

STUDI PENGARUH SUDUT PERLAPISAN TERHADAP KUAT TEKAN UNIAKSIAL BATUAN TUFF

Oleh:

S. Saptono^a, R. Hariyanto^a, S.B., Waterman^a, I. Titisariwati^a, S. Mualim^a

^a Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta
Jl. SWK 104 Condongcatur Yogyakarta 55283
email: singgihseptono@upnyk.ac.id

RINGKASAN

Keberadaan bidang diskontinuitas salah satunya adalah sudut bidang perlapisan di massa batuan akan mempengaruhi kekuatan massa batuan. Hingga saat ini penentuan kekuatan batuan merupakan sesuatu yang paling sukar untuk ditentukan sebagai salah satu sifat ketidakpastian kekuatan batuan. Sehingga banyak upaya penelitian dalam rangka menentukan kekuatan batuan tersebut, dari penelitian laboratorium, pengujian fisik, pengujian skala besar dan berdasarkan klasifikasi massa batuan. Kekuatan batuan sangat diperlukan di pekerjaan kebumian seperti penentuan stabilitas lereng dan lubang bukaan. Penelitian ini adalah salah satu upaya untuk menentukan kekuatan massa batuan yang berhubungan dengan pengaruh sudut perlapisan pada batuan lemah.

Pada penelitian ini menggunakan contoh batuan tuff dari Dusun Kedungpring, Desa Bawuran, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul, Provinsi D.I. Yogyakarta. Hasil pengujian kuat tekan uniaksial termasuk batuan lemah. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan adanya pengaruh bidang diskontinu terhadap kuat tekan uniaksial, dan mempunyai kecenderungan berbentuk U seperti pada batuan beku dan batuan metamorf, dengan arah tegak lurus dan sejajar tegangan utama memberikan kekuatan yang terbesar, dan pada kemiringan 30 derajat terhadap arah tegangan utama memberikan kekuatan yang terkecil. Hasil ini membuktikan bahwa di batuan lemah seperti di daerah tropik, khususnya daerah Bawuran juga berlaku kuat tekan batuan dipengaruhi oleh sudut bidang perlapisan.

Kata Kunci: Batuan Tuff, Kuat Tekan Uniaksial, Batuan Lemah, Bentuk – U.

1. PENDAHULUAN

Di alam massa batuan merupakan sekelompok batuan utuh dan masing-masing dipisahkan oleh bidang diskontinuitas. Massa batuan adalah batuan insitu yang mengandung bidang diskontinu seperti kekar, sesar, dan bidang perlapisan (Brown, dkk, 2004). Kekuatan massa batuan sangat dipengaruhi oleh bidang diskontinu yang terbentuk. Oleh sebab itu massa batuan mempunyai kekuatan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan batuan utuh, sehingga perlu dilakukan pengujian mekanik di laboratorium untuk mengetahui pengaruh diskontinuitas terhadap kekuatan batuan.

Pada penelitian ini akan mengkaji pengaruh bidang diskontinu (bidang perlapisan) terhadap kuat tekan uniaksial, dan batuan yang akan dilakukan penelitian yaitu batu *tuff*. Batu *tuff* memiliki bidang diskontinu berupa bidang perlapisan yang jelas terdefinisi. Bidang perlapisan yang akan dilakukan penelitian memiliki kemiringan 0° (tegak lurus dengan tegangan utamanya), 30°, 60°, dan 90°. Pengujian di laboratorium dilakukan untuk memperoleh data komposisi mineral batuan, bobot isi, porositas, cepat rambat gelombang ultrasonik dan kuat tekan uniaksial. Data yang diperoleh dikorelasikan dan dikaji untuk mengetahui pengaruh diskontinuitas pada kuat tekan uniaksial batu *tuff*.

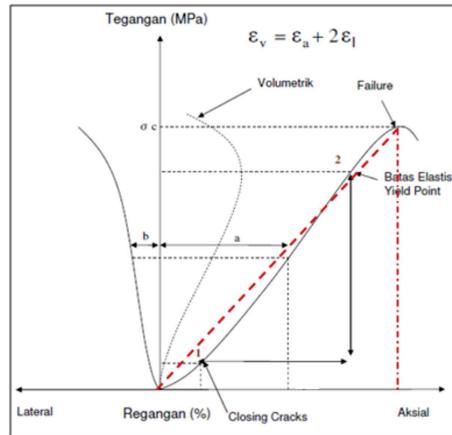
Penelitian yang dilakukan Brown dkk. (1977) dan Salcedo (1983) diterapkan untuk batuan *Devonian slate* dan *Graphitic phyllite*, demikian juga oleh Goshtasbi, Ahmadi, dan Sayedi (2006) pada batu sabak. Hasil penelitian batuan beku dan metamorf menunjukkan bahwa ada pengaruh bidang diskontinu terhadap kuat tekan. Sehingga penelitian ini mempunyai tujuan adalah untuk menganalisis pengaruh diskontinuitas (bidang perlapisan) pada kuat tekan uniaksial batu *tuff*.



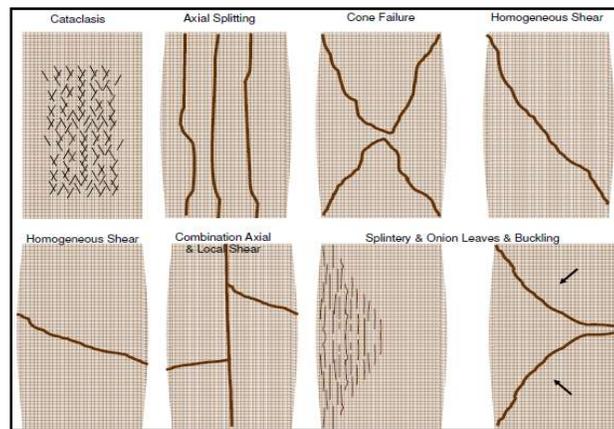
2. TELAAH PUSTAKA

2.1. Kurva Tegangan dan Regangan

Gambar 1 menunjukkan perilaku dari pengujian kuat tekan uniaksial batuan utuh (Bieniawski, 1989). Pada tahap awal batuan, kurva berbentuk landai dan tidak linier yang berarti bahwa gaya yang diterima oleh batuan dipergunakan untuk menutup rekahan awal (*pre-existing cracks*) yang terdapat di dalam batuan. Setelah itu kurva menjadi linier sampai batas tegangan tertentu yang kita kenal dengan batas elastik lalu terbentuk rekahan baru dengan perambatan stabil sehingga kurva tetap linier. Setelah batas elastik dilewati maka perambatan rekahan menjadi tidak stabil, kurva tidak linier lagi dan tidak berapa lama kemudian batuan akan hancur. Titik hancur ini menyatakan kekuatan batuan.



Gambar 1. Kurva Tegangan Regangan Uji Kuat Tekan Uniaksial (Bieniawski, 1989)



Gambar 2. Tipe Pecah Contoh Batu Uji Hasil Kuat Tekan Uniaksial L/D=2 (Kramadibrata, 1990)

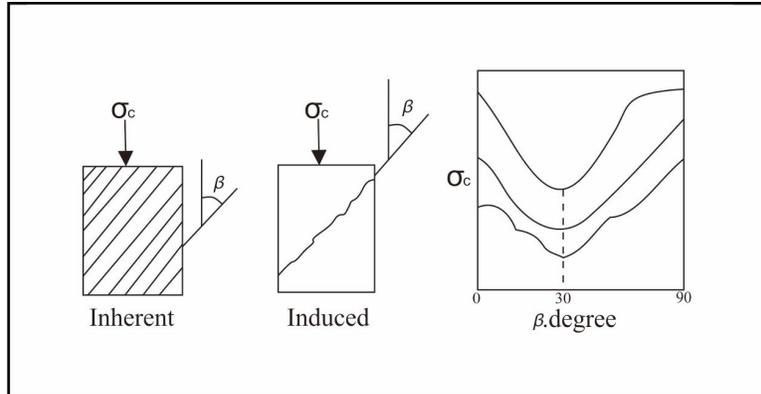
Penyebaran tegangan di dalam contoh batu secara teoritis adalah searah dengan gaya yang dikenakan pada contoh tersebut. Keadaan ideal ini hanya dapat dicapai jika persyaratan kualitas contoh batu uji dan susunan contoh batu uji dengan plat penekan dipenuhi dengan baik, yaitu bahwa kedua muka contoh batu uji parallel dan rata serta tegak lurus terhadap sumbu pembebanan mesin tekan. Mekanisme pecahnya batuan getas dengan kondisi kekakuan mesin tekan yang tidak terlalu besar akan bersifat *violent* dan disebut sebagai fraktur getas (*brittle fracture*). Menurut Griffith (1921) bahwa arah retakan dari sebuah material getas akan sesuai dengan tegangan utama maksimumnya. Sehingga bila persyaratan kondisi ideal pengujian telah dipenuhi maka contoh uji batuan getas akan pecah secara vertikal yang searah dengan pembebanan maksimumnya, yaitu tegangan aksial dan mekanisme pecahnya bersifat fraktur getas. Tergantung dari jenis batuan, kondisi rekahan awal (*pre-existing cracks*) pada contoh batu uji dan sistem kuat tekan yang digunakan untuk pengujian, maka bentuk pecah contoh batu uji akan bervariasi mulai



katakklisis, *axial splitting*, pecah kerucut (*cone failure*), *homogeneous shear*, *combination axial & local shear*, dan *splintery & onio leaves & buckling*. Semua model tersebut dapat dilihat di gambar dan beberapa contoh nyata (Gambar 2).

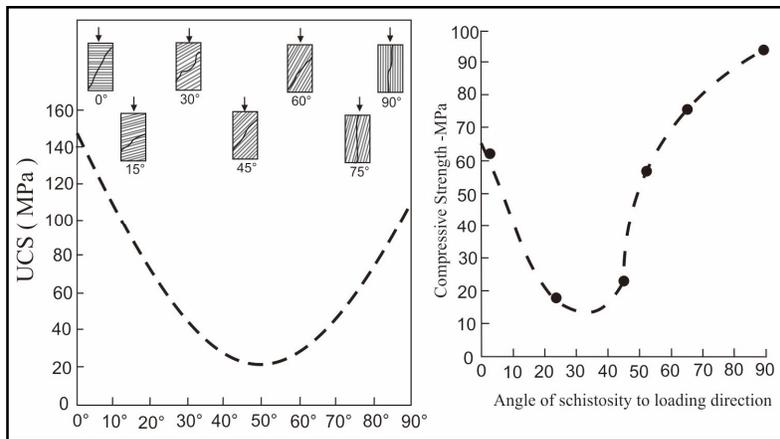
2.2. Pengaruh Anisotropik Pada Nilai Kuat Tekan Uniaksial

Penelitian terdahulu (Brown dkk., 1977; Salcedo ,1983 dan Goshtasbi, Ahmadi, & Sayedi, 2006) menyatakan bahwa ada pengaruh anisotropic terhadap kuat tekan uniaksial dan hasilnya bahwa kekuatan batuan di batuan dengan kemiringan lapisan akan memberikan nilai maksimum pada posisi sudut $\beta = 0^\circ$ atau 90° dan nilai minimumnya biasanya berada pada sekitar $\beta = 30^\circ$, atau lebih tepatnya pada $(45-\phi/2)$ dengan ϕ adalah sudut gesek dalam sepanjang bidang geser atau lemah dimana batuan akan terpisah untuk salah satunya menggelincir (Gambar 3).



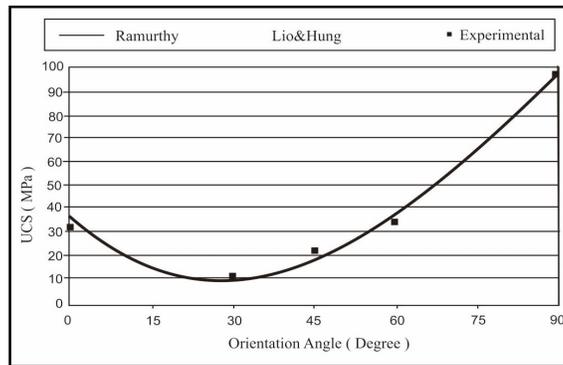
Gambar 3. Hubungan Umum Antara Anisotropik Dengan Nilai Kuat Tekan (Brown, Dkk (1977) Dalam Astawa Rai, Dkk,2012)

Sedangkan penelitian pengaruh anisotropik terhadap kuat tekan uniaksial oleh Brown, dkk (1977) dan Salcedo (1983) pada batuan *devonianslate* dan *graphiticphyllite* menemukan bahwa kuat tekan minimum terjadi disekitar 30° hingga 50° (Gambar 4) tidak berbeda dengan sebelumnya, penelitian pengaruh anisotropik terhadap kuat tekan uniaksial batu sabak oleh Goshtasbi, Ahmadi, dan Seyedi (2006) menunjukkan bawa kuat tekan minimumnya pada $\beta = 30^\circ$ dan kuat tekan maksimumnya pada $\beta = 40^\circ$ atau 90° (Gambar 5) (Astawa Rai, dkk,2012).



Gambar 4. Pengaruh Arah Pembebanan Pada Kuat Tekan Batuan Devonian Slate & Graphitic Phyllite (Brown, Dkk (1977) & Salcedo (1983) Dalam Astawa Rai, Dkk 2012)

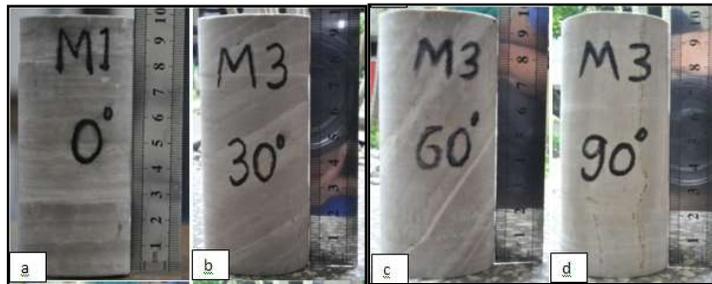




Gambar 5. Percobaan Dan Kurva Prediksi Kuat Tekan Uniaksial Batu Sabak (Ahmadi Goshtasbi & Seyedi (2006) Dalam Astawa Rai, Dkk, 2012)

3. PENGUJIAN

Pengujian di laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui sifat mekanik maupun sifat fisik batu tuff, serta memperkirakan pengaruh bidang diskontinuitas pada batu tuff. Metode pengujian yang dilakukan di dalam penelitian ini adalah uji laboratorium antara lain: uji petrografi, uji sifat fisik, uji ultrasonik, dan uji kuat tekan uniaksial. Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu harus dilakukan preparasi dengan melakukan pengeboran inti pada blok batu yang diambil dari lapangan. Contoh yang didapat berbentuk silinder dengan diameter 45 mm kemudian dipotong dengan mesin pemotong (Gambar 6) agar didapatkan tinggi sekitar dua kali diameter.



Gambar 5. Contoh batuan tuff dengan sudut perlapisan (a) 0°, (b) 30°, (c) 60° dan (d) 90°

Pengujian Kuat Tekan Uniaksial dilakukan di Laboratorium Mekanika Batuan, Program Studi Teknik Pertambangan, FTM, UPN "Veteran" Yogyakarta dengan menggunakan mesin tekan *compression machine* (Gambar 6) dan dalam pembebanannya mengikuti standar dari *International Society Rock Mechanics* (ISRM, 1981). Laju tegangan didefinisikan sebagai perkalian antara Laju Regangan dengan Modulus Young (konstanta elastik), dan menurut standar Laju Tegangan adalah antara 0,5 – 1,0 MPa/detik.

3.1. Sifat Fisik

Data hasil pengujian sifat fisik tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Batu Tuff

Contoh	ρ_n (gr/cm ³)	ρ_d (gr/cm ³)	ρ_s (gr/cm ³)	w (%)	S (%)	n (%)	e
I	1,48	1,23	1,70	16,09	45,16	19,51	0,24
II	1,41	1,21	1,64	21,94	60,66	27,01	0,37
III	1,45	1,21	1,68	15,62	45,82	20,03	0,25
IV	1,5	1,28	1,72	14,94	38,77	18,38	0,22



3.2. Uji Kuat Tekan Uniaksial

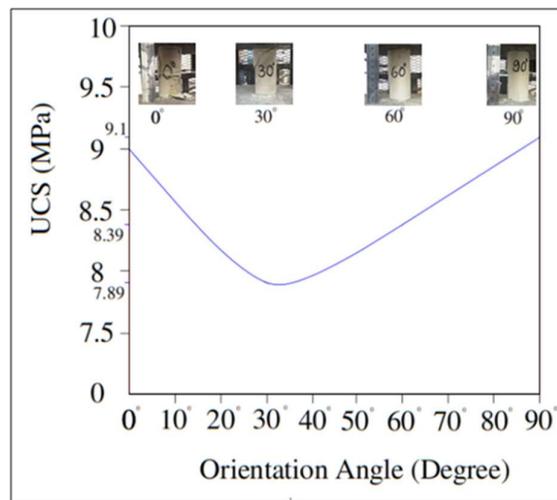
Uji Kuat Tekan Uniaksial dilakukan di Laboratorium Mekanika Batuan, Program Studi Teknik Pertambangan, FTM, UPN "Veteran" Yogyakarta. Hasil uji kuat tekan batu *tuff* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Batu *Tuff*

Parameter	Kemiringan			
	0°	30°	60°	90°
Kuat tekan (σ_c) - MPa	9,03	7,89	8,39	9,10
Modulus Young (E) - MPa	2150	1672,72	1717,39	2525
Nisbah Poisson (ν)	0,13	0,12	0,25	0,14

4. DISKUSI

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan mengklasifikasikan kekuatan dari batuan. Berdasarkan pengujian kuat tekan uniaksial diperoleh beberapa parameter kuat tekan uniaksial yakni kuat tekan uniaksial (σ_c) yang merupakan puncak garis aksial sebelum mengalami deformasi (σ_E), Modulus Young (E) yang merupakan hasil perbandingan $\Delta\sigma$ dengan $\Delta\epsilon$, dan Nisbah Poisson (ν) yang merupakan perbandingan antara regangan lateral dan regangan aksial. Parameter tersebut diperoleh dari interpretasi kurva tegangan regangan. Dari hasil pengujian kuat tekan uniaksial masing-masing percontona batu dapat dibuat grafik membentuk U-Shape seperti bentuk untuk batuan beku dan batuan metamorf (Gambar 6).



Gambar 6. Pengaruh Diskontinuitas pada UCS Batu *Tuff* Hasil Pengujian

Pada batu *tuff* yang dilakukan pengujian diperoleh nilai kuat tekan maksimumnya berada pada posisi sudut $\beta = 90^\circ$ ($\sigma = 9,53$ MPa) dan nilai minimumnya berada pada sekitar $\beta = 30^\circ$ ($\sigma = 7,89$ MPa). Nilai kuat tekan uniaksial dibawah 25 MPa, maka batuan yang diuji termasuk kedalam kelas batuan lunak berdasarkan ISRM 1981.

Untuk mengetahui pengaruh diskontinu pada kuat tekan uniaksial batu *tuff*, perlu membandingkan nilai kuat tekan hasil pengujian dengan penelitian sebelumnya (Tabel 3 dan 4). Berdasarkan perubahan nilai kuat tekan uniaksial dari penelitian sebelumnya terlihat bahwa batuan beku dan metamorf dengan nilai kuat tekan 37 MPa –146 MPa mengalami perubahan penurunan dan peningkatan nilai kuat tekan sebesar 80,14%, sedangkan pada batu *tuff* dengan nilai kuat tekan di bawah 10 MPa atau lebih tepatnya 9 MPa menunjukkan bahwa perubahan penurunan dan peningkatan nilai kuat tekan sebesar 12,2%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada batuan *tuff* juga berlaku pengaruh sudut perlapisan terhadap kuat tekan dengan perbedaan yang relative kecil (Gambar 7). Dengan demikian bahwa pada analisis baik untuk stabilitas lereng dan lubang bukaan dapat diasumsikan mempunyai berperilaku homogen (Saptono, 2012).



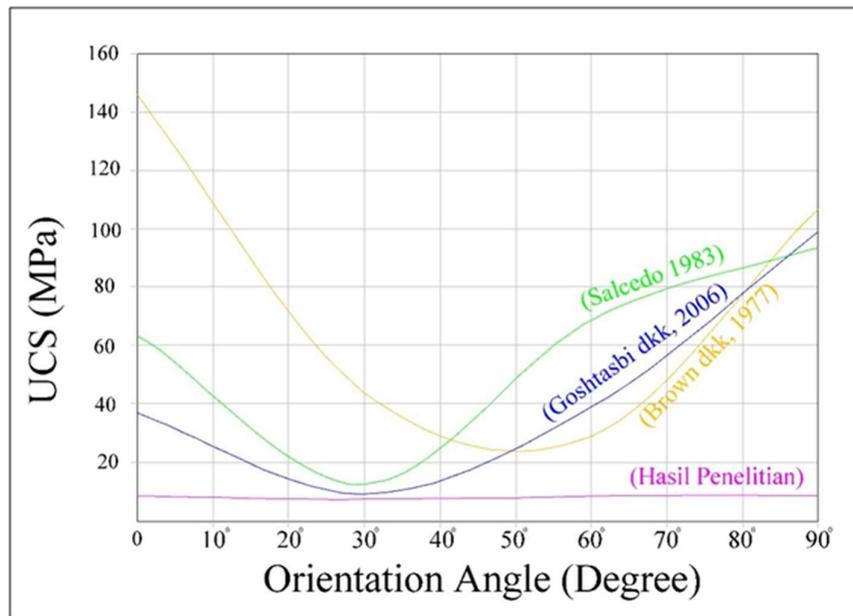
Tabel 3. Nilai Kuat Tekan Uniaksial Batuan

Batuan	UCS (MPa)			
	0°	30°	60°	90°
<i>Devonian Slate</i> (Brown dkk 1977)	146	44	29	107
<i>Graphitic phyllite</i> (Salcedo 1983)	64	13	69	94
Sabak (Goshtasbi, Ahmedi & Sayedi 2006)	37	9,5	39	99
<i>Tuff</i> (Pleret, Bantul, DIY, Indonesia)	9	7,89	8,39	9,1

Berdasarkan hasil nilai kuat tekan uniaksial pada masing-masing batuan maka dapat diperoleh persentase perubahan nilai kuat tekan batuan (Tabel 4).

Tabel 4. Perbandingan Persentase Perubahan Nilai Kuat Tekan Batuan

Sudut	Persentase Perubahan Nilai Kuat Tekan Batuan			
	<i>Devonian Slate</i>	<i>Graphitic Phyllite</i>	Sabak	<i>Tuff</i>
0° - 30°	69,86%	54,25%	27,77%	12,2%
0° - 60°	80,14%	5,72%	2,02%	6,7%
0° - 90°	26,71%	31,92%	62,63%	1,1%



Gambar 7. Pengaruh Sudut Perlapisan terhadap Kuat Tekan Batuan

5. KESIMPULAN

Nilai kuat tekan batu *tuff* 0° = 9,03 MPa, 30° = 7,89 MPa, 60° = 8,39 MPa, 90° = 9,10 MPa. Dengan nilai kuat tekan dibawah 25 MPa batuan termasuk batuan yang lunak (ISRM 1981) dan Menurut *Bieniawski* (1989) & *Tamrock* (1988) batu *tuff* termasuk batuan yang sangat lunak. Berdasarkan perubahan nilai kuat tekan uniaksial dari penelitian sebelumnya terlihat bahwa batuan beku dan metamorf dengan nilai kuat tekan 37 MPa-146 MPa mengalami perubahan penurunan dan peningkatan nilai kuat tekan sebesar 80,14%, sedangkan pada batu *tuff* dengan nilai kuat tekan di bawah 10 MPa atau lebih tepatnya 9 MPa menunjukkan bahwa perubahan penurunan dan peningkatan nilai kuat tekan sebesar 12,2%. Pada batuan yang lunak (kurang dari 10 MPa) dan batuan yang keras (37 MPa-146 MPa) memperlihatkan adanya pengaruh



diskontinuitas. Sehingga pada saat analisis lereng dan lubang bukaan di batuan tuff dapat digunakan pendekatan homogen.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ketua Program Studi Teknik Pertambangan dan Ketua Laboratorium Mekanika Batuan Prodi Teknik Pertambangan FTM-UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah member fasilitas terhadap penelitian pengaruh kekasaran permukaan bidang geser terhadap parameter kuat geser, dan seluruh mahasiswa dan teknisi yang terlibat dalam pengujian di laboratorium dan karakterisasi massa batuan di lapangan.

DAFTAR BACAAN

1. Astawa Rai, Kramadibrata .S, Wattimena .R.K., 2012, Mekanika Batuan, Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang, Institut Teknologi Bandung.
2. Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, John-Wiley, New York.
3. Brown, E.T., Richard, L.R., and Barr, M.V., 1977, Shear strength characteristics of Delabole slate. Proceedings Conference on Rock Engineering, New Castle Upon Tyne, pp. 31-51.
4. Brown, E.T., 1981, *Rock Characterization Testing and Monitoring*, ISRM Suggested Methods, Oxford, Pergamon.
5. Goshtasbi. H, M. Ahmadi, and J. Seyedi., 2006, Anisotropic strength behaviour of slates in the Sirjan-Sanandaj zone. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy Volume 106 January.
6. Griffith, A.A., 1921, *The Phenomenon of Rupture and Flow in Solids*, Philodophical Transactions of The Royal Society of London, Page 163-198.
7. Griffith, A.A., 1925, *The Theory of Rupture*, In: Biezeno, Burgers (Eds.), Proc. 1st Int. Congr. Appl. Mech. Waltman, Delft, Page 55-63.
8. Kramadibrata, S., Saptono, S., Wicaksana, Y., Prasetyo H. S., 2009, *Soft Rock Behavior with Particular Reference to Coal Bearing Strata*, The 2nd International Symposium of Novel Carbon Resource Science and Technology, Joint Symposium Kyushu University – Institut Teknologi Bandung.
9. Saptono, S., 2012., Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara. Disertasi Doktor, Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.
10. Salcedo, D.A., 1983., Macizos Rocosos: Caracterizacion resistencia al Corte y Mecanismos de Rotura, Proc. 25 Aniversario Conferencia Soc. Venezolana de Mecanica del Suelo e Ingenieria de Fundaciones, Caracas. 143-172.

