



Studi Analisis Pengaruh Parameter Sifat Fisik Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Conto Batuan Andesit

Evie Noviany Dias ^{*1}, Bryan Caesar M. Beko ¹, Ratih Hardini Kusuma Putri ¹

¹ Insitutut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya

*e-mail: eviediasz3620@gmail.com,

Info Artikel

Diserahkan:
21 Juli 2022
Direvisi:
31 Juli 2022
Diterima:
2 Agustus 2022
Diterbitkan:
6 Agustus 2022

Abstrak

Dalam penentuan stabilitas lereng pada kegiatan penambangan, parameter sifat fisik dan kuat tekan uniaksial memiliki peranan penting dan saling berhubungan untuk rekayasa. Penelitian ini menggunakan conto batuan Andesit pada lokasi Tulungagung, Jawa Timur dengan tujuan mengkaji pengaruh parameter sifat fisik terhadap kuat tekan uniaksial dalam peranannya terhadap stabilitas lereng. Metode penelitian meliputi uji sifat fisik, uji kuat tekan uniaksial dan pengolahan data di laboratorium. Dengan menggunakan metode statistik yakni regresi linear dalam analisis. Hasil penelitian ini menunjukkan parameter sifat fisik yang paling berpengaruh terhadap nilai UCS adalah porositas dengan nilai R^2 adalah 0,125. Sedangkan parameter kadar air akan mempengaruhi nilai *modulus young* dengan nilai R^2 adalah 0,8532. Sehingga, kekuatan massa batuan akan meningkat apabila nilai porositasnya mengalami penurunan. Analisis dari penelitian dapat berkaitan dengan penentuan kekuatan massa batuan yang berpengaruh dalam merekayasa kemantapan lereng tambang (stabilitas lereng) pada lokasi penelitian.

Kata kunci: sifat fisik, kuat tekan uniaksial, stabilitas lereng

Abstract

In determining slope stability in mining activities, parameters of physical properties and uniaxial compressive strength have an important and interrelated role for engineering. This study uses Andesite rock samples at the Tulungagung location, East Java with the aim of studying the effect of physical properties parameters on uniaxial compressive strength in their role on slope stability. The research method includes physical properties test, uniaxial compressive strength test and data processing in the laboratory. By using statistical methods, namely linear regression in the analysis. The results of this study indicate that the most influential physical property parameter on the UCS value is porosity with an R^2 value of 0.125. While the water content parameter will affect the value of Young's modulus with R^2 value is 0.8532. Thus, the strength of the rock mass will increase if the porosity value decreases. The analysis of the research can be related to the determination of the strength of the rock mass that influences the engineering of mine slope stability at the research site.

Keywords: physical properties, uniaxial compressive strength, slope stability

1. Pendahuluan

Sifat fisik dan kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive strength*) merupakan salah satu parameter paling berpengaruh dalam keperluan rekayasa batuan dan stabilitas lereng [1]. Parameter sifat fisik batuan, seperti porositas, kadar air dan derajat kejenuhan dapat digunakan untuk permodelan dan

pengidentifikasi masalah dalam geohidrologi tambang, serta perancangan jenis penggalian maupun penanganan batuan. Kuat tekan uniaksial batuan digunakan dalam tambang terbuka dengan penentuan metode pemberaian batuan pada penambangan, yang berupa data *uniaxial compressive strength*, *modulus young*, dan *poisson ratio*. *Modulus young* dan *poisson ratio* dapat digunakan dengan parameter sifat fisik, seperti bobot isi batuan, densitas dan porositas sebagai dasar dalam permodelan geomekanik dan desain teknik geologi [2]. Hal ini dikarenakan sifat fisik dan kuat tekan memiliki kaitan yang erat dan dapat memberikan pengaruh terhadap kestabilan geoteknik lereng terbuka maupun lubang galian pada tambang bawah tanah.

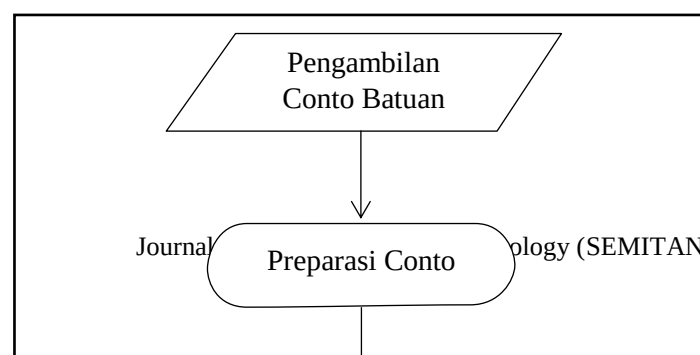
Dalam keperluan rekayasa pada ilmu mekanika batuan, kuat tekan uniaksial digunakan sebagai parameter dalam mengevaluasi kekuatan batuan. Kekuatan batuan merupakan kriteria yang dipakai pada klasifikasi batuan dalam pengoptimalan konstruksi dan desain struktur permukaan maupun bawah permukaan. Secara umum, kekuatan, deformabilitas dan kekakuan batuan memiliki kaitan erat dengan dengan parameter sifat fisik, yaitu porositas. Menurut [3], porositas adalah kemampuan batuan dalam menyerap fluida pada sebuah formasi atau ruang-ruang yang sepenuhnya terisi oleh fluida diantara zat padat maupun mineral di dalam batuan. Porositas dapat terbentuk oleh rongga-rongga yang berada diantara butiran mineral yang belum saling mengunci, dengan bentuk, ukuran dan penyebaran yang berbeda namun akan saling berhubungan atau terputus [4]

Penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, telah banyak menjelaskan tentang porositas, derajat kejenuhan dan kadar air terhadap kekuatan batuan, tanah maupun campurannya. Bahkan ada yang membahas salah satu dari parameter sifat fisik seperti derajat kejenuhan dan/atau kadar air terhadap perbedaan nilai kuat tekan uniaksial pada batuan dengan tujuan mencari hubungan dan pengaruh untuk membuktikan adanya korelasi yang kuat berdasarkan regresi linear. Namun analisis keseluruhan parameter sifat fisik terhadap pengaruh ataupun kaitannya dengan kuat tekan uniaksial dan peranannya dalam rekayasa mekanika batuan jarang dibahas maupun dilaporkan. Penelitian yang dilakukan menggunakan conto batuan Andesit dari lokasi PT. Pembangunan Perumahan di daerah Tulungagung, Jawa Timur bertujuan untuk mengkaji pengaruh tiap parameter sifat fisik terhadap kuat tekan uniaksial.

2. Metodologi

Penelitian yang dilakukan untuk menganalisis pengaruh parameter sifat fisik terhadap kuat tekan uniaksial batuan, terdapat beberapa tahapan yang digunakan sebelum pengolahan dan analisis data. Metode yang dimaksud antara lain: preparasi conto, uji sifat fisik dan uji kuat tekan uniaksial. Conto yang dipakai dalam penelitian adalah komoditi batuan yakni batuan andesit yang diperoleh dari lokasi PT. Pembangunan Perumahan di Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur. Conto batuan diambil dengan dimensi 1×1×1 meter dalam bentuk bongkah hasil patahan. Selanjutnya dilakukan pemboran untuk mendapatkan conto inti silinder dengan diameter 43 cm yang akan dipreparasi lagi untuk digunakan sebagai sampel dalam pengujian sifat fisik dan kuat tekan uniaksial di laboratorium.

Pengujian yang dilakukan menggunakan dua sampel batuan untuk uji sifat fisik dan dua sampel batuan untuk uji kuat tekan uniaksial, sehingga total keseluruhan sampel pada pengujian adalah empat sampel. Sampel batuan akan ditandai sebelum pengujian dengan tujuan untuk membedakan atau memberikan tanda kepada batuan yang akan diuji sehingga hasilnya tidak menimbulkan kekeliruan. Sampel pertama untuk uji sifat fisik berasal dari bongkahan yang sama dengan sampel pertama untuk uji kuat tekan uniaksial dan ditandai dengan ITATS_1 (STA_3+000). Sedangkan sampel kedua untuk uji sifat fisik berasal dari bongkahan yang sama dengan sampel kedua untuk uji kuat tekan uniaksial dan ditandai dengan ITATS_2 (STA_6+850).



Gambar 1. Skema Alur Metode Penelitian

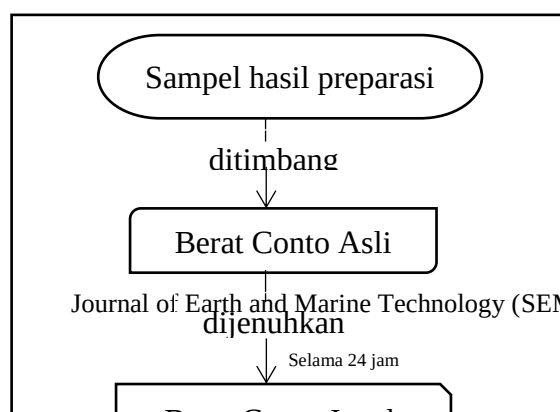
2.1. Preparasi Conto

Tahapan preparasi meliputi pemotongan conto batuan untuk menyesuaikan pada prosedur *International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM)* dengan bentuk conto yang simetris dan permukaan yang rata (boleh dihaluskan). Pada pengujian sifat fisik, conto batuan dipotong menjadi bentuk tidak beraturan (*irreguler*) dengan ukuran menyesuaikan bentuk wadah atau cawan yang dipakai dalam pengujian. Sedangkan pada pengujian kuat tekan uniaksial, conto batuan dipotong berbentuk silinder dengan ukuran tinggi (L) menyesuaikan perbandingan diameter (D) pada prosedur *ISRM* yakni $L = 2 - 2,5D$ dan mengikuti ukuran alat uji kuat tekan uniaksial yang digunakan dalam pengujian. Conto batuan yang telah dipotong, kemudian dihaluskan secara manual menggunakan ampelas dengan toleransi ketidakrataan permukaan conto sebesar $\pm 0,1$ mm. Permukaan conto yang cenderung kasar dan tidak rata akan menyebabkan pengurangan pada kekuatan batuan karena tidak semua permukaan conto akan mengalami kontak, sehingga tegangan hanya terjadi pada bagian yang mengalami kontak. Tujuan penghalusan untuk menyamaratakan tegangan pada conto akibat tekanan yang diterima.

2.2. Uji Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik batuan mengacu pada prosedur *International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM)* Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption, and Related Properties and Swelling and Shake-Durability Index Properties [5]. Sampel pada pengujian sifat fisik berbentuk tidak teratur (*irreguler*) yang disebabkan volume sampel batuan dapat diprediksi menggunakan hukum Archimedes tentang gaya apung oleh air, sehingga hanya ukurannya yang disesuaikan dengan wadah (cawan) yang dipakai dalam pengujian.

Berdasarkan prosedur tersebut, alat-alat yang digunakan dalam pengujian antara lain: neraca ohaus untuk menimbang berat sampel, desikator sebagai wadah untuk penjemuran sampel batuan, vacuum sebagai alat penghisap udara didalam desikator, ember yang berisi air untuk menimbang sampel dalam kondisi tergantung di dalam air, dan oven untuk mengeringkan sampel batuan.



Gambar 2. Skema Alur Pengujian Sifat Fisik

Berdasarkan Gambar-2, adapun prosedur pengujian sifat fisik yang dilakukan berdasarkan *ISRM*, sebagai berikut: sampel yang telah dipreparasi ditimbang dengan menggunakan neraca ohaus untuk memperoleh nilai berat conto asli (W_n). Selanjutnya batuan dijenuhkan dalam desikator yang kedap udara guna mengeluarkan udara atau pori kosong dalam batuan selama 24 jam, kemudian ditimbang lagi menggunakan neraca ohaus untuk mendapatkan nilai berat conto jenuh (W_w) dan ditimbang kembali dalam kondisi menggantung diatas air (disimulasikan conto batuan mengapung) untuk memperoleh nilai berat conto jenuh tergantung (W_s). Tahapan akhir adalah pengeringan conto batuan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu 120° , dan ditimbang lagi menggunakan neraca ohaus untuk mendapatkan nilai berat conto kering (W_o). Hasil pengukuran sampel dinyatakan dalam satuan gram (gr).

Parameter-parameter yang diperoleh melalui pengujian sifat fisik batuan antara lain bobot isi asli (*natural density* (ρ_n)) dinyatakan dalam gr/cm^3 , bobot isi kering (*dry density* (ρ_d)) dinyatakan dalam gr/cm^3 , bobot isi jenuh (*saturated density* (ρ_s)) dinyatakan dalam gr/cm^3 , berat jenis semu (*apparent specific gravity* (G_s)), berat jenis asli (*true specific gravity* (G_s)), kadar air asli (*natural water content* (W_c)) dinyatakan dalam %, kadar air jenuh (*saturated water content* (W_s)) dinyatakan dalam %, derajat kejenuhan (*degree of saturation* (S)) dinyatakan dalam %, porositas (*porosity* (n)) dinyatakan dalam %, dan angka pori (*void ratio* (e)). Parameter-parameter tersebut dapat dihitung berdasarkan persamaan (1) sampai persamaan (10).

$$\rho_n = \frac{W_n}{W_w - W_s} \dots\dots\dots (1)$$

$$W_c = \frac{W_n - W_o}{W_o} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

$$\rho_d = \frac{W_o}{W_w - W_s} \dots\dots\dots (2)$$

$$W_s = \frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

$$\rho_s = \frac{W_w}{W_w - W_s} \dots\dots\dots (3)$$

$$S = \frac{W_n - W_o}{W_w - W_o} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

$$G_s = \frac{W_o}{W_w - W_s} \dots\dots\dots (4)$$

$$n = \frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

$$G_s = \frac{W_o}{W_o - W_s} \dots\dots\dots (5)$$

$$e = \frac{n}{1-n} \dots\dots\dots (10)$$

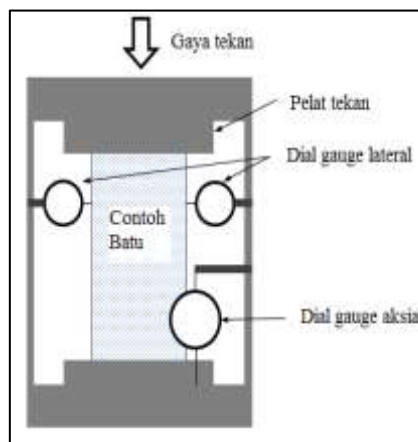
2.3. Uji Kuat Tekan Uniaksial

Pengujian kuat tekan uniaksial mengacu pada prosedur *International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM) Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials*. Sampel ada pengujian kuat tekan uniaksial berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 2 - 2,5 kali diameternya (menyesuaikan ukuran alat uji) untuk menghindari bertemunya tegangan seperti kondisi $L/D = 1$. Diameter sampel harus dilakukan pengukuran hingga mendekati

ketelitian 0,1 mm dengan rata-rata tiap sisi tegak lurus terhadap sumbu utama silinder. Luas permukaan pembebanan harus rata dan paralel tegak lurus dengan pembebanan contoh batuan yang akan diuji.

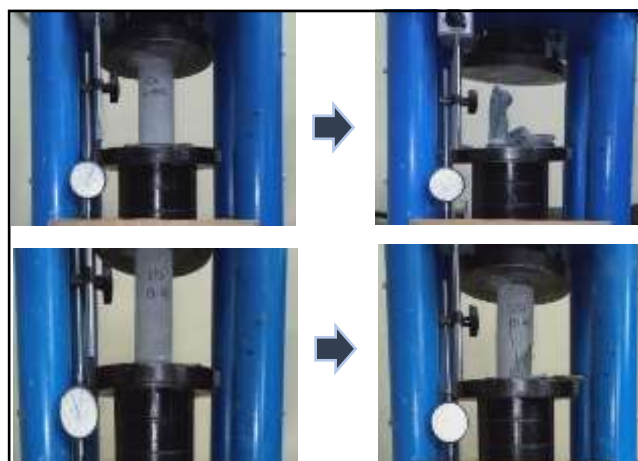
Pengujian kuat tekan uniaksial, menggunakan apparatus yang terdiri atas dua bagian penting, yaitu mesin tekan dan dial gauge. Mesin tekan yang dipakai memiliki kapasitas pembebanan maksimum 1.300 Kn dan memiliki piston penekan hidrolik. Alat pengukur gaya memiliki ketelitian hingga 1 kN. Dial gauge merupakan alat yang dipasang untuk mengukur deformasi aksial dan deformasi lateral yang dialami sampel selama penekanan atau pemberian tekanan. Selain itu, diperlukan juga stopwatch untuk mencatat lamanya waktu selama pembebanan sampel, sehingga laju pembebanannya dapat dihitung.

Adapun prosedur pengujian berdasarkan ISRM sebagai berikut: sampel batuan akan diletakkan ditengah-tengah pelat dasar alat uji. Dial gauge akan dipasang untuk perhitungan deformasi selama pembebanan. Selanjutnya, mesin hidrolik dihidupkan, guna menggerakkan piston untuk menekan pelat ke bawah. Apabila pelat menyentuh bidang kontak sampel, maka perlu penyesuaian agar posisinya sesuai. Dial gauge akan diatur pada posisi angka nol. Pembebanan aksial akan dimulai apabila jarum hitam pada alat mulai bergerak dan stopwatch akan dihidupkan untuk pencatatan waktu.



Gambar 3. Ilustrasi penempatan sampel pada alat uji

Kuat tekan uniaksial diartikan sebagai nilai tekanan ada saat batuan hancur dengan kondisi tekanan pemampatan sama dengan nol. Hasilnya akan terekam dari *software* yang digunakan bersama dengan alat uji kuat tekan uniaksial melalui *record* berupa tegangan maupun regangan yang dihasilkan oleh batuan. Hasil pengujian kuat tekan uniaksial dapat dilihat pada Gambar-4.



Gambar 4. Hasil pengujian kuat tekan uniaksial yang ditandai dengan hancur atau retak pada sampel
Adapun persamaan yang dapat digunakan dalam uji kuat tekan uniaksial, sebagai berikut:

$$\sigma_c = F/A \dots \dots \dots (11)$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \dots \dots \dots (12)$$

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_a} \dots\dots\dots (13)$$

Perhitungan nilai kuat tekan uniaksial dinyatakan dengan persamaan (11). Kuat tekan uniaksial dilambangkan dengan σ_c , gaya yang bekerja saat batuan hancur dilambangkan dengan F, dan luas penampang sampel dilambangkan dengan A. Untuk menghitung luas penampang sampel dapat menggunakan persamaan (12). Diameter sampel dilambangkan D dan π adalah konstanta dengan nilai 3,14 atau 22/7. Perhitungan *modulus young* dinyatakan dalam persamaan (13) yang dinyatakan dalam E, perubahan tegangan dinyatakan dalam $\Delta\sigma$, dan perubahan regangan aksial dinyatakan dalam $\Delta\epsilon_a$.

3. Hasil dan pembahasan

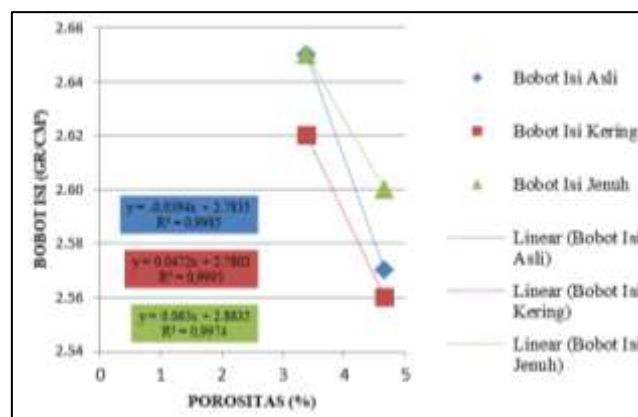
3.1. Hasil Penelitian

Pengujian sifat fisik dan kuat tekan uniaksial telah dilakukan terhadap 4 sampel batuan Andesit, yang terbagi menjadi 2 sampel untuk pengujian sifat fisik dan 2 sampel untuk pengujian kuat tekan uniaksial. Pengujian sifat fisik terhadap sampel Andesit memperoleh data berupa bobot isi asli (gr/cm³), bobot isi kering (gr/cm³), bobot isi jenuh (gr/cm³), kadar air asli (%), derajat kejenuhan (%) dan porositas (%) yang diperoleh dari hasil pengolahan data menggunakan persamaan yang ada, dapat dilihat pada Tabel-1. Pengujian kuat tekan uniaksial terhadap sampel Andesit memperoleh data berupa nilai *uniaxial compressive strength* (MPa) dan nilai *modulus young* (MPa), dapat dilihat pada Tabel-2.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Sifat Fisik Batuan Andesit

Sampel	ITATS_1	ITATS_2	Rata-Rata
Bobot Isi Asli (gr/cm³)	2,65	2,57	2,61
Bobot Isi Kering (gr/cm³)	2,62	2,56	2,59
Bobot Isi Jenuh (gr/cm³)	2,65	2,60	2,63
Kadar Air Asli (%)	1,01	0,42	0,715
Derajat Kejenuhan (%)	77,78	23,08	50,43
Porositas (%)	3,39	4,66	4,025

Tabel-1 menunjukkan nilai rata-rata tiap parameter sifat fisik berdasarkan pengujian yang dilakukan, diantaranya bobot isi asli 2,61 gr/cm³, bobot isi kering 2,59 gr/cm³, bobot isi jenuh 2,63 gr/cm³, kadar air asli 0,715%, derajat kejenuhan 50,43% dan porositas 4,025%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa, besarnya nilai bobot isi batuan dapat dipengaruhi oleh nilai porositas batuan dengan hasil koefisien determinasi dan persamaan yang digunakan seperti pada Gambar-5.

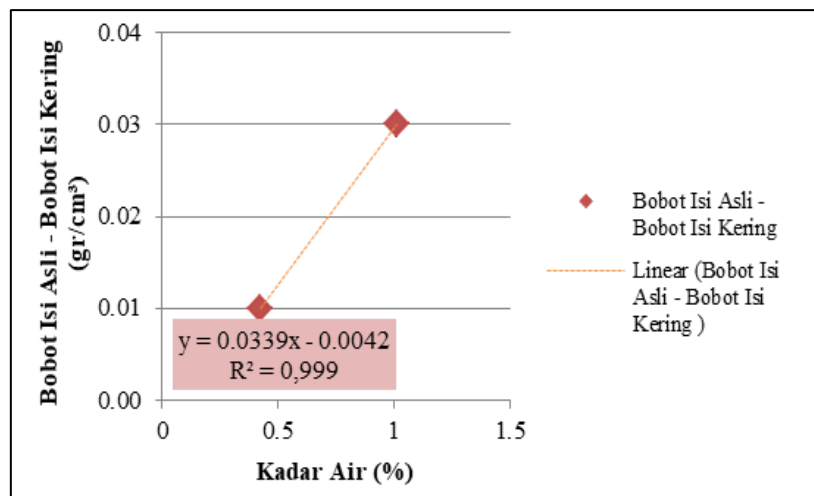


Gambar 5. Korelasi antara porositas (%) dengan bobot isi (gr/cm³)

Berdasarkan Gambar-5, ditunjukkan korelasi linear yang berbanding terbalik antara nilai bobot isi terhadap nilai porositas dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang menunjukkan adanya penurunan garis pada bobot isi ketika porositas mengalami peningkatan nilai. Hubungan antara bobot isi dengan porositas dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi (R^2) pada kondisi asli adalah 0,9985, kondisi kering adalah 0,9993 dan kondisi jenuh adalah 0,9974. Sehingga, nilai persentase pori akan semakin besar, apabila nilai densitas batumannya rendah, terutama pada kondisi yang kering.

Porositas terbentuk dari gabungan mineral dengan ukuran butir yang bervariasi. Batuan Andesit termasuk dalam jenis batuan yang memiliki nilai porositas yang rendah. Persentase kadar air dalam

batuan dapat ditentukan berdasarkan kandungan total air yang terisi di dalam pori dari total berat batuan. Berkurangnya kadar air dalam batuan dapat menyebabkan perubahan dari bobot isi asli menjadi bobot isi kering. Rata-rata bobot isi asli adalah $2,61 \text{ gr/cm}^3$ dan mengalami penurunan sebesar $0,02 \text{ gr/cm}^3$, sehingga menjadi $2,59 \text{ gr/cm}^3$ pada kondisi rata-rata bobot isi kering.

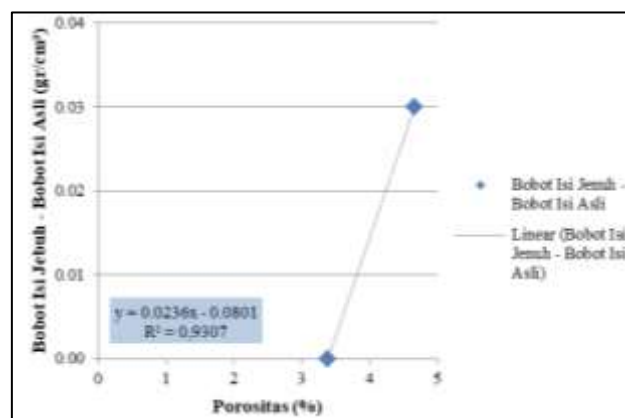


Gambar 6. Korelasi persentase kadar air dengan perbedaan bobot isi asli dan bobot isi kering

Berdasarkan Gambar-6, ditemukan hubungan yang searah dalam korelasi linear antara kadar air dengan selisih nilai atau pengurangan bobot isi asli dengan bobot isi kering yang terlihat dari peningkatan garis bobot isi ketika kadar air mengalami peningkatan. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan dari grafik regresi linear yaitu 0,999. Hal ini dapat menunjukkan bahwa semakin besar selisih antara bobot isi asli dengan bobot isi kering maka kadar air asli dalam batuan akan semakin tinggi. Sehingga dapat dikatakan kandungan air pada batuan yang dihitung persentasenya dalam kadar air melalui pengujian sifat fisik dapat mempengaruhi penurunan nilai bobot isi asli.

Nilai derajat kejenuhan pada penelitian ini memiliki nilai rata-rata yang jauh berbeda dengan parameter sifat fisik lainnya, yaitu 50,43% dengan nilai sampel pertama 77,78 % dan nilai sampel kedua 23,08%. Pada kondisi jenuh, semua pori batuan akan terisi oleh air, sehingga nilai bobot isi jenuh akan lebih tinggi daripada nilai bobot isi asli, dikarenakan pori-pori yang belum terisi oleh air lebih besar. Rata-rata bobot isi asli adalah $2,61 \text{ gr/cm}^3$ dan mengalami peningkatan terhadap bobot isi jenuh sebesar $0,02 \text{ gr/cm}^3$ menjadi $2,63 \text{ gr/cm}^3$.

Daya penyerapan air, menjadi salah satu faktor selain porositas yang perlu dipertimbangkan karena daya penyerapan air biasanya tidak terukur. Batuan akan melakukan penyerapan, ketika bagian permukaannya ditetesi air. Karakteristik penyerapan air, dapat mempengaruhi penambahan nilai bobot isi pada kondisi jenuh. Sehingga, bila pori batuan terisi air dalam kondisi batuan telah dijenuhkan, maka akan memperbesar nilai porositas dan daya serap dari batuan.



Gambar 7. Korelasi persentase porositas dengan perbedaan bobot isi jenuh dan bobot isi asli

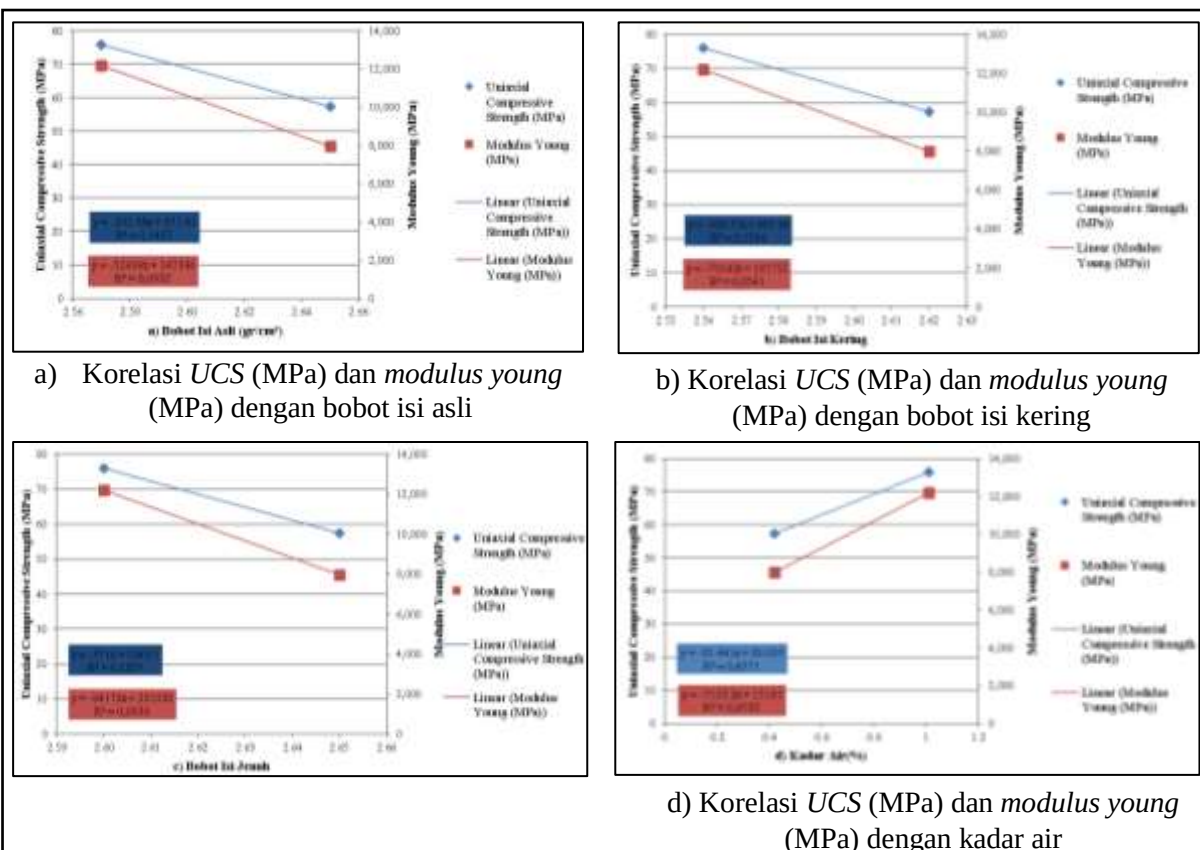
Berdasarkan Gambar-7, ditemukan hubungan yang searah dalam korelasi linear antara porositas dengan selisih nilai atau pengurangan bobot isi jenuh dengan bobot isi asli yang terlihat dari peningkatan garis pada nilai bobot isi ketika terjadi peningkatan nilai porositas. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan grafik regresi linear yaitu 0,9307. Hal ini menunjukkan bahwa, semakin banyak pori yang terisi oleh air dalam kondisi jenuh maka persentase porositasnya akan semakin besar. Apabila pori-pori batuan lebih banyak terisi oleh air akan mengakibatkan butir-butir mineral semakin saling mengunci karena keadaan yang jenuh. Sehingga nilai bobot isi jenuh memiliki hubungan searah dengan nilai porositas batuan. Faktor lain yang berpengaruh adalah daya penyerapan air. Dapat diuji langsung dengan meneteskan volume air yang sama ke permukaan sampel batuan, hingga air masuk ke dalam pori. Agar, dapat diketahui kecepatan penyerapan air oleh batuan dengan nilai yang ditetapkan berdasarkan satuan cm^3 per satuan waktu.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Batuan Andesit

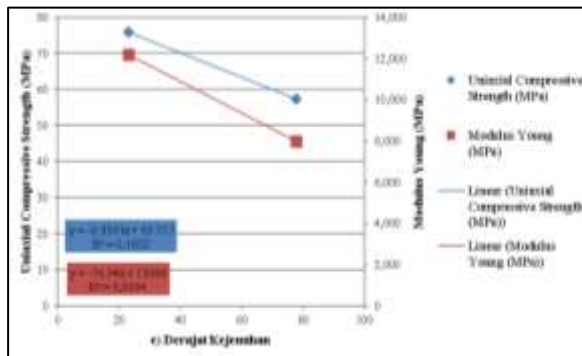
Sampel	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Modulus Young (MPa)
ITATS_1	57,34	7.976,04
ITATS_2	75,89	12.184,64
Rata-rata	66,615	10.080,34

Tabel-2 menunjukkan nilai rata-rata pengujian kuat tekan uniaksial pada batuan Andesit, diantaranya *uniaxial compressive strength* 66,615 MPa, berkisar antara 57,34 MPa – 75,89 MPa dan *modulus young* 10.080,34 MPa, berkisar antara 7.976,04 MPa – 12.184,64 MPa. Nilai UCS didapati dari nilai tegangan akhir pada saat sampel batuan hancur. Nilai kuat tekan uniaksial pada batuan juga dapat dipengaruhi oleh komposisi mineral yang ada di dalamnya. Mineral-mineral yang ada dengan kemampuan mengikat yang tinggi, akan menyebabkan nilai kuat tekan uniaksial menjadi tinggi. Begitu pula sebaliknya, jika kemampuan mengikatnya rendah, maka nilai kuat tekan uniaksial batuan akan rendah.

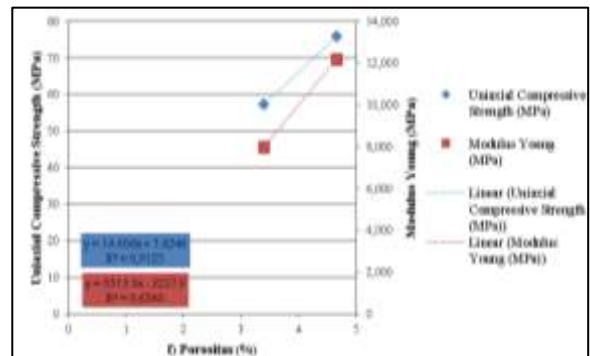
Nilai *modulus young* dipengaruhi oleh tipe batuan dan akan bernilai tinggi apabila diukur tegak lurus dengan arah perlapisan daripada searah. Nilai *modulus young* tiap batuan akan berbeda, karena adanya pengaruh perbedaan formasi batuan dan genesa atau mineral pembentuknya. Dalam perhitungannya, *modulus young* dapat ditentukan dengan membagi nilai rata-rata tegangan dan rata-rata regangan. Sehingga, nilai *modulus young* ditentukan berdasarkan perbandingan tegangan dengan regangan aksial.



c) Korelasi *UCS* (MPa) dan *modulus young* (MPa) dengan bobot isi jenuh



e) Korelasi *UCS* (MPa) dan *modulus young* (MPa) dengan derajat kejenuhan



f) Korelasi *UCS* (MPa) dan *modulus young* (MPa) dengan porositas

Gambar 9. Korelasi *UCS* (MPa) dan *Modulus Young* dengan Parameter Sifat Fisik

Berdasarkan Gambar-9, yang menunjukkan grafik regresi linear antara *UCS* dan *modulus young* dengan tiap parameter sifat fisik, ditemukan adanya korelasi antara *uniaxial compressive strength* (*UCS*) dan *modulus young* dengan parameter sifat fisik dengan nilai koefisien determinasi (R^2) pada grafik yang memiliki pengaruh yang berbeda-beda tiap parameternya. Hal ini ditandai peningkatan maupun penurunan garis antara parameter sifat fisik terhadap *UCS* dan *modulus young*.

Grafik dengan garis yang mengalami penurunan menandakan hubungan yang berbanding terbalik, seperti pada parameter bobot isi asli, bobot isi kering, bobot isi jenuh dan derajat kejenuhan. Semakin tinggi nilai parameter-parameter tersebut, maka nilai *UCS* dan *modulus young* akan lebih rendah. Begitupula pada parameter kadar air dan porositas yang memiliki grafik peningkatan garis. Sehingga semakin tinggi nilai parameter tersebut, maka nilai *UCS* dan *modulus young* juga akan tinggi.

3.2. Pembahasan

Nilai koefisien determinasi yang berada diatas angka 0,5 menandakan bahwa parameter tersebut yang selanjutnya disebut sebagai variabel independen, dapat memberikan pengaruh yang besar dan detail terhadap parameter lainnya yang disebut sebagai variabel dependen. Dengan kata lain, variabel-variabel tersebut memiliki hubungan searah. Nilai variabel dependen akan semakin tinggi, jika nilai variabel independen juga semakin tinggi. Apabila dilakukan perbandingan terhadap dua atau lebih variabel dependen maka, perlu diperhatikan nilai R^2 yang paling tinggi (mendekati angka 1) diantara kedua variabel tersebut. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel independen yang lebih cenderung tinggi pada salah satu variabel dependen. Hasil perhitungan nilai R^2 dari pengaruh tiap parameter melalui grafik regresi linear dapat dilihat pada Tabel-3.

Tabel 3. Hubungan Antara *Uniaxial Compressive Strength* dan *Modulus Young* Dengan Parameter Sifat Fisik Berdasarkan Nilai R^2 dar Grafik Regresi Linear

Nilai	<i>Uniaxial Compressive Strength</i>	<i>Modulus Young</i>
Bobot Isi Asli	0,1427	0,0932
Bobot Isi Kering	0,1324	0,0541
Bobot Isi Jenuh	0,1327	0,0836
Kadar Air	0,4371	0,8532
Derajat Kejenuhan	0,1652	0,0934
Porositas	0,9125	0,6248

Tabel-3 menunjukkan hasil nilai R^2 dengan korelasi antara *uniaxial compressive strength* (*UCS*) dan *modulus young* terhadap parameter sifat fisik, yang didapati sebagai berikut: nilai R^2 bobot isi asli untuk *UCS* adalah 0,1427 dan untuk *modulus young* adalah 0,0932; nilai R^2 bobot isi kering untuk *UCS* adalah 0,1324 dan untuk *modulus young* adalah 0,0541; nilai R^2 bobot isi jenuh untuk *UCS* adalah 0,1327 dan

untuk *modulus young* adalah 0,0836; nilai R^2 kadar air untuk *UCS* adalah 0,4371 dan untuk *modulus young* adalah 0,08532; nilai R^2 derajat kejenuhan untuk *UCS* adalah 0,1652 dan untuk *modulus young* adalah 0,0934; dan nilai R^2 porositas untuk *UCS* adalah 0,9125 dan untuk *modulus young* adalah 0,6248.

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel-3, ditemukan bahwa parameter sifat fisik diantaranya; porositas akan mempengaruhi nilai *uniaxial compressive strength*; dan kadar air akan mempengaruhi nilai *modulus young*. Kedua parameter tersebut, lebih memberikan pengaruh dibandingkan parameter lainnya. Sehingga nilai kekuatan batuan akan berbanding lurus dengan nilai *UCS* dan *modulus young*.

Nilai porositas lebih mempengaruhi nilai *UCS*, dikarenakan kemampuan mengikat antar butir mineral dapat mempengaruhi kekompakkan dan kekerasan pada batuan yang akan membuat batuan semakin susah dihancurkan, sehingga nilai kuat tekannya meningkat. Oleh sebab itu, nilai porositas dan *UCS* memiliki hubungan berbanding lurus. Semakin tinggi nilai porositas batuan, maka nilai kuat tekan uniaksial pun akan semakin tinggi. Hal ini dapat dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi dari porositas terhadap nilai *UCS* yang mendekati angka 1, yang menandakan parameter tersebut sangat berpengaruh secara detail dan menyeluruh terhadap nilai *UCS*.

Nilai kadar air akan lebih mempengaruhi nilai *modulus young*, dikarenakan persentase kadar atau kandungan air di dalam batuan berkaitan dengan nilai regangan yang diterima ketika batuan mendapatkan tekanan pada alat pengujian. Sehingga, ketahanan batuan untuk mengalami deformasi elastis akan mengalami peningkatan ketika diberi tekanan. Oleh sebab itu, nilai kadar air dan *modulus young* memiliki hubungan berbanding lurus. Semakin tinggi nilai kadar air pada batuan, maka nilai *modulus young* akan semakin tinggi. Hal ini dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi yang tinggi dan mendekati angka 1, yang menandakan parameter tersebut sangat berpengaruh secara detail dan menyeluruh terhadap nilai *modulus young*.

Parameter bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh memiliki nilai koefisien determinasi lebih rendah dibandingkan dengan parameter lainnya. Hal ini dikarenakan nilai bobot isi asli dan bobot isi kering akan lebih berpengaruh terhadap nilai porositas, sedangkan nilai bobot isi asli dan bobot isi jenuh akan lebih mempengaruhi nilai kadar air pada batuan. Nilai ketiga bobot isi pada parameter sifat fisik memiliki nilai yang berbanding lurus dengan nilai porositas dan kadar air. Sehingga pengaruh terhadap nilai *UCS* dan *modulus young* lebih kecil.

Parameter derajat kejenuhan tidak mempengaruhi nilai *UCS* dan *modulus young*, maupun nilai porositas. Namun nilai derajat kejenuhan akan berpengaruh terhadap nilai kadar air. Hal ini dikarenakan nilai derajat kejenuhan berkaitan dengan perbandingan antara volume air dengan volume batuan. Derajat kejenuhan akan mempengaruhi kekuatan dan sifat deformabilitas dan menyebabkan pengaruhnya dinyatakan lebih kecil dibandingkan porositas dan kadar air. Secara umum, nilai kadar air dalam suatu wilayah akan relatif sama antartiap batuan. Sedangkan nilai derajat kejenuhan dari batuan atau material lainnya yang memiliki nilai sama akan berbeda, meskipun berada dalam wilayah yang sama.

Nilai koefisien determinasi yang rendah dapat disebabkan oleh faktor yang mempengaruhi derajat kejenuhan adalah nilai kadar air pada saat kondisi jenuh, yaitu selama sampel asli dilakukan perendaman pada desikator yang kedap udara selama 24 jam (penjenuhan batuan). Hal ini dapat menunjukkan kemampuan batuan untuk menyimpan atau menyerap air, sehingga nilai derajat kejenuhan dan kadar air memiliki hubungan yang berbanding lurus.

Hubungan antara parameter sifat fisik dan kuat tekan uniaksial ditemukan bahwa, keduanya memiliki pengaruh yang besar terhadap stabilitas lereng. Hal ini dibuktikan dengan, nilai porositas yang berbanding lurus dengan nilai *uniaxial compressive strength* dan berbanding terbalik dengan kekuatan massa batuan. Apabila nilai porositas batuan mengalami peningkatan maka nilai *uniaxial compressive strength* akan meningkat sedangkan kekuatan massa batuan mengalami penurunan. Kualitas massa batuan yang relatif lebih rendah akan mempengaruhi potensi terjadinya kelongoran lebih besar. Untuk itu perlu dilakukan peninjauan kondisi umum batuan yang ada di lapangan, seperti jumlah kekar, kondisi dan jarak kekar serta faktor-faktor lainnya yang digunakan untuk menentukan nilai atau pembobotan pada *Rock Mass Rating (RMR)*. Sehingga dapat ditentukan gambaran atau garis besar kondisi kemantapan lereng di lokasi dan diperlukan analisis lanjutan berupa analisis kinematika pada lereng batuan dan penggunaan klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)* sebagai metode lanjutan untuk

menentukan atau merekomendasikan tipe longsoran yang akan terjadi dan keperluan guna perkuatan lereng pada lokasi.

4. Conclusion

Melalui penelitian yang dilakukan terhadap parameter sifat fisik dan kuat tekan uniaksial pada conto batuan Andesit, diperoleh bahwa:

1. Dalam hubungannya ditemukan bahwa, nilai kuat tekan uniaksial akan dipengaruhi oleh parameter sifat fisik yaitu porositas dan kadar air. Nilai porositas akan mempengaruhi penentuan nilai *UCS* dengan nilai R^2 sebesar 0,9125 dan nilai kadar air akan mempengaruhi penentuan nilai *modulus young* dengan nilai R^2 sebesar 0,8532.
2. Pada hasil pengujian dan korelasi berdasarkan grafik regresi linear ditemukan bahwa semakin berkurang nilai porositas, maka kekuatan batuan akan meningkat. Sehingga nilai kekuatan masa batuan yang berpengaruh dalam rekayasa kemandapan lereng dapat diketahui dari nilai porositas dan kadar air yang terkandung dalam batuan

Acknowledgment

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini, dalam bentuk fasilitas maupun legalitas. Ucapan terima kasih khusus penulis sampaikan kepada Ibu Ratih Hardini Kusuma Putri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan arahan dan dukungan dalam penelitian dan kepada semua pihak yang tidak disebutkan dalam membantu kelancaran penelitian hingga penyusunan sampai selesai.

References:

- [1] Melati, S, “Studi Karakteristik Relasi Parameter Sifat Fisik Dan Kuat Tekan Uniaksial Pada Conto Batulempung, Andesit dan Beton”, *Jurnal GEOSAPTA*, vol 5, pp 133, 2019, doi:10.20527/jg.v5i2.6808.
- [2] Zhang, J. J, “Applied Petroleum Geomechanics” in *Applied Petroleum Geomechanics*, Cambridge, MA: Gulf Professional Publishing, an imprint of Elsevier, 2019, doi:10.1016/C2017-0-01969-9.
- [3] Rosari, A. A., and Arsyad, M, “Analisis Sifat Fisis Dan Sifat Mekanik Batuan Karst Maros”, *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*. vol.13, pp 276-281, 2017.
- [4] Pola, A., Crosta, G. B., Castellanza, R., Adliardi, F., Fusi, N., Barberini, V., Norini, G., and Villa, A, “Relationships Between Porosity and Physical Mechanical Properties” in *Weathered Volcanic Rocks*, 2014.
- [5] Guskarnali, G., Oktarianty, H., and Amelia, D, “Pengaruh Sifat Fisik Batuan Terhadap Kuat Tekan Uniaksial pada Batu Granit di Pulau Bangka”, *Jurnal Teknologi Industri UMI*, vol 8, pp 214-219, 2020.
- [6] Winonazada, R., Irwan, A.G., and Rezky, D. M. 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*, vol 9, pp 10-13, 2020.
- [7] Rai, M. A., Kramadibrata, S., and Wattimena, R. K, 2014. “Mekanika Batuan” in *Mekanika Batuan*, Bandung: Made Astawa, pp. 265, 2014.
- [8] Dias, E. N., Putri, R. H. K., and Pradani, D. I, “Studi Karakteristik Hubungan Parameter Sifat Fisik Dengan Kuat Tekan Uniaksial Pada Conto Batuan Andesit”, *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan*, vol. 3, pp.139-145, 2021.
- [9] Wong, L. N. Y., Maruvanchery, V., & Liu, G. 2016. Water effects on rock strength and stiffness degradation. *Acta Geotech*. vol 11. hal. 713-737.
- [10] Ariyanto, K. D., Rabin. S., Saleky, D. B., Titirloloby, A., and Cahyono, Y. D. G., “Analisis Pengaruh Porositas Terhadap Uji Kuat Tekan Uniaksial Pada Batugamping” *Prosiding Seminar Teknologi dan Kelautan*, vol. 2, pp, 467-471, 2020.
- [11] Dias, E. N., Ramadhani, E. R., Nani, D., Anggraini, I.F., Atawolo, Y. E., and Cahyono, Y. D. G., “Analisis Pengaruh Sifat Fisik Batuan Terhadap Uji Kuat Tekan Uniaksial Dalam Rekayasa

- Kemantapan Lereng”, *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan*, vol. 3, pp.80-85, 2021.
- [12] Banunaek, D. J., Herman, Sikopa, M. C., Thari, I. A., Adii, A., and Cahyono, Y. D. G., “Analisis Pengaruh Kadar Air dan Derajat Kejenuhan Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batu Gamping dan Batu Pasir di Ramang-Ramang Maros”, *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan*, vol. 3, pp.353-357, 2021.
 - [13] Pratiwi, I. Y., Abdullah, K., Firmansyah, and Cahyono, Y. D. G., “Analisis Korelasi Sifat Fisik Terhadap Nilai Uji Kuat Tekan (UCS) Batu Andesit”, *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan*, vol. 3, pp.366-371, 2021.
 - [14] Andika, B. and Purnawan, A., “Studi Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Untuk Mengetahui Karakteristik Batupasir Formasi Balikpapan Pada Lereng Penambangan Batupasir Samarinda”, *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan*, vol. 2, pp.67-70, 2020.
 - [15] Irwan, A.G., Rezky, D.M., and Winonazada, R., “Pengaruh Porositas Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batuan Sedimen”, *PROMINE*, vol. 8, pp. 61-64, 2020.
 - [16] Hanifah, D. A., Santoso, E., and Kartini, “Analisis Pengaruh Tingkat Pelapukan Terhadap Kekuatan Batuan (Studi Kasus Pada Batulempung Dari Formasi Warukin”, *JURNAL HIMASAPTA*, vol. 5, pp. 89-92, 2020.
 - [17] Winonazada, R., Irwan, A.G., and Rezky, D.M., “Analisis Pengaruh Kadar Air dan Derajat Kejenuhan Terhadap Perbedaan Nilai Kuat Tekan Uniaksial Pada Batugamping, Pantai Ngrumput, Yogyakarta”, *Proceddings of National Colloquium Research and Community Service*, vol. 4, pp. 97-103, 2020, doi:10.33019/snppm.v4i0.2149
 - [18] Nugroho, V, “Mekanika Batuan”, *Academia*, [online]. Available: https://www.academia.edu/11455005/MEKANIKA_BATUAN [Diakses: 22 September 2021]