

Analisis Korelasi antara *Uniaxial Compressive Strength* dan *Point Load Index* pada Batugamping di Pantai Ngrumpit Yogyakarta

Danu Mirza Rezky^{1,a}, Andesta Granitio Irwan¹

¹ Magister Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jl. Padjajaran (Lingkar Utara), Condongcatur, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55283

^a)email korespondensi: danumirza1996@gmail.com

ABSTRAK

Kekuatan dari batuan utuh (*intact rock*) biasanya ditunjukkan melalui hasil uji kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength*). Nilai UCS diperlukan untuk menilai karakterisasi massa batuan serta parameter masukan untuk desain geoteknik. Akan tetapi, keterbatasan dari uji kuat tekan uniaksial yaitu pengujiannya hanya bisa dilakukan pada skala laboratorium, oleh karena itu uji beban titik (*Point Load Test*) dilakukan untuk mengestimasi nilai UCS secara tidak langsung di lapangan. Sampel yang digunakan untuk pengujian UCS dan PLT adalah batugamping dengan jumlah 4 sampel untuk masing – masing pengujian. Analisis regresi dilakukan untuk menilai korelasi antara nilai *Uniaxial Compressive Strength* dan *Point Load Index*. Dari analisis regresi didapatkan model linier adalah model yang paling merepresentasikan hubungan antara UCS dan PLI, karena memiliki tingkat error paling kecil diantara model regresi lainnya. Dari hasil perhitungan didapatkan hubungan yang kuat antara UCS dan PLI berdasarkan nilai koefisien korelasinya. Meski demikian, terdapat variabilitas data dari hasil pengujian yang ditunjukkan dari nilai koefisien variasi. Variabilitas data ini diduga terjadi karena titik lokasi pengambilan sampel yang berbeda, dan pengaruh porositas pada batugamping yang mempengaruhi nilai kekuatan dari batuan.

Kata kunci: *Uniaxial compressive strength, Point load index, Persamaan regresi, Batu gamping.*

PENDAHULUAN

Uji kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive strength test*) telah banyak digunakan untuk menentukan parameter kekuatan batuan utuh. Namun demikian alat uji kuat tekan uniaksial ini memiliki keterbatasan, salah satunya dalam preparasi conto. Salah satu alternatif yang bisa digunakan untuk menentukan parameter kekuatan batuan adalah uji beban titik (*point load test*). Dimana preparasi conto pada uji beban titik lebih sederhana dibandingkan dengan uji kuat tekan uniaksial, serta kemudahan alat untuk dibawa kelapangan. Sehingga uji beban titik bisa digunakan untuk menentukan parameter kekuatan batuan secara tidak langsung di lapangan (Broch & Franklin, 1972; Bieniawski, 1975), dan hasilnya nanti bisa di korelasikan dengan nilai dari hasil pengujian kuat tekan uniaksial di laboratorium.

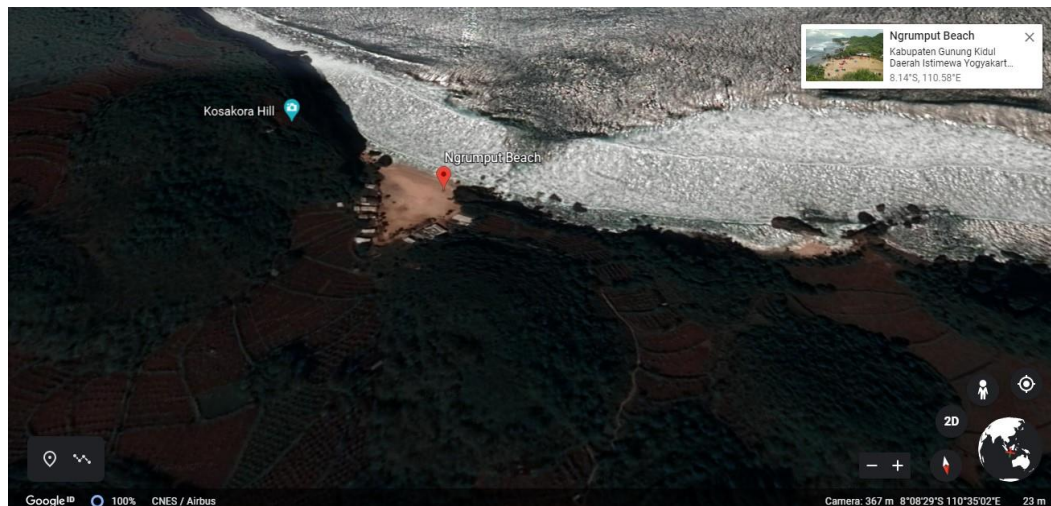
Penelitian ini dimaksudkan untuk memperoleh korelasi yang sesuai antara pengujian beban titik dan pengujian kuat tekan uniaksial, sehingga nantinya melalui pengujian beban titik, hasil uji beban titik bisa digunakan untuk mengestimasi nilai UCS. Banyak peneliti yang sudah melakukan observasi tentang penentuan nilai K sebagai konstanta terhadap hubungan uji kuat tekan uniaksial dan uji beban titik. Namun demikian hasil yang didapatkan bervariasi sesuai dengan lokasi penelitian dan klasifikasi batuan yang diujikan. Penelitian ini difokuskan pada Pantai Ngrumpit di Yogyakarta dengan spesimen yang di uji yaitu batugamping, dan untuk mendapatkan hubungan antara uji beban titik dan uji kuat tekan uniaksial akan digunakan pendekatan statistika yaitu regresi.

METODE PENELITIAN

Kondisi Geologi daerah Gunung Kidul, Yogyakarta

Yogyakarta merupakan suatu cekungan yang bagian utaranya dibatasi oleh Gunung Merapi, bagian timurnya dibatasi oleh Pegunungan Selatan, bagian baratnya dibatasi oleh Pegunungan Kulon Progo, dimana bagian timur dan barat diisi oleh batuan berumur tersier, serta bagian selatannya dibatasi oleh Samudera Hindia. Batuan berumur tersier yang ada di Pegunungan Selatan dan Pegunungan Kulon Progo terdiri dari serial batuan klastik produk Gunungapi Purba (Formasi Nanggulan, Kebobutak, Wuni, dan Sambipitu) dengan kisaran umur sekitar 18-57 juta tahun silam, yang ditumpangi oleh serial batuan karbonat produk pengendapan laut dangkal (Formasi Wonosari, Jonggrangan, Kepek dan Sentolo) dengan kisaran umur 1.6-20 juta tahun silam (Husein & Srijono, 2010).

Bentangalam kars Yogyakarta berkembang secara eksklusif di bagian selatan Pegunungan Selatan, menempati kawasan yang dikenal sebagai Gunung Sewu. Dibatasi di bagian barat oleh bentangalam struktural yang memisahkannya dengan Dataran Rendah Yogyakarta, serta di bagian utara oleh Depresi Wonosari dan Pegunungan Panggung. Secara stratigrafis, bentangalam kars Gunung Sewu tersusun oleh satuan batugamping terumbu, batugamping berlapis bersifat tufan dan napalan (Surono dkk, 1992; Rahardjo dkk, 1995). Letak geografis dan kondisi lapangan daerah penelitian bisa dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Pantai Ngrumput via citra satelit



Gambar 2. Kondisi lapangan daerah penelitian

Penelitian sebelumnya

(D'andrea *et al*, 1964) menggunakan pendekatan statistika yaitu metode regresi linear untuk mencari hubungan antara uji kuat tekan uniaksial dan uji beban titik. (Broch & Franklin, 1972) menyatakan bahwa UCS dapat di perkirakan dengan persamaan $24.I_s$ dengan nilai $k=24$ pada conto standar (50mm). Mereka juga mengembangkan grafik koreksi ukuran conto, sehingga *core* dari berbagai diameter bisa digunakan untuk penentuan kekuatan batuan. (Bieniawski, 1975) menyatakan bahwa nilai UCS diperoleh dari persamaan $23.I_s$. (Hassani *et al*, 1980) melakukan uji beban titik dengan memperluas basis data pada specimen yang lebih besar, mereka juga merevisi grafik koreksi ukuran untuk ukuran standar (50mm) untuk inti diameter yang berbeda dan ditemukan faktor koreksi 29 yang paling sesuai. (ISRM, 1985) menyatakan bahwa nilai UCS diperkirakan dengan faktor koreksi 20-25 dikalikan I_s . Meskipun pada saat pengujian dari berbagai jenis batuan, kisaran bervariasi antara 15-50 terutama untuk batuan anisotropik, (Chau & Wong, 1996) mengusulkan rumus analitik sederhana untuk perhitungan UCS dari

uji beban titik dengan diameter conto (50mm), mereka menyatakan bahwa rasio UCS/ I_s tergantung pada rasio tekan ke kuat Tarik, nisbah poisson, Panjang dan diameter conto spesimen. Prediksi teoritis mereka sejalan dengan hasil percobaan mereka pada batuan granit dan tuff di Hongkong.

(Palchik & Hatzor, 2004) meneliti efek porositas pada kuat tekan dan kuat Tarik dan UCS/ I_s pada batu kapur, mereka menemukan bahwa rasio UCS/ I_s tidak konstan (kisaran 8-18) tetap bergantung pada porositas. Peningkatan porositas dari 18-40% menyebabkan penurunan dalam rasio UCS/ I_s dari 18-8. (Tsiambaos & Sabatakakis, 2004) meneliti pada kebanyakan batuan sedimen di yunani dan menyatakan bahwa rasio UCS/ I_s bervariasi dari 13 untuk batuan sedimen ($I_{s50} < 2$ Mpa) ke 20 untuk batuan keras ($I_{s50} > 5$ Mpa). (Kahraman, 2005) melakukan pengujian UCS, PLT, dan Porositas pada 38 batuan dengan klasifikasi berbeda (beku, sedimen, metamorf) dan menemukan bahwa terjadi korelasi meskipun tidak terlalu kuat, ketika batu tersebut di bagi kedalam 2 kelompok berdasarkan nilai porositas ($n < 1\%$ dan $n > 1\%$) korelasi terbaik dari pengujian didapatkan. (ASTM, 2008) menyatakan bahwa nilai

UCS/Is adalah 24 untuk semua tipe batuan. (Kim, 2012) meneliti pada batu gamping di Korea dan didapatkan nilai UCS/Is yaitu 26. Salah *et al*, (2014) menggunakan

persamaan eksponensial untuk mencari hubungan antara UCS dan Point Load pada batuan lemah di Uni Emirat Arab.

Persamaan untuk mengkorelasikan nilai UCS ke Is dapat dilihat dari Tabel 1, yang mana dari tabel tersebut bisa dilihat saran yang diberikan oleh berbagai macam peneliti memiliki jangkauan nilai yang bervariasi, sesuai dengan klasifikasi batuan dan lokasi penelitian.

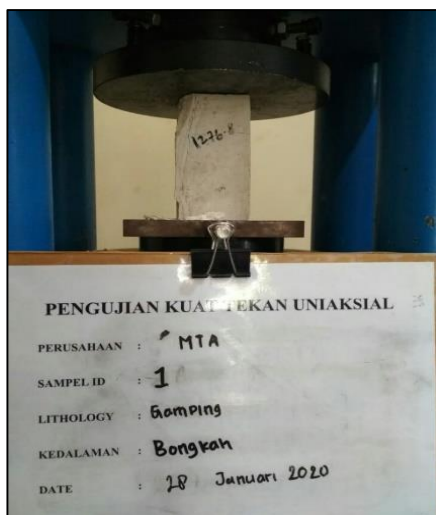
Tabel 1. Korelasi antara UCS dan PLI pada Penelitian Sebelumnya

Tipe Batuan	Persamaan	Peneliti
Three based rock type	$UCS = 15I_{s50} + 16.3$	D'andrea <i>et al</i> (1964)
Hard stong rock	$UCS = 24I_{s50}$	Broch dan Franklin (1972)
Hard stong rock	$UCS = 23I_{s50}$	Bieniawski (1972)
Hard stong rock	$UCS = 29I_{s50}$	Hassani <i>et al</i> (1980)
All rock type	$UCS = 20 \dots 25I_{s50}$	ISRM (1985)
Granite and tuff	$UCS = 12.5I_{s50}$	Chau dan Wong (1996)
Porus chalk	$UCS = 8 \dots 18I_{s50}$	Palchik dan Hatzor (2004)
Limestone, marlstone, and sandstone (power relation)	$UCS = 7.3(I_{s50})^{1.71}$	Tsiambaos dan Sabatakakis (2004)
Limestone, marlstone, and sandstone (linear relation)	$UCS = 23I_{s50}$	
All rock types (porosity < 1%)	$UCS = 24.83I_{s50} - 39.64$	Kahraman <i>et al</i> (2005)
All rock types (porosity > 1%)	$UCS = 10.22I_{s50} + 24.31$	
All rock types	$UCS = 24I_{s50}$	ASTM (2008)
Limestone	$UCS = 26I_{s50}$	Kim (2012)
Sedimentary rock	$UCS = 19.94I_{s50} - 4.84$	Kaya dan Karaman (2016)

Sampling dan pengujian

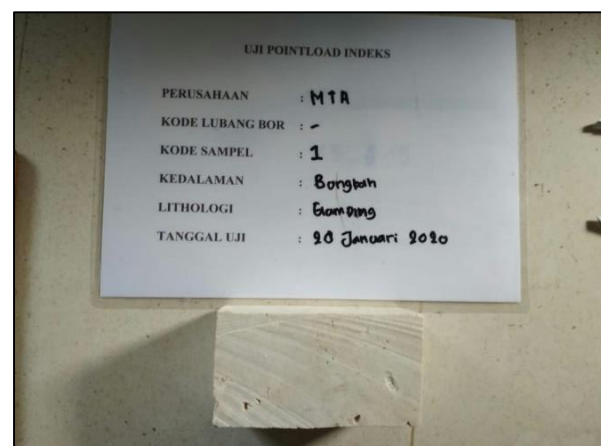
Sampel yang diambil di lokasi adalah batugamping dalam bentuk bongkah. Sampel kemudian dipotong menjadi bentuk persegi panjang sebelum dilakukan pengujian. Total sampel yang diambil ada 8 sampel yang diambil pada 4 titik di area pantai ngrumput. Dari total 8 sampel batuan, 4 sampel akan dilakukan uji kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive strength*), dan 4 akan dilakukan uji beban titik (*point load strength test*).

Sampel yang gunakan untuk pengujian kuat tekan uniaksial memiliki tinggi yang bervariasi antara 100,60 mm – 123,80 mm, dan diameter conto berkisar antara 56,40 mm – 65 mm. parameter yang di dapat dari pengujian kuat tekan uniaksial antara lain : Nilai kuat tekan uniaksial (MPa), modulus elastisitas (MPa), dan nisbah poisson. Sampel yang di ujikan untuk kuat tekan uniaksial bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengujian UCS

Untuk pengujian beban titik, tinggi sampel bervariasi antara 100,60 mm – 123,80 mm, dan diameter conto berkisar antara 54,6 mm – 65,9 mm. Parameter yang didapatkan dari uji beban titik adalah *index point load* (MPa). Selanjutnya dari hasil pengujian kuat tekan uniaksial dan pengujian beban titik, akan dilakukan analisis untuk melihat hubungan di antara dua variabel tersebut, serta faktor apa saja yang dapat mempengaruhi. Sampel hasil pengujian dari uji beban titik bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengujian PLT

Prediksi nilai UCS berdasarkan PLI (I_{s50})

Persamaan yang penulis gunakan untuk prediksi nilai UCS melalui PLI (I_{s50}) mengikuti persamaan dari (Kahraman dan Gunaydin 2009 ; Basu dan Kamran 2010) yaitu:

$$y = ax + b \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistik hasil pengujian dirangkum pada Tabel 2.

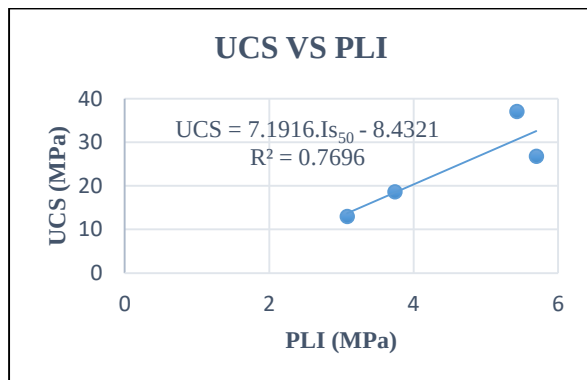
Tabel 2. Statistik UCS dan PLI (I_{s50})

Variabel	Minimum	Maximum	Median	Mean	S.D	Cv
UCS (Mpa)	12.96	37.06	22.67	23.84	10.47494	0.439385
PLI (Mpa)	3.08	5.7	4.585	4.4875	1.277794	0.284745

*S.D = Standar Deviasi, Cv = Koefisien Variasi

Dari tabel diatas diketahui nilai UCS berkisar antara 12.96 – 37.06 MPa, nilai PLI berkisar antara 3.08 – 5.7 MPa, Rata-rata untuk nilai UCS adalah 23.84 MPa dan rata-rata untuk nilai PLI adalah 4.48 MPa.

Simpangan baku untuk nilai UCS adalah 10.47 dan untuk nilai PLI adalah 1.27. penyimpangan yang terjadi pada simpangan baku belum tentu menunjukkan bahwa kedua komponen tidak saling berhubungan, oleh karena itu hasil dari standar deviasi akan kita gunakan untuk menghitung koefisien variasi. Cv (koefisien variasi) didapatkan dengan cara membagikan simpangan baku dengan rata-rata (*mean*). Dalam beberapa penelitian, koefisien variasi juga dinyatakan dalam persentase (%). Nilai koefisien variasi untuk UCS adalah 0.43, sedangkan nilai koefisien variasi untuk PLI adalah 0.28. dari nilai koefisien variasi yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa penyebaran / variabilitas data antar UCS dan PLI mirip, meskipun variabilitas data dari PLI lebih baik dari UCS. Hasil dari analisis regresi bisa dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Analisis Regresi

Dari grafik diatas didapatkan persamaan regresi linear sebagai berikut :

$$UCS = 7.1916.I_{s50} - 8.4321 \quad (2)$$

Dari grafik diatas, didapatkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.7696 atau 76.96 %. Namun penggunaan koefisien determinasi dalam menentukan baik tidaknya hubungan antara 2 variabel banyak menimbulkan kritikan, (Ozer, 1985) mengkritik penggunaan R^2 sebagai indikator baik tidaknya hubungan antar 2 variabel, dan mengusulkan koefisien korelasi (r) digunakan sebagai indikator baik tidaknya hubungan antara 2 variabel. Dan dari hasil pengujian didapatkan koefisien korelasi (r) sebesar 0.8772 atau 87.72 %,

artinya baik UCS maupun PLI, keduanya memiliki hubungan yang baik. Sehingga Persamaan 2 bisa digunakan untuk mengestimasi nilai UCS melalui PLI.

Untuk mengestimasi kesalahan dari hasil analisis regresi, penulis menggunakan RMSE (*root mean square error*). RMSE (Chae dan Draxler, 2014) digunakan untuk membandingkan kesalahan model regresi linear yang dipakai dengan 2 model regresi lain yang umum digunakan untuk mengestimasi nilai UCS melalui PLI, yaitu model regresi eksponensial dan model regresi *power*. RMSE dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

Keakuratan model regresi diindikasikan dengan nilai RMSE yang kecil. Model regresi yang mempunyai RMSE lebih kecil dikatakan lebih akurat daripada model regresi yang mempunyai RMSE lebih besar. Hasil dari perhitungan RMSE (*root mean square error*) bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Statistik UCS dan PLI (I_{s50})

Persamaan	RMSE
$UCS = 7.1916I_{s50} - 8.4321$	4.354
$UCS = 5.1077e^{0.3265I_{s50}}$	4.7057
$UCS = 2.7235I_{s50}^{1.4235}$	4.4501

Dari hasil perhitungan RMSE, didapatkan model regresi linear memiliki kesalahan terkecil, sehingga dinilai lebih akurat dibandingkan dengan model regresi eksponensial dan *power*.

KESIMPULAN

Uji beban titik (PLI) telah banyak digunakan sebagai alternatif dari Uji kuat tekan uniaksial (UCS). Banyak peneliti yang telah menggunakan uji beban titik sebagai alternatif penentuan kekuatan batuan utuh (Broch dan Franklin 1972; Kim 2012) yang hasilnya bervariasi tergantung dari lokasi penelitian. Hasil penelitian di Pantai Ngrumput, Yogyakarta dengan sampel batugamping adalah sebagai berikut: (i) nilai UCS batugamping berkisar antara 12.96 – 37.06 MPa, dan nilai PLI dari batugamping berkisar antara 3.08 – 5.7 MPa; (ii) korelasi antara nilai UCS dan PLI ditunjukkan lewat persamaan $UCS = 7.1916I_{s50} - 8.4321$; (iii) model regresi linier adalah model paling cocok untuk

mengekspressikan hubungan antara UCS dan PLI, dibuktikan dari hasil perhitungan RMSE (*root mean square error*) dimana model regresi linier memiliki tingkat kesalahan terkecil dibanding metode lainnya; (iv) diperoleh hubungan yang kuat antara nilai UCS dan PLI, nilai koefisien korelasinya yaitu 0.8772 atau 87.72 %.

Dari hasil perhitungan koefisien variasi (Cv), dapat disimpulkan bahwa penyebaran / variabilitas data antar UCS dan PLI mirip, meskipun variabilitas data dari PLI lebih baik dari UCS. Adanya variabilitas ini diduga karena titik pengambilan sampel yang berbeda, serta pengaruh porositas pada tiap sampel yang berbeda, dan memerlukan penelitian lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada teman-teman MTA angkatan 32 yang telah membantu dalam pengambilan sampel, serta kepada Dr. Ir. S. Koesnaryo, M.Sc, IPM selaku *founder* Laboratorium Asia Rock Test dan seluruh pengurus laboratorium yang telah membantu pengujian sampel demi kepentingan penelitian.

REFERENSI

- ASTM., 2008, *D5731 Standard test method for determination of the point load strength index of rock and application to rock strength classifications*. West Conshohocken. USA: ASTM International; 2008b.
- Basu, A. & Kamran, M., 2010. Point load test on schistose rocks and its applicability in predicting uniaxial compressive strength. *Int J Rock Mech Min Sci*, 47(5), pp. 823–828.
- Bieniawski, Z. T., 1975. The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9(1), pp. 1-11.
- Broch, E. & Franklin, J. A., 1972. The point-load strength test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, 9(6), pp. 669-697.
- Chae, T. & Draxler, R. R., 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev*, 7, pp. 1247–1250.
- Chau, K. T. & Wong, R. H. C., 1996. Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech*, 33(2), pp. 183–188.
- D'Andrea, D. V., Fisher, R. L., & Fogelson, D. E., 1964. Prediction of compression strength from other rock properties. *Colorado Sch Min Q*, 59(4B), pp. 623–640.
- Elhakim, A. F., 2015. The use of point load test for Dubai weak calcareous sandstones. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(2015), pp. 452-457.
- Hassani, F. P., Scoble, M. J., & Whittaker, B. N., 1980. Application of the point load index test to strength determination of rock and proposals for a new size correction chart. *Proceedings of 21st US Symposium. Rock Mech, Rolla*, pp. 543–553.
- ISRM, 1985. Suggested method for determining point load strength. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech*, 22(2), pp. 51–60.
- Kahraman, S. & Gunaydin, O., 2009. Correlation Between Point Load Index and Uniaxial Compressive Strength for Different Rock Types. *Bull Eng Geol Environ* (2009) 68, pp. 345–353.
- Kaya, A. & Karaman, K., 2015. Utilizing the strength conversion factor in the estimation of uniaxial compressive strength from the point load index. *Bull Eng Geol Environ*.
- Kim, G. M., Kim, D. H., Kang, J. S., Kang, S. S., & Baek, H., 2012. A study of the correlation between uniaxial compressive strength and point load strength index of limestone of Imgye area. *Tunnel and Underground Space*, 22(5), pp.330-338.
- Ozer, D. J., 1985. Correlation and the coefficient of Determination. *Psychological Bulletin*, 97(2), pp. 307-315.
- Palchik, V. & Hatzor, Y. H., 2004. The influence on tensile and compressive strength of porous chalks. *Rock Mech Rock Eng*, 37(4), pp. 331–341.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi., & Rosidi H. M. D., 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Salah, H., Omar, M., & Shanableh, A., 2014. Estimating unconfined compressive strength of sedimentary rocks in United Arab Emirates from point load strength index. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 2014(2), pp. 296-303.
- Singh, T. N., Kainthola, A., & Venkatesh, A., 2012. Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45(2), pp. 259-264.
- Srijono & Husein, S., 2010. Peta Geomorfologi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Simposium Geologi Yogyakarta - 23 Maret 2010*.
- Surono, B., Toha, Ign, & Sudarno, 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta-Girintontro, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Tsiambaos, G. & Sabatakakis, N., 2004. Considerations on strength of intact sedimentary rocks. *Eng Geol*, 72, pp. 261–273.