PREDIKSI MODULUS DEFORMASI BATUAN MENGGUNAKAN MODULUS ELASTISITAS BATUAN PADA BATU GAMPING

Rinaldhie Guntur Dharmansyah[1], Cahyadi Kamal Hidayatulloh[1], Regita Cahyani Samal[1], Dhymas wahyu Tri Saputra[1], Andyel Chaeza Adya Enggiarta[1], Yudho Dwi Galih Cahyono[1]

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Kelautan,
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1]
Jln. Arief Rachman Hakim No. 100 Surabaya
e-mail: rinaldhied86@gmail.com

ABSTRACT

Modulus of Elasticity is a test on rocks to determine the deformation of a rock and the limits of how a rock sample can withstand its elasticity. Where UCS is done by testing rock samples using a compressive test from one direction. This study aims to analyze the value of the modulus of elasticity and modulus of deformation and to determine the nature of the rock samples. This study uses a quantitative method, which is carried out by calculating the uniaxial compressive strength test to get the value of the modulus of elasticity. This test was carried out on each of three limestone samples with a size of L = 2D. Predicted The test results show the modulus of elasticity is 62.3 GPa (Sample 2A), 15.2 GPa (Sample 2B), 22.8 GPa (Sample 2C). So that the average value of the elastic modulus is 3.43GPa. Then it is predicted that the deformation moulus value is 0.029 GPa (sample 2A), 0.107 GPa (sample 2B), 0.085 GPa (sample 2C) and the average value of the deformation modulus is 0.074 GPa.

Keywords: *Uniaxial Compressive Strength, Modulus Elasticity, Limestone, Modulus Deformation*

ABSTRAK

Modulus Elastisitas adalah pengujian pada batuan untuk mengetahui deformasi suatu batuan dan batas bagaimana suatu sampel batuan tersebut bisa bertahan dalam elastisitasnya. Dimana UCS dilakukan dengan menguji sampel batuan menggunakan uji tekan dari satu arah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai modulus elastisitas serta modulus defrmasi dan untuk mengetahui sifat sampel batuan tersebut. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yang dilakukan dengan melakukan perhitungan pada uji kuat tekan uniaksial untuk mendapatkan nilai modulus elastisitasnya. Pengujian ini dilakukan terhadap masing-masing tiga sampel batu gamping dengan ukuran L = 2D. Diprediksi Hasil pengujian menunjukkan nilai modulus elastisitasnya sebesar 62.3 GPa (Sampel 2A) 15.2 GPa (Sampel 2B), 22.8 GPa (sampel 2C). Sehingga didapatkan nilai rata-rata modulus elastisitasnya sebesar 3.43GPa. Kemudian diprediksi nilai moulus deformasinya sebesar 0.029 GPa (sampel 2A), 0.107 GPa (sampel 2B), 0.085 GPa (sampel 2C) dan rata rata nilai modulus deformasi sebesar 0.074 Gpa

Kata kunci: Kuat Tekan Uniaksial, Modulus Elastisitas, Modulus Deformasi, Batu Gamping

PENDAHULUAN

Model batuan yang representatif adalah kunci keberhasilan desain. Oleh karena itu, penting bagi insinyur batuan untuk mengetahui parameter dari kinerja mekanis yang sesuai dengan kondisi batuan sebenarnya. Batuan sebagai bahan alam memiliki sifat fisika, kimia, dan mekanik yang tidak dapat dihitung dengan bahan lain. Salah satu parameter dalam sifat mekaniknya adalah modulus elastisitas. Modulus elastisitas didapatkan dari pengujian *(UCS)*

Uniaxial compressive strength (UCS) atau yang biasa disebut kuat tekan uniaksial merupakan penentu parameter yang sangat penting dalam keperluan rekayasa mekanika batuan. Kuat tekan uniaksial digunakan untuk memilih metode batu yang tersebar dalam aktivitas sistem penambangan terbuka atau bawah permukaan apakah menggunakan peledakan atau menggunakan alat mekanis. Kuat tekan adalah kemampuan suatu batuan untuk menahan beban sampai runtuh yang diakibatkan oleh beban dan tekanan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan batuan antara lain jenis batuan, komposisi mineral, tekstur permukaan batuan dan keberadaan struktur aliran. Mengidentifikasi geohidrologi penambangan, uji kuat tekan mempengaruhi pada kestabilan lereng tambang baik dalam tambang permukaan ataupun pada tambang bawah permukaan.

Sebelum membahas modulus elastisitas batuan lebih lanjut, perlu ditinjau terlebih dahulu sifat-sifat elastisitas umum bahan tersebut. Sifat elastis, dapat menekuk ketika gaya diterapkan dan kembali ke bentuk semula saat gaya dihilangkan. Beberapa bahan menunjukkan keelastisitas. Ada beberapa bahan sangat elastis, seperti karet, dan beberapa bahan tidak elastis, seperti keramik. Dalam memebedakan bahan berdasarkan elastisitas, modulus young didefinisikan sebagai benda yang lebih elastis atau lunak memiliki modulus elastisitas lebih kecil.

Komisi terminologi internasional mekanika batuan atau biasa disebut *International Society for Rock Mechanics International Society for Rock Mechanics (IRSM)* menerbitkan definisi modulus elasitisitas sebgai berikut

1. Modulus elastisitas atau modulus young : rasio tegangan terhadap regangan yang sesuai di bawah batas proporsionalitas material.
2. Modulus deformasi : rasio tegangan terhadap regangan yang sesuai selama pemuatan massa batuan termasuk perilaku elastis dan inelastis

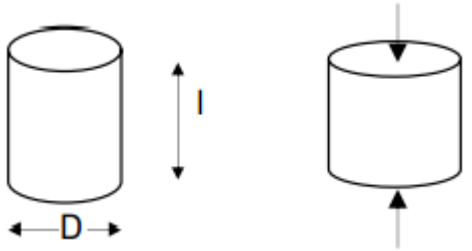
Deformasi massa batuan diwakili oleh modulus yang menggambarkan hubungan beban dan deformasi yang dihasilkan. Dimana massa batuan tidak mengalami deformasi elastisitas, sehingga lebih tepat menggunakan istilah modulus deformasi.

Adapun tujuan dalam penelitian adalah untuk memprediksi modulus deformasi menggunakan nilai modulus elastisitas batuan. Salah satu contoh penerapan yang menggunakan modulus deformasi sebagai parameter analisis regangan-tegangan disekitar area bukaan tambang menggunkan permodelan numerik. Penelitian ini juga bertujuan untuk membuktikan pernyataan umum, bahwa bahwa modulus elastisitas lebih tingi dibanding modulus deformasi, serta untuk mengetahui sifat batuan menggunakan acuan ISRM

TINJAUAN PUSTAKA

Uniaksial Compressive Strenght (UCS)

Uji kuat tekan batuan utuh digunkan untuk menentukan kekuatan sampel silinder dari inti utuh setelah pemboran inti penuh. Dalam pengujian ini menggunakan alat press untuk memampatkan sampel batuan dengan satu arah (uniaksial). Rasio tinggi terhadap diameter (I/D) sampel dapat memperngaruhi kuat tekan batuan. Dalam menguji kuat tekan menggunakan rasio L = 2D. Sebagai standar, berikut ini penulis sertakan deskripsi gaya regangan yang bekerja saat menguji kuat tekan batuan.



Gambar 1. Ilustrasi gaya skema penempatan sampel batuan pada uji kuat tekan uniaksial.

$$\sigma_C = \frac{P}{A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Dimana :
σ_C = Kuat Tekan Uniaksial (Mpa)
P = Tekanan Yang Diberikan Pada Batuan (Mpa)
A = Luas Permukaan Contoh (mm^2)

Pergeseran gaya regangan aksial (Δl) dan lateral (ΔD) sampel batuan selama pengujian dapat diukur secara manual dengan dial gauge yang membutuhkan ketelitian tinggi, atau dapat diukur dengan strain gauge elektronik, hasilnya akan otomatis direkam dan terkomputerisasi. Lebih praktis. Berdasarkan hasil uji kuat tekan, kurva tegangan-regangan dapat ditarik untuk setiap sampel batuan, dan kemudian sifat mekanik batuan dapat ditentukan dari kurva tersebut. Padahal, dari uji UCS, tidak hanya bisa mendapatkan nilai UCS, tetapi juga menentukan batas elastis, modulus Young, dan rasio toksisitas dari hasil penggambaran terhadap kurva tegangan-regangan.

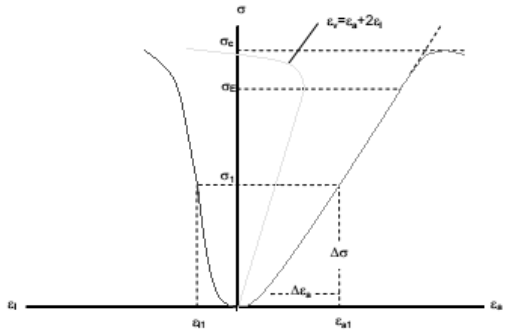
Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau modulus young merupakan faktor penting untuk mengevaluasi deformasi batuan di bawah berbagai kondisi pembebanan. Karena formasi dan formasi batuan atau mineral dari suatu sampel batuan berbeda, maka nilai modulus elastisitas batuan bervariasi dari wilayah geologi. Modulus elastisitas tergantung pada jenis batuan, porositas, ukuran butir dan kadar air. Modulus elastisitas akan lebih besar nilainya apabila diukur tegak lurus perlapisan daripada diukur sejajar arah perlapisan (Jumikis, 1979).

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Dimana :
E = Modulus Young (MPa)
Δσ = Perubahan tegangan (MPa)
Δεa = Perubahan regangan aksial (%)

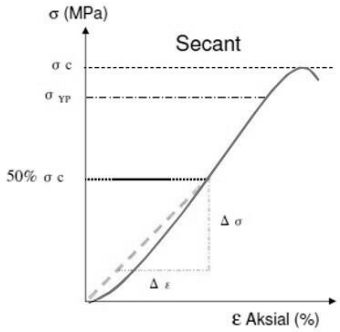
Nilai modulus elastisitas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara perbedaan tegangan aksial (Δσ) dan perbedaan tegangan aksial (Δεo), yang memiliki hubungan tertentu pada grafik deformasi aksial, dan didistribusikan pada kurva dengan kemiringan rata-rata kurva dalam kondisi linier atau bagian linier untuk rata-rata modulus elastisitas. Rata-rata dari proporsi sebagai berikut.



Gambar 2. Kurva tegangan regangan hasil Pengujian Kuat Batuan

Modulus Deformasi

Modulus deformasi merupakan perubahan jarak suatu atom atau bisa juga perubahan bentuk sampel yang tidak permanen, yang artinya jika suatu sampel batuan yang diberi beban lalu dilepas dari beban tersebut maka sampel akan kembali ke bentuk semula. Modulus deformasi didapatkan dari nilai modulus young sekan, Yang diukur dari tegangan 0 hingga tegangan 50%. Untuk lebih memahami cara menentukan nilai modulus deformasi, penulis telah menggambarkan kurva penentuan modulus deformasi



Gambar 3. Arah gaya yang menyebabkan deformasi batuan

METODE

Metode penelitian ini dilaksanakan dengan metode kuantitatif. Yang mana metode ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan pada uji kuat tekan uniaksial untuk mengetahui nilai kuat tekan pada batuan tersebut. Akan halnya mengenai langkah-langkah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan contoh batuan
   Contoh batuan batu kapur atau gamping ini dengan membeli contoh sampel batuan di Asia Rock Test yang bertempat di Yogyakarta. Karena keterbatasan waktu yang bertabrakan dengan bulan puasa dan adanya program dari pemerintah Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) serta bertepatan dengan acara kampus sehingga tidak dapat melakukan kegiatan pengambilan contoh sampel batuan batu gamping atau batu kapur.
2. Preparasi contoh batuan

Setelah contoh sampel batuan diperoleh, selanjutnya dilakukan preparasi contoh batuan yaitu menyesuaikan standar uji yang menjadi acuan yaitu (ISRM) International Society for Rock Mechanic. Kualitas sampel batu uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1) Diameter benda uji silinder batu uji harus minimal NQ atau 54 mm. Diameter bagian dalam mata bor yang digunakan memenuhi persyaratan ini, 55 mm di laboratorium dan 60 mm di lapangan.
2) Rasio panjang terhadap diameter (L/D) sampel batu adalah 2 banding 3. Perbandingan 2.5 lebih baik dan merupakan pilihan pertama. Ketika rasio kurang dari 2, kuat tekan sampel lebih tinggi karena tegangan ke atas dan ke bawah bertemu. Di sisi lain, jika rasio L/D lebih tinggi dari 2,5, sampel runtuh lebih cepat, dan kuat tekan uniaksial menjadi lebih rendah. Dengan menyortir sampel, ambil bagian yang berbeda dari sampel inti, lalu gunakan penghancur untuk menghancurkan inti silinder sesuai kebutuhan.
3) Kerataan kedua permukaan contoh batu uji harus mencapai 0.02 mm dan tidak melenceng dari sumbu tegak lurus lebih dari 0.05 mm dalam 50 mm. Sisi panjang atau permukaan selimut harus lurus, dan deviasi kelurusannya sepanjang sampel tidak boleh melebihi 0,3 mm. Oleh karena itu, usahakan untuk memotong secara merata sehingga tekanan merata dan permukaan batu mengalami tegangan yang sama di seluruh permukaan kontak. Gunakan pengukur sudut kanan dan rasio tabung untuk memeriksa kehalusan dan kerataan permukaan sampel batu uji. Diperiksa menggunakan nivo tabung dan squareness gauge

1. Uji kuat tekan uniaksial.

Setelah sampel batuan dibuat menjadi balok dengan ukuran L=2D, sampel batuan dimasukkan ke dalam plat pada alat uji kuat tekan uniaksial.. Selanjutnya mengatur gaya atau tekanan atau beban yang akan digunakan untuk menekan contoh batuan tersebut. Sampel batuan selanjutnya ditekan secara uniaksial atau satu arah dengan cara vertikal sampai sampel batun tersebut hancur atau pecah. Kemudian lihat semua catatan hasil di komputer yang telah terhubung ke penguji kuat tekan uniaksial.

2. Pengolahan data

Setelah data dari uji kuat tekan uniaksial diketahui, selanjutnya dilakukan dengan mengolah data sampai diketahui nilai kuat tekan batuannya yang akan dinalaisis lebih lanjut hingga mendapatkan hasil modulus elastisitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kuat tekan uniaksial telah dilaksanakan terhadap 3 sampel batu gamping. Dari hasil pengujian kuat tekan uniaksial didapatkan data berupa *uniaxial compressive strength* (MPa) dan modulus young (MPa).

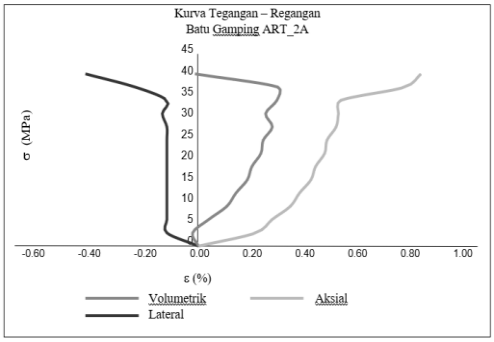
Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Batu Gamping

Sampel	*Uniaxial Compressive Strength* (MPa)	Modulus Young (MPa)
ART_2A	40.53	62300
ART_2B	33.45	15200
ART_2C	33.45	22800

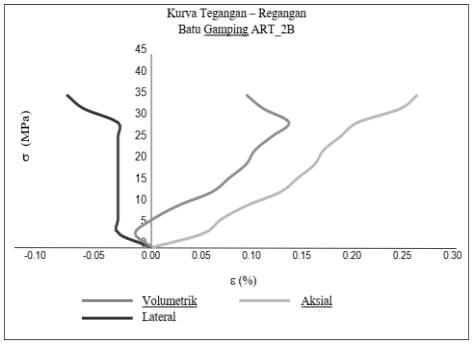
Note: Hasil Uji Laboratorium

Data Tabel 1 menunjukkan data hasil pengujian diantaranya *uniaxial compressive strength* sampel ART_2A = 40.53 MPa, sampel ART_2B = 33.45 MPa, sampel ART_2C = 33.45 Mpa dan Modulus Young sampel ART_2A = 62300 MPa, sampel ART_2B = 15200 Mpa, Sampel ART_2C = 22800 MPa. Nilai UCS didapat dari nilai tegangan pada saat sampel batuan hancur. Pada hasil akhir pengujian, ditemukan bahwa setiap sampel batuan hancur pada beban 12990.90 kg untuk sampel ART_2A, beban 10992.30 kg untuk sampel ART_2B, dan beban 10992.30 untuk sampel ART_2C.

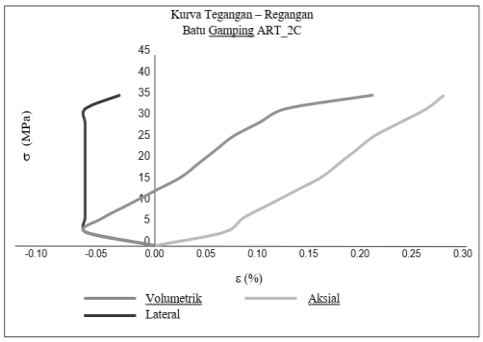
Nilai Modulus Young dipengaruhi oleh tipe batuan yang akan bernilai besar apabila diukur tegak lurus perlapisannya daripada diukur searah. Dengan menghitung nilai rata-rata tegangan dan juga rata-rata regangan aksial yang diperoleh, maka dapat ditentukan nilai Modulus Young.



Gambar 4. Kurva tergangan-regangan batu gamping ART_2A

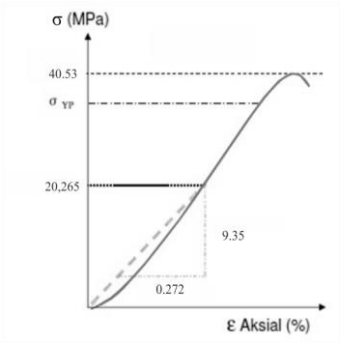


Gambar 5. Kurva tergangan-regangan batu gamping ART_2B

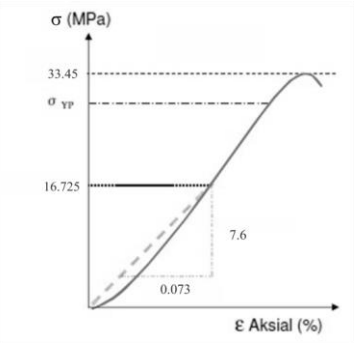


Gambar 6. Kurva tergangan-regangan batu gamping ART_2C

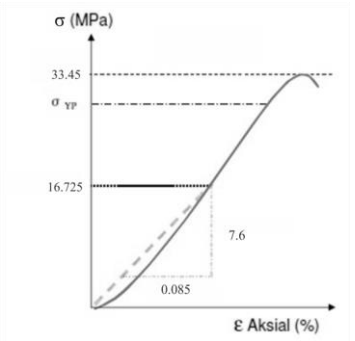
Dari gambar 4, 5, dan 6 ditemukan nilai kurva tegangan-regangan semakin tinggi nilai tegangan semakin tinggi nilai renggangan aksial, sedangkan regangan volumetrik mengalami naik turun dan regangan lateral condong turun.



Gambar 7. Penentuan Modulus Young Secant batu gamping ART_2A



Gambar 8. Penentuan Modulus Young Secant batu gamping ART_2B



Gambar 9. Penentuan Modulus Young Secant batu gamping ART_2C

Dari gambar 7, 8, dan 9 ditemukan cara menghitung nilai modulus deformasi menggunakan cara modulus young secant dimana sampel ART_2A didapat tegangan 9.35 MPa dan regangan 0.32 %, sampel ART_2B didapat tegangan 7.6 MPa dan regangan 0.071 %, sedangkan sampel ART_2C didapat tegangan 7.6 MPa dan regangan 0.089 %.

Tabel 2. Nilai Rekapitulasi Modulus Deformasi Dan Modulus Elastisitas

Kode Sampel	Rata-rata			Secant			$E_i - E_{rm}$ (GPa)	$k = E_{rm}/E_i$
	$\Delta\sigma$ (MPa)	$\Delta\varepsilon$ (%)	E_i (GPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	$\Delta\varepsilon$ (%)	E_{rm} (GPa)		
ART_2A	20.27	0.41	62.3	9.35	0.32	0.029	62.271	0.00046
ART_2B	16.73	0.13	15.2	7.6	0.071	0.107	15.093	0.00701
ART_2C	16,73	0.15	22.8	7.6	0.089	0.085	22.715	0.00372

Berdasarkan tabel 2 Dari tercantum modulus elastisitas sampel batu gamping ART_2A = 62.3 GPa, ART_2B = 15.2 GPa, dan ART_2C 22.8 GPa. Modulus deformasi massa batuan sampel batu gamping ART_2A = 0.029 Gpa, ART_2B = 0.107 GPa dan ART_2C = 0.085 Gpa. Pengujian pada tiga sampel batu gamping, yaitu ART_2A, ART_2B, dan ART_2C menggunakan pernyataan umum dimana modulus demformasi akan lebih rendah dibandingkan modulus elastisitas. Nilai k dari hubungan antara E_{rm} dan E_i dimana $E_i > E_{rm}$ ialah 0.00046, 0.00701, dan 0.00372. Jika dirata-rata, $E_{rm} = 0.00373\ E_i$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian sampel batuan yang diambil di formasi tanjung kalimantan selatan dapat disimpulkan bahwa hasil modulus deformasi berhasil diprediksi menggunakan nilai modulus elastisitas dengan menunjukan hubungan antara tegangan dan regangan pada uji kuat tekan uniaksial. Dimana hasil penelitian sesuai dengan pernyataan umum, bahwa modulus elastisitas lebih tinggi dibanding modulus deformasi. Laporan studi ini bermanfaat sebagai parameter dalam analisis regangan-tegangan disekitar area bukaan tambang bawah tanah dengan permodelan numerik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang pertama penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Kemudian kepada dosen pengampu mata kuliah Kestabilan lereng Bapak Yudho Dwi Galih Cahono yang membimbing penulis dalam menyusun dan menyelesaikan Jurnal Penelitian ini, tidak lupa *ASIAN Rock Test Geomechanic Laboratory* Yogyakarta dalam membantu untuk menguji contoh sampel yang penulis gunakan, serta kelompok yang selalu membantu hingga menyelesaikan jurnal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] E. Ibrahim and N. Kurniawati, "Studi Modulus Elastisitas (Modulus Young) untuk Karakterisasi Berbagai Jenis Batubara Berdasarkan Analisis Kecepatan Gelombang," . . ., p. 5.

[2] E. Prasetianto, "Analisis Penyanggaan Berdasarkan Karakteristik Batuan Pada Atap dan Dinding Lubang Tambang Batubara Bawah Tanah BMK-04 di CV. Bara Mitra Kencana, Kecamatan Talawi, Sawahlunto," p. 11.

[3] F. Pratama, E. Purwanto, and S. A. Kristiawan, "ANALISIS MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT TARIK PADA POLYMER MODIFIED MORTAR (PMM) DENGAN PENAMBAHAN SERAT CANTULA (AGAVE CANTULA ROXB)," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, May 2020, doi: 10.20961/mateksi.v8i1.41521.

[4] I. Rusydy, N. Al-Huda, M. Fahmi, N. Effendi, A. Muslim, and M. Lubis, "ANALISIS MODULUS DEFORMASI MASSA BATUAN PADA SEGMEN JALAN USAID KM 27 HINGGA KM 30 BERDASARKAN KLASIFIKASI MASSA BATUAN," *Ris. Geol. Dan Pertamb.*, vol. 30, no. 1, p. 93, Jul. 2020, doi: 10.14203/risetgeotam2020.v30.1073.

[5] M. Souisa, "ANALISIS MODULUS ELASTISITAS DAN ANGKA POISSON BAHAN DENGAN UJI TARIK," *BAREKENG J. Ilmu Mat. Dan Terap.*, vol. 5, no. 2, pp. 9–14, Dec. 2011, doi: 10.30598/barekengvol5iss2pp9-14.

[6] R. Winonazada, A. G. Irwan, and D. M. Rezky, "ANALISIS PENGARUH KADAR AIR DAN DERAJAT KEJENUHAN TERHADAP PERBEDAAN NILAI KUAT TEKAN UNIAKSIAL PADA BATUGAMPING, PANTAI NGRUMPUT, YOGYAKARTA," p. 4, 2020.

[7] M. Tefa and I. Edi Santosa, "Pengukuran Modulus Young dengan Analisis Keadaan Resonansi Batang Aluminium yang Bergetar Menggunakan ImageMeter," *Pros. SNFA Semin. Nas. Fis. Dan Apl.*, vol. 2, p. 346, Nov. 2017, doi: 10.20961/prosidingsnfa.v2i0.21370.

[8] M. Ahied, "STUDI KOMPARASI KONVERSI MODULUS YOUNG DINAMIK KE STATIK PADA BATUPASIR DAN BATUGAMPING," vol. 2, no. 2, p. 7, 2015.

[9] S. Melati, "STUDI KARAKTERISTIK RELASI PARAMETER SIFAT FISIK DAN KUAT TEKAN UNIAKSIAL PADA CONTOH BATULEMPUNG, ANDESIT, DAN BETON," *J. GEOSAPTA*, vol. 5, no. 2, p. 133, Jul. 2019, doi: 10.20527/jg.v5i2.6808.

[10] S. Melati and Riswan, "Prediksi Modulus Elastisitas Batuan Utuh dan Modulus Deformasi Massa Batuan dari Kurva Perilaku Konstitutif," *J. Jejaring Mat. Dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 77–84, Dec. 2019, doi: 10.36873/jjms.v1i2.214.