ini sangat menentukan dalam analisis kestabilan lereng, perencanaan fondasi, serta berbagai aplikasi teknik sipil dan pertambangan. Kuat geser batuan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis batuan, tingkat pelapukan, struktur internal, dan kondisi kadar air di dalam batuan tersebut.

Penelitian kali ini dilakukan dengan mengambil sampel batulempung dari beberapa lokasi di Cekungan Kutai. Pengambilan data berupa data primer dan data sekunder dari pengujian sifat fisik dan pengujian sifat mekanik, pada pengujian sifat fisik akan di ambil nilai kadar air sebagai data pendukung yang menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan batuan, pada uji sifat mekanik akan diambil data kekuatan geser batulempung. Dari data tersebut kemudian dilakukan analisis apakah kadar air di dalam batuan dapat mempengaruhi kekuatan batuan dalam menerima gaya geser.

2. KAJIAN TEORITIS

Geologi Regional

Berdasarkan titik koordinat yang telah dilakukan pada setiap lokasi pengambilan sampel kemudian dibuat pada peta geologi lembar samarinda oleh Supriatna (1995), dan diketahui lokasi pengambilan sampel batuan lempung berada pada formasi balikpapan dan formasi kampungbaru.

Definisi Batuan

Batuan (*Rock*) adalah bahan padat bentukan alam yang umumnya tersusun oleh kumpulan atau kombinasi dari satu macam mineral atau lebih. Berbagai definisi batuan sebagai objek dari mekanika batuan telah diberikan oleh para ahli dari berbagai disiplin ilmu yang saling berhubungan. Berikut adalah beberapa definisi dari batuan (Rai, dkk. 2013)

Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan merupakan sifat batuan yang dapat dilihat secara langsung terhadap fisik batuan, atau sifat fisik merupakan sifat batuan dalam keadaan asli. Menurut *International Society for Rock Mechanic Suggested Methods* (1977) Kehadiran pori-pori pada bahan material batuan mengurangi kekuatannya, dan meningkatkan deformabilitasnya. Fraksi volume pori yang kecil dapat menghasilkan efek mekanis yang cukup besar. Informasi tentang sifat keropos bahan batuan sering dihilangkan dari deskripsi petrologi, tetapi diperlukan jika deskripsi ini digunakan sebagai panduan untuk kinerja mekanik. Batupasir dan batuan karbonat khususnya terjadi dengan kisaran luas porositas dan karenanya bersifat mekanik; kondi suhu tinggi batu yang telah dilemahkan oleh proses pelapukan juga memiliki porositas yang tinggi. Sebagian besar batuan memiliki kerapatan butir yang sama dan karenanya memiliki nilai porositas dan kerapatan kering yang sangat berkorelasi. Batuan dengan kepadatan rendah biasanya sangat keropos. Oleh karena itu, seringkali cukup mengambil nilai untuk porositas saja, tetapi deskripsi lengkap membutuhkan nilai untuk porositas dan massa jenis.

Direct Shear Test

Secara umum *Direct Shear Test* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat batas kemampuan dari suatu batuan untuk menahan beban yang diterima untuk bergeser. Menurut Standar *International Society for Rock Mechanic Suggested Methods* (2014), *Direct Shear Test* merupakan suatu metode yang disarankan untuk mengetahui bidang diskontinuitas yang terjadi pada batuan. Diskontinuitas dapat berasal dari lingkungan geologi. Terlepas dari asalnya, diskontinuitas memainkan peran penting dalam perilaku massa batuan. Dalam perilaku batuan, beberapa proyek rekayasa batuan melibatkan lereng, penggalian permukaan dan berupa terowongan bawah tanah. Untuk mengetahui bidang diskontinu tersebut maka dilakukanlah evaluasi geser kekuatan batuan untuk mengetahui seberapa kuat kekuatan geser yang terjadi. Perkiraan kekuatan geser diperoleh dari pengujian *Direct Shear Test* karena secara inheren memperhitungkan efek skala. Menurut standar *International Society for Rock Mechanic Suggested Methods* (2014) secara konvensional, pengujian geser langsung telah dilakukan dengan

menggunakan beban normal pada bidang diskontinu. Terdapat masalah dimana tegangan normal tidak tetap konstan saat terjadi luncuran (*sliding*). Setiap terjadi pelebaran bidang diskontinu yang dibatasi saat terjadi luncuran, tegangan normal pada permukaan geser mungkin berbeda. Untuk masalah ini kekakuan normal konstan sangat cocok dilakukan pengujian kuat geser langsung.

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Geser Batuan

Faktor intrinsik merupakan faktor yang menunjukkan karakteristik internal batuan, terdiri dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang diperoleh dari uji geser langsung. Faktor Ekstrinsik merupakan faktor yang berasal dari lingkungan batuan baik yang alami maupun tidak serta yang dapat dikontrol maupun yang tidak dapat dikontrol oleh manusia. Faktor-faktor tersebut antara lain: tegangan normal, keberadaan dan tekanan air, mineralogi dan ukuran butir, kekasaran permukaan geser, banyaknya bidang diskontinu, keberadaan material pengisi pada rekahan, laju pembebahan geser, tingkat kerusakan contoh batuan dan ukuran contoh batu uji. Berikut merupakan penjelasan bagian dari faktor ekstrinsik menurut Rai, dkk (2013)

3. METODE PENELITIAN

Di dalam melaksanakan penelitian ini, Penulis menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya didapat pendekatan penyelesaian masalah. Sehingga dilakukan dalam beberapa tahapan yang meliputi tahap pra lapangan, tahap lapangan, dan tahap pasca lapangan.

Pra Lapangan

Tahapan pra lapangan adalah tahapan awal yang perlu dilakukan atau dipersiapkan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian secara langsung atau turun ke lapangan. Adapun beberapa tahap pra lapangan yaitu sebagai berikut:

- **Studi Literatur**

Tahap awal sebelum melakukan penelitian ini adalah studi literatur. Studi literatur ini meliputi berbagai literatur dari buku, jurnal, dan juga hasil atau laporan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

- **Observasi Lapangan**

Pada tahap observasi lapangan ini merupakan tahap pencarian masalah yang akan diangkat dalam penelitian. Kegiatan observasi ini sangat berguna sebagai langkah awal untuk memulai proses pengambilan data.

- **Penentuan Lokasi Pengamatan**

Penentuan lokasi pengamatan dengan pertimbangan yang memiliki perencanaan dan penjadwalan.

- Peralatan dan bahan uji di laboratorium

Peralatan yang di gunakan dalam penelitian kali ini merupakan properti dari laboratorium teknologi mineral dan batubara dimana telah dicek kondisinya. Adapun peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian kali ini, yaitu:

- Peralatan:

- Mesin Potong, untuk memotong contoh sesuai bentuk yang dibutuhkan.
- Mesin geser, untuk memberikan tekanan geser.
- Dial gauge, untuk mengukur nilai axial selama pengujian berlangsung.
- Alat ukur (meteran, penggaris, dan jangka sorong), untuk mengukur dimensi contoh.
- Oven, untuk mengeringkan contoh.
- Neraca analitik, untuk menimbang berat contoh dalam uji sifat fisik.
- Cetakan beton, untuk membuat cetakan beton sebagai penyangga sampel batuan.

- Bahan

- Sampel batulempung
- *Aluminium Foil*, untuk membungkus batuan agar menjaga kondisi sampel batuan tetap segar hingga dilakukan kegiatan preparasi.
- Plastik sampel, juga digunakan untuk membungkus sampel batuan.
- Semen, Pasir dan Air sebagai campuran beton untuk penyangga sampel batulempung.

Analisis Data

Melalui penelitian ini, dilakukan pengujian laboratorium terhadap sampel batuan. Setiap titik diuji terhadap berbagai tingkat tegangan normal untuk mendapatkan nilai kuat geser yang representatif, hasil nilai dari uji kuat geser yang telah di peroleh dari pengujian *direct shear test* kemudian akan di analisis menggunakan kriteria Mohr-Coulomb untuk mengetahui perbedaan sudut geser dalam dan kohesi pada tiap titik lokasi penelitian pengambilan sampel dari masing-masing setiap formasi, dan juga di buatkan grafik perbandingan berdasarkan masing masing titik lokasi pengambilan sampel.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

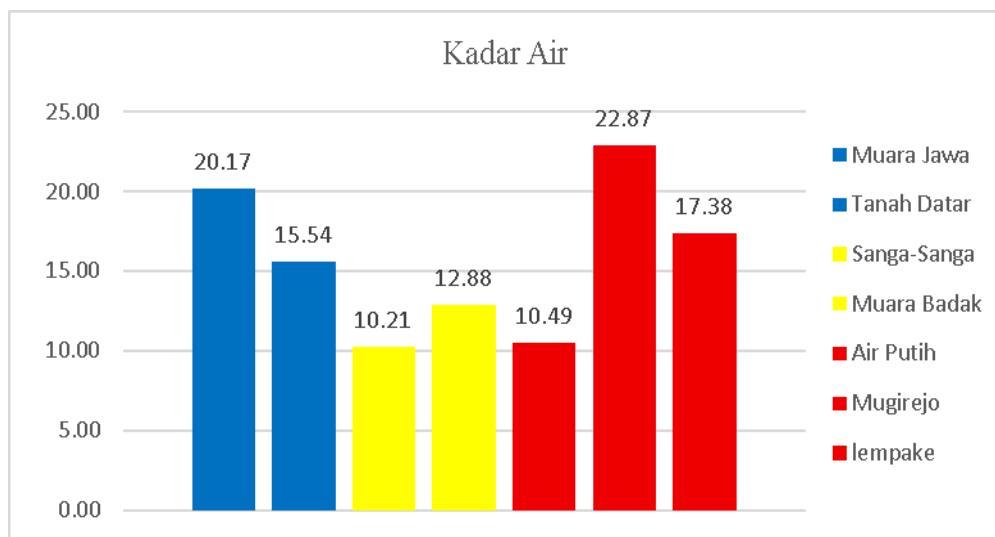
Sifat Fisik

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik di laboratorium dan pengumpulan data uji sifat fisik dari penelitian sebelumnya didapatkan hasil nilai kadar air rata-rata yang ditampilkan pada tabel berikut ini.

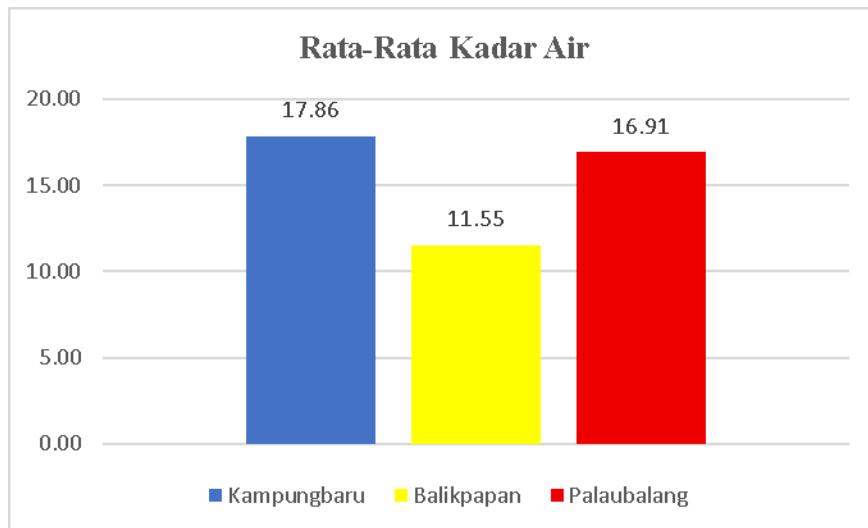
Tabel 1 Hasil uji Sifat Fisik Batulempung Pada Cekungan Kutai

no	sampel	Kadar Air(%)	rata-rata kadar air (%)	densitas gr/cm3	rata-rata densitas gr/cm3	Lokasi	Formasi
1	KBMJ	20.17	17.86	1.23	1.25	Muara Jawa	Kampungbaru
2	KBTD	15.54		1.26		Tanah Datar	
3	BPSS	10.21	11.55	1.32	1.30	Sanga-sanga	
4	BPMB	12.88		1.27		Muara Badak	Balikpapan
5	PB1	10.49		2.24		Air Putih	
6	PB2	22.87	16.91	1.79	1.95	Mugirejo	Palaubalang
7	PB3	17.38		1.83		Lempake	

Pada gambar 1 dan gambar 1 dapat diamati bahwa hasil nilai kadar air batulempung di Cekungan kutai sangat bervariasi antar Formasi dan lokasi pengambilan sampel. Hal ini mengindikasikan adanya tingkatan pelapukan, serta karakteristik pori dan kepadatan dari masing-masing batulempung. Pada Formasi Kampungbaru menunjukkan kadar air minimal 15% dan maksimal 20% dengan rata-rata kadar air yaitu 17,86%. Pada Formasi Balikpapan menunjukkan kadar air minimal 10,21% dan maksimal 12,88% dengan rata-rata kadar air yaitu 11,56%. Pada Formasi Palaubalang menunjukkan kadar air minimal 10,49% dan maksimal 22,87% dengan rata-rata kadar air yaitu 16,91%.



Gambar 1 Grafik Kadar Air Pada Cekungan Kutai



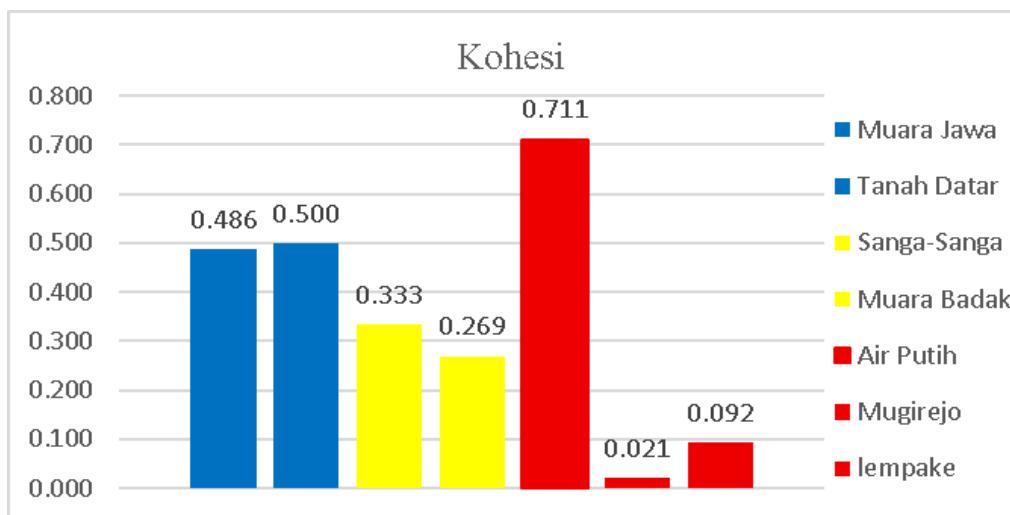
Gambar 2 Grafik Rata-rata Kadar Air

Nilai Kekuatan Geser Cekungan kutai

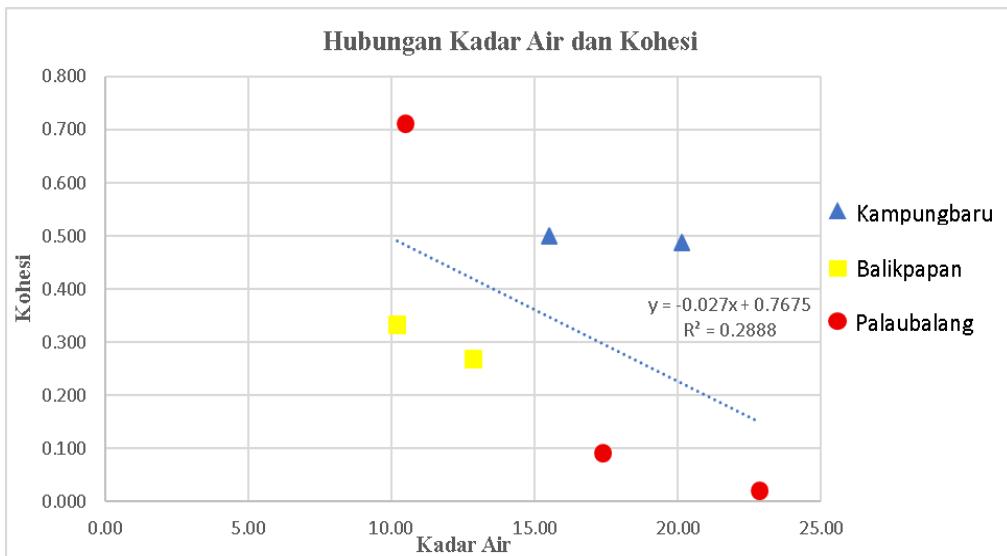
Berdasarkan hasil pengujian kuat geser di laboratorium dan pengumpulan data hasil uji kuat geser dari penelitian sebelumnya didapatkan hasil nilai kuat geser yang ditampilkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2 Hasil Nilai Kuat Geser Batulempung Cekungan Kutai

no	sampel	Material	Kohesi (Mpa)	Lokasi	Formasi
1	KBMJ	Clay	0.486	Muara Jawa	Kampungbaru
2	KBTD	Clay	0.500	Tanah Datar	
3	BPSS	Clay	0.333	Sanga-sanga	Balikpapan
4	BPMB	Clay	0.269	Muara Badak	
5	PB1	Clay	0.711	Air Putih	Palaubalang
6	PB2	Clay	0.021	Mugirejo	
7	PB3	Clay	0.092	Lempake	



Gambar 3 Grafik Nilai Kohesi Batulempung Cekungan Kutai



Gambar 4 Kurva hubungan Kohesi dan Kadar Air

Pada tabel 3 dan gambar 4 menggambarkan nilai kekuatan geser batulempung pada area Cekungan Kutai pada masing-masing Formasi, yang mana pada Formasi Kampungbaru didapatkan hasil nilai kohesi pada masing-masing titik lokasi yaitu, pada lokasi Muara Jawa didapatkan nilai kohesi sebesar 0,486 MPa, sedangkan pada lokasi Tanah Datar didapatkan nilai kohesi 0,500 MPa jika di hubungkan dengan kadar air yang terdapat pada masing-masing lokasi tingginya kadar air pada lokasi Muara Jawa sebesar 20,17% sehingga menurunkan nilai kohesinya. Pada Formasi Balikpapan didapatkan nilai kohesi pada masing-masing lokasi yaitu pada lokasi Sanga-sanga 0,333 MPa, lokasi Muara Badak 0,269 MPa dan lokasi 1 0,897 MPa, secara umum dari lokasi Sanga-sanga dan Muara Badak terlihat penurunan kohesi seiring peningkatannya kadar air, namun pada lokasi Loa Buah memiliki kadar kohesi tertinggi dengan kadar air tertinggi, hal ini mengindikasikan bahwa sampel batulempung pada lokasi Loa Buah memiliki densitas atau kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan sampel lokasi Sanga-sanga dan lokasi Muara Badak. Pada Formasi Palaubalang terlihat jelas bahwa penurunan nilai kohesi pada masing masing lokasi seiring dengan naiknya kadar air pada masing-masing lokasi, kohesi pada lokasi 2 yaitu 0,711 MPa turun menjadi 0,021 MPa ketika kadar air meningkat pada lokasi 2 10,49% menjadi 17,38%. Ini membuktikan bahwa kadar air dapat melemahkan ikatan antar partikel yang artinya mengurangi kekuatan batuan dalam menerima gaya geser.

Pada gambar 4 menunjukkan hubungan antara kadar air dan nilai kohesi pada batulempung dari tiga Formasi pada area Cekungan Kutai, setiap titik pada grafik mempresentasikan hasil uji kuat geser langsung terhadap sampel batulempung dengan kadar air tertentu. Nilai R pada garis linier yang rendah membuktikan bahwa hubungan antara kadar air terhadap kohesi lemah. Ini juga

membuktikan bahwasanya bukan hanya kadar air yang menjadi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat geser batuan. Meski demikian jika diperhatikan grafik pada masing-masing formasi justru hubungan kadar air dengan kohesi itu kuat, contoh pada Formasi Palaubalang terlihat pada grafik adanya penurunan kohesi seiring dengan meningkatnya kadar air, nilai kohesi menurun dari 0,711 MPa pada kadar air 10% menjadi 0,092 MPa dan 0,021 pada kadar air di atas 20%. Ini membuktikan bahwasanya hubungan kadar air dengan kekuatan batuan kuat pada masing-masing Formasi pada Cekungan Kutai.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan pengumpulan data sekunder uji sifat fisik didapatkan nilai kadar air pada Area Cekungan Kutai yaitu, pada Formasi Kampungbaru didapatkan nilai kadar air minimal 15,54% dan maksimal 20,17%, pada Formasi Balikpapan didapatkan nilai kadar air minimal 10,21% dan maksimal 12,88%, pada Formasi Palaubalang didapatkan nilai kadar air minimal 10,49% dan maksimal 22,87%.
- Berdasarkan hasil pengujian kuat geser batulempung dan pengumpulan data sekunder hasil uji kuat geser pada area Cekungan Kutai didapatkan hasil kekuatan batulempung dalam menerima gaya geser yaitu lokasi Muara jawa 0,486MPa, lokasi Tanah Datar 0,500 MPa, lokasi Sangasanga 0,333 MPa, lokasi Muara Badak 0,269, lokasi Air Putih 0,711MPa, lokasi Mugirejo 0,021 MPa dan lokasi Lempake 0,092 MPa.

Saran

- Adapun saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:
- Sebaiknya pada penelitian selanjutnya melakukan penelitian faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi kekuatan geser batuan.
- Sebaiknya pada penelitian selanjutnya diharapkan peneliti menambah lokasi pengambilan sampel pada area Cekungan Kutai agar data diperoleh lebih akurat.

DAFTAR REFERENSI

- Arif, I. (2016). *Geoteknik tambang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- ASTM. (2020). *ASTM D3080/D3080M-11: Standard test method for direct shear test of soil/rock consolidated drained conditions*. ASTM International.
- Dosen dan Asisten Teknik Pertambangan Unmul. (2018). *Mekanika batuan*. Universitas Mulawarman.
- Gamar, L. P. (2020). *Studi perbandingan nilai kuat geser batupasir berdasarkan kondisi kering, kondisi natural, dan kondisi jenuh pada Formasi Balikpapan menggunakan metode direct shear di daerah Samarinda Provinsi Kalimantan Timur* [Skripsi, Universitas Mulawarman].
- Hoek, E. (2007). *Shear strength of discontinuities*. Rocscience.
- Irfan. (2022). *Studi perbandingan nilai kuat geser batulempung berdasarkan kondisi jenuh, kondisi natural, dan kondisi kering Formasi Pulaubalang menggunakan metode direct shear di Kalimantan Timur* [Skripsi, Universitas Mulawarman].
- International Society for Rock Mechanics (ISRM). (1997). *Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties*.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM). (2014). *Suggested method for laboratory determination of the shear strength of rock joint: Revised version*.
- Kurniawan, R., & Yuniarto, B. (2016). *Analisis regresi: Dasar dan penerapannya dengan R*. Jakarta: Kencana.
- Made Astawa Rai, Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2013). *Mekanika batuan*. Bandung: ITB Press.
- Nuryadi, N., Astuti, D., Utami, S., & Budiantara, M. (2017). *Dasar-dasar statistik penelitian*. Yogyakarta: Sibuku Media.
- Peng, S., & Jincai, Z. (2007). *Engineering geology for underground rocks* (pp. 94–95). Springer.
- Purwanto. (2009). *Studi efek skala pada uji geser* [Tesis, Institut Teknologi Bandung].
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2013). *Mekanika batuan*. Bandung: ITB Press.
- Rumbiak, V., Avelar, I. N. D. E. S., Da Costa, J. O. A., & Cahyono, Y. D. G. (2020). Pengaruh uji kuat geser terhadap batu andesit. *Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*.
- SNI 2824:2011. (2011). *Cara uji geser langsung batu*. Badan Standardisasi Nasional.

- Sinaga, D. F. (2021). *Studi kuat geser batuan plastisitas rendah untuk mendesain lereng disposal kegiatan penambangan di wilayah Samarinda dan Kutai Kartanegara Kalimantan Timur* [Skripsi, Universitas Mulawarman].
- Supriatna, S., Sukardi, R., & Rustandi, E. (1995). *Peta geologi lembar Samarinda, Kalimantan*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Wardana, N. K. (2019). Analisis kestabilan lereng berdasarkan kekuatan geser massa batuan terhadap perubahan kandungan air pada tambang batubara di area Blok Menyango. *Mining Journal Eksploration*, 7(2), 71–77.
- Yanti, T. (2018). *Diktat mekanika tanah: Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb*. Universitas Pembangunan Jaya.