

ANALISIS KEKUATAN MASSA BATUAN PADA LAPISAN BATUGAMPING BERONGGA DENGAN MENGGUNAKAN KAIDAH HOEK-BROWN *FAILURE CRITERION-ROCLAB* DI TAMBANG KUARI BLOK SAWIR TUBAN JAWA TIMUR

R. Andy Erwin Wijaya¹ dan Dianto Isnawan²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional

²Jurusan Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional

Email: andy_sttnas@yahoo.com

Abstrak

Sifat massa batuan dengan kondisi yang bervariasi terdapat pada tambang batugamping yang terletak di daerah Blok Sawir, Kabupaten Tuban, Propinsi Jawa Timur khususnya pada zona *cavity layer*. Zona *cavity layer* merupakan lapisan batugamping berongga yang terlihat pada lereng tambang. Pada zona tersebut terdapat banyak rongga-rongga dalam batuan yang disebabkan oleh proses pelarutan. Zona *cavity* tersebut sangat berpotensi sebagai zona lemah dalam tambang kuari batugamping. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan massa batuan dalam zona *cavity layer* dengan menggunakan kaidah Hoek-Brown *Failure Criterion*. Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan induktif. Data - data yang diperlukan untuk analisis tersebut meliputi: nilai kuat tekan (UCS) batuan, berat jenis batuan, nilai *Geological Strength Index* (GSI), jenis litologi batuan, faktor pengganggu dan jenis aplikasi (untuk lereng). Hasil analisis kekuatan massa batuan tersebut akan digunakan sebagai dasar untuk perancangan geometri lereng penambangan.

Kata kunci :kekuatan massa batuan, batugamping berongga.

1. Pendahuluan

Proses-proses geologi yang terjadi selama dan setelah pembentukan batuan mempengaruhi sifat massa batuan (*rock mass properties*). Keadaan massa batuan di alam cenderung tidak ideal dalam beberapa hal (Goodman, 1989), seperti heterogen, anisotrop dan tidak menerus (diskontinuitas). Bidang diskontinuitas menyebabkan kekuatan dan tegangan dalam massa batuan tidak terdistribusi secara merata, sehingga terjadi gangguan keseimbangan (Hudson & Harrison, 1997). Orientasi diskontinuitas merupakan faktor geologi utama lain yang mempengaruhi stabilitas batuan, termasuk keadaan airtanah dan pelapukan turut menentukan sifat massa batuan (Wyllie & Mah, 2004).

Sifat massa batuan dengan kondisi yang bervariasi terdapat pada tambang batugamping yang terletak di daerah Blok Sawir, Kabupaten Tuban, Propinsi Jawa Timur khususnya pada zona *cavity layer*. Metode penambangan yang digunakan adalah kuari. Metode ini merupakan metode penambangan yang mudah untuk dikerjakan, dimana dapat dikerjakan dengan menggunakan teknologi dan peralatan yang relatif sederhana. Untuk menerapkan metode ini harus membuat desain penambangan berupa jenjang-jenjang (*bench*) pada lereng dengan kemiringan tertentu yang aman. Dalam pembuatan jenjang-jenjang tersebut harus memperhatikan kualitas

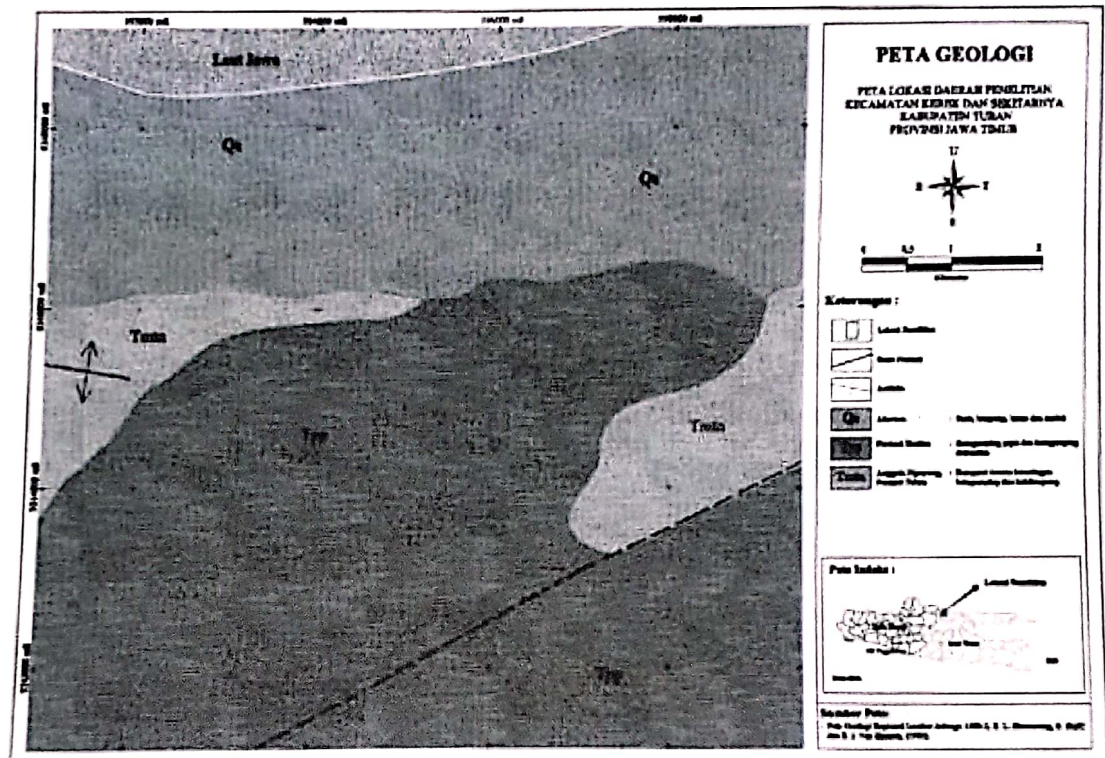
massa batuan yang akan digali, sehingga tambang kuari batugamping dapat berjalan secara optimal dan aman bagi keselamatan operator, peralatan dan lingkungan sekitarnya. Terdapat beberapa cara untuk mengetahui kekuatan massa batuan, salah satunya yaitu menggunakan kaidah Hoek-Brown *Failure Criterion*. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan kualitas massa batuan yang terdapat di permukaan, seperti pada zona *cavity layer* yang merupakan lapisan batugamping berongga. Zona *cavity* tersebut sangat berpotensi sebagai zona lemah dalam tambang kuari batugamping.

2. Tinjauan Pustaka Geologi Regional

Zona Tuban termasuk dalam Cekungan Jawa Timur Utara. Zona Tuban meliputi pantai utara Pulau Jawa yang membentang dari Tuban ke arah timur melalui Lamongan, Gresik, dan hampir keseluruhan Pulau Madura. Daerah ini merupakan dataran yang berundulasi dengan jajaran perbukitan yang berarah barat-timur dan berselingan dengan dataran aluvial. Pada Zona Tuban terdapat banyak perbukitan dan pegunungan lipatan Antiklinorium yang memanjang ke arah Barat - Timur, dari Kota Purwodadi melalui Blora, Jatirogo, Tuban sampai Pulau Madura. Morfologi di Jalur Tuban dapat dibagi menjadi 3 satuan, yaitu Satuan Morfologi dataran rendah,

perbukitan bergelombang dan Satuan Morfologi perbukitan terjal, dengan punggung perbukitan tersebut umumnya memanjang herarah Barat - Timur (searah dengan sumbu lipatan). Daerah penelitian menurut Pringgoprawiro (1983) dan Situmorang, dkk.(1992) terbentuk oleh batuan karbonat anggota Formasi Paciran. Penamaan formasi ini diambil dari kota Paciran dan dipakai untuk penamaan satuan batugamping yang banyak tersingkap di daerah tinggian Tuban, Jatirogo dan Sawir, Tuban. Formasi ini tersusun oleh

batugamping pejal dan batugamping dolomitan. Berdasarkan peta geologi lembar Jatirogo (Gambar 1), seluruh daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Paciran (Situmorang dkk. 1992). Struktur di zona Tuban yang dapat teramati dengan jelas adalah berupa struktur lipatan yang berupa sinklin dan antiklin. Zona Tuban ini tersusun oleh batuan hasil pengendapan sedimen laut yang telah mengalami perlipatan dan pensesaran secara intensif.



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian

Kekuatan Massa Batuan

Kriteria Runtuhan Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb, seperti pada persamaan 1 (Hoek et al., 2002). Besar nilai kekuatan batuan dapat diketahui seperti *compressive strength* dan *tensile strength* (persamaan 2 dan 3).

Hoek-Brown failure criterion :

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \quad (1)$$

Besar nilai *uniaxial compressive strength* (σ_c)

diperoleh saat $\sigma_3' = 0$, maka :

$$\text{Compressive strength} : \sigma_c = \sigma_{ci} \cdot S^a \quad (2)$$

$$\text{Tensile strength} : \sigma_t = - \frac{S \cdot \sigma_{ci}}{m_b} \quad (3)$$

Dimana m_b merupakan penurunan konstanta material m_i dengan besar :

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad (4)$$

S dan a adalah konstanta massa batuan yang berhubungan dengan besar nilai GSI dan D , sebagaimana dijabarkan persamaan 5 dan 6.

$$S = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \quad (5)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (6)$$

Berdasarkan Mohr-Coulomb, besar kekuatan massa batuan adalah :

$$\sigma_{cm} = \frac{2c' \cdot \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad (7)$$

Dimana c' dan ϕ' ditentukan untuk kisaran tegangan $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{ci}/4$, maka kekuatan massa batuan berdasarkan hubungan Mohr-Coulomb dan Hoek-Brown :

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Dengan σ_1 dan σ_3 tegangan efektif terbesar dan terkecil, σ_{ci} uniaxial compressive strength of the intact rock material, c' kohesifitas, ϕ' sudut friksi dalam, m_b nilai konstanta batuan padu (Tabel 1), dan D faktor ketergangguan (Tabel 2).

Modulus Deformasi

Penentuan besar modulus deformasi berdasarkan nilai GSI bisa dilihat dari persamaan 9 dan 10.

Hoek-Brown dalam Hoek et al. (2002).

$$E_u (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (9)$$

Persamaan tersebut berlaku jika $\sigma_{ci} \leq 100$ MPa.

Untuk $\sigma_{ci} > 100$ MPa, maka :




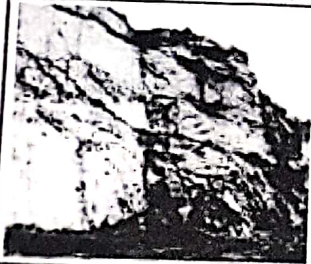
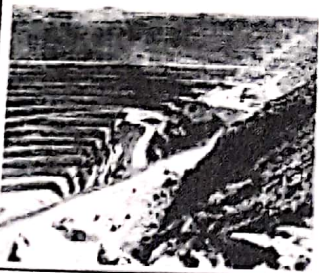
$$E_u (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (10)$$

Tabel 1. Nilai konstanta m batuan padu berdasarkan kelompok batuan (Hoek, 2007).

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (21 ± 3)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Muds (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
	Organic				Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated*		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3	Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)	
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5)	Dacite (25 ± 3)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

* Konglomerat dan breksi kemungkinan memiliki nilai m dengan kisaran besar bergantung keadaan alami penyemenan material dan derajat semen, sehingga memiliki kisaran nilai sama dengan batupasir, sampai nilai untuk sedimen halus (di bawah 10).
 ** Nilai ini untuk percobaan uji normal batuan padu terhadap perlapisan dan foliasi. Nilai m menjadi berbeda secara signifikan jika pecah terjadi sepanjang suatu bidang lemah.

Tabel 2. Petunjuk estimasi faktor *disturbance* D (Hoek et al., 2002).
 Massa batuan untuk pekerjaan pada permukaan dan di bawah permukaan tanah dalam rekayasa sipil dan pertambangan.

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kekuatan massa batuan pada lapisan batugamping berongga yang diduga merupakan zona lemah berdasarkan kaidah Hoek-Brown *Failure Criterion*, 2002 dengan menggunakan bantuan *roclab software*. Hasil analisis kekuatan massa batuan tersebut akan digunakan sebagai dasar untuk perancangan geometri lereng penambangan.

4. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan induktif. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah melakukan observasi lapangan mengenai litologi, panjang dan ketebalan lapisan batugamping berongga pada lereng tambang kuari batugamping. Pengambilan data di zona *cavity layer*, data - data yang diperlukan adalah sebagai berikut: nilai kuat

Kode Sampel	Litologi	Nilai GSI	σ_{ci} (MPa)	γ (gr/cm ³)	D
B1	Sparitic limestone	37	12	2,09	0,7
C1	Sparitic limestone	34	8,8	1,89	0,7
D1	Sparitic limestone	37	12	2,20	0,7
E1	Sparitic limestone	32	8	1,70	0,7
F1	Sparitic limestone	33	8	1,73	0,7

Analisis Kekuatan Massa Batuan Pada Lapisan Batugamping Berongga

Berdasarkan analisis kekuatan massa batuan pada lapisan batugamping berongga dengan

menggunakan bantuan *rocklabsoftware* diperoleh nilai beberapa parameter massa batuan masing-masing sampel seperti pada gambar 4, meliputi: kuat tekan uniaxial (σ_c), kuat tarik (σ_t), kekuatan massa batuan (σ_{cm}). Hasil analisis kekuatan massa batuan pada lapisan batugamping berongga secara umum mempunyai kekuatan massa batuan yang sangat rendah (< 1 Mpa), sehingga sangat berpotensi terjadinya kelongsoran pada dinding lereng penambangan batugamping. Secara rinci hasil analisis kekuatan massa batuan terdapat pada Tabel 5.

Tabel. 5. Hasil Analisis Kekuatan Massa Batuan pada Lapisan Batugamping Berongga Blok Sawir Tuban

No	Kode Sampel	Litologi	Nilai GSI	σ_{ci} (MPa)	D	m_i	m_b	S	a	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	σ_{cm} (MPa)
1	A1	Sparitic limestone	34	8,8	0,7	10	0,266	0,0001	0,517	0,063	-0,002	0,55
2	B1	Sparitic limestone	37	12	0,7	10	0,314	0,0001	0,514	0,11	-0,004	0,833
3	C1	Sparitic limestone	34	8,8	0,7	10	0,266	0,0001	0,517	0,063	-0,002	0,55
4	D1	Sparitic limestone	37	12	0,7	10	0,314	0,0001	0,514	0,11	-0,004	0,833
5	E1	Sparitic limestone	32	8	0,7	10	0,238	0,0001	0,52	0,048	-0,002	0,466
6	F1	Sparitic limestone	33	8	0,7	10	0,252	0,0001	0,518	0,052	-0,002	0,483

Penilaian potensi risiko terhadap adanya bahaya keruntuhan dan kelongsoran pada lereng tambang batugamping ditentukan oleh kekuatan batuan utuh, struktur batuan, jumlah kandungan air, tinggi dan kemiringan lereng serta faktor eksternal/gangguan seperti kegiatan penggalian dan peledakan batuan yang dapat mengakibatkan getaran yang besar.

6. Kesimpulan dan Saran

Kekuatan massa batuan pada lapisan batugamping berongga secara umum mempunyai kekuatan massa batuan yang sangat rendah (< 1 Mpa), sehingga sangat berpotensi terjadinya kelongsoran pada dinding lereng penambangan batugamping. Beberapa rekomendasi geoteknik pada jenjang kerja lereng tambang kuari batugamping adalah menghindari pembuatan lereng yang tinggi dan curam, mengurangi beban lereng akibat kandungan air terutama pada saat musim hujan dengan cara membuat sistem penyaliran tambang dan membuat saluran pipa - pipa yang menghubungkan bagian dalam lereng ke dinding lereng untuk membantu mengalirkan air keluar dari tubuh lereng. Dan tidak melakukan penggalian yang searah dengan kemiringan perlapisan batuan.

DAFTAR PUSTAKA

Goodman, R.E. 1989. *Introduction to Rock Mechanics*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Canada.

- Hoek, E. 1994. *Strength of Rock and Rock Masses*. News J ISRM 2 (2): p. 4-16.
- Hoek, E., Torres, C.,C., and Corkum, B., 2002. *Hoek-Brown Failure Criterion*, Rockscience Inc., Toronto, Canada.
- Hoek, E. 2007. *Practical Rock Engineering*. Notes, Evert Hoek Consulting Engineer Inc., Canada. <http://www.rockscience.com>.
- Hudson, J.A. and Harrison, J.P. 1997. *Engineering Rock Mechanics : An Introduction to The Principles*. Elsevier Science Ltd., Oxford.
- Pringgoprawiro, 1983. *BiostratigrafidanPaleogeografiCekungan JawaTimur Utara*. SuatuPendekatanBaru, Disertasi Program Doktor, InstitutTeknologi Bandung.
- Sonmez, H. and Ulusay, R. 1999. *Modifications to Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to stability of Slopes*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 36, p. 743-760.
- Situmorang, R. L., Smit, R., dan Van Vesseem, E. J., 1992. *Peta Geologi Lembar Jatirogo*, Jawa, 1509 - 2, Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Wyllie, D.C. and Mah, C.W. 2004. *Rock Slope Engineering. Civil and Mining Engineering*, 4th Edition, Spon Press, New York.

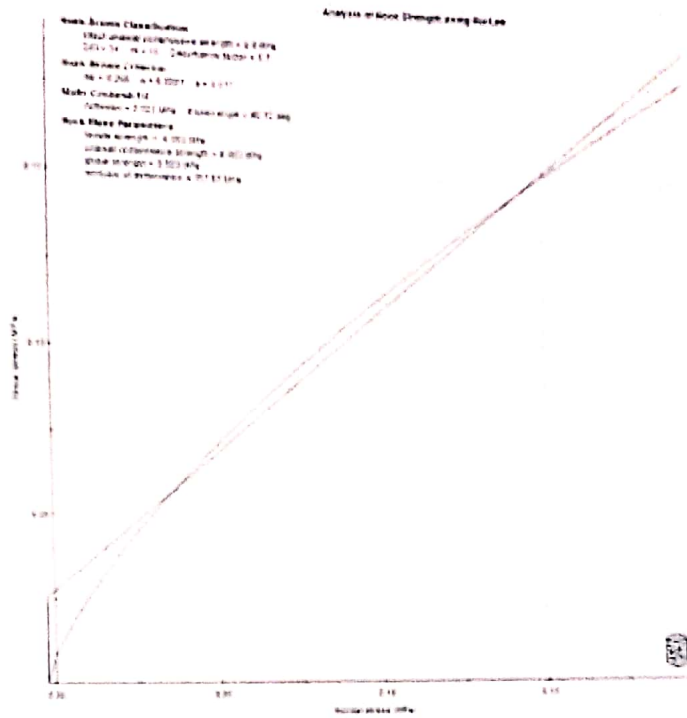
LAMPIRAN

Analisis kekuatan massa batuan pada lapisan batugamping berongga dapat ditentukan berdasarkan kaidah Hoek-Brown Failure Criterion,

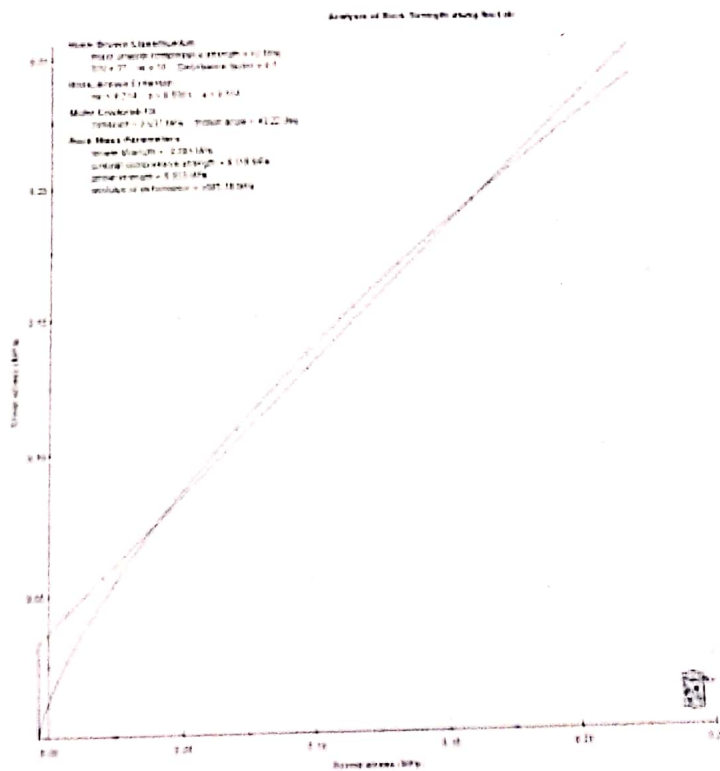
2002 dengan menggunakan bantuan roclabsoftware. Estimasi kekuatan massa batuan masing - masing sampel pada lapisan batugamping

berongga(A1 - F1) adalah sebagai berikut (Gambar4).

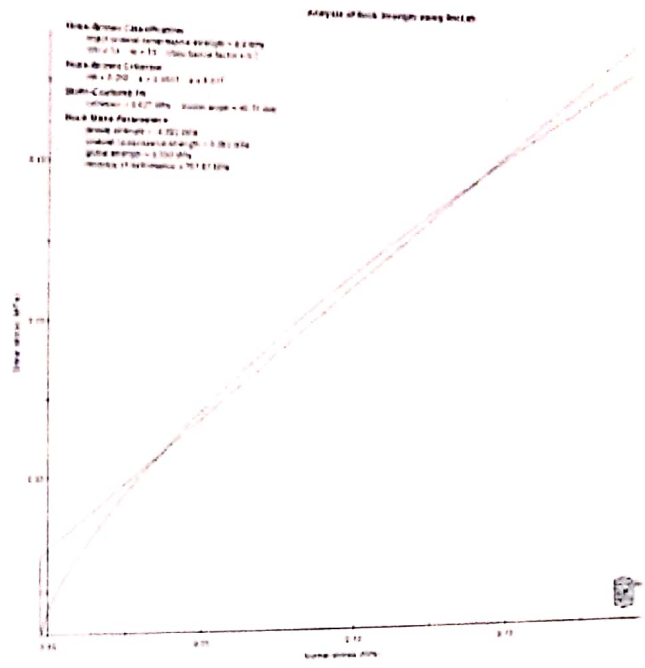
Sampel A1.



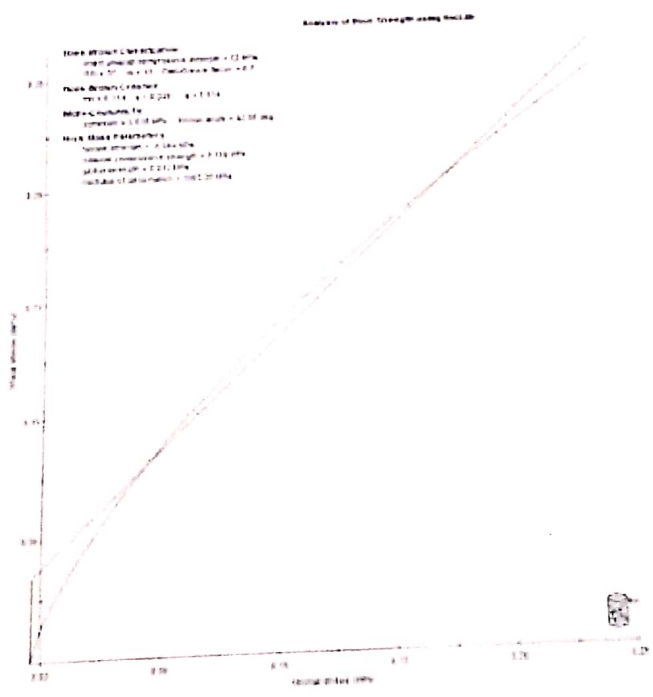
Sampel B1.



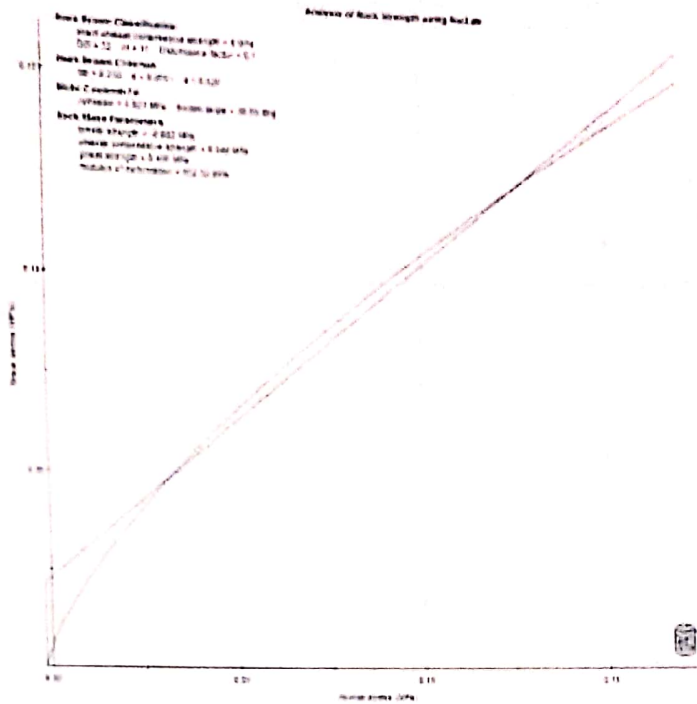
Sampel C1.



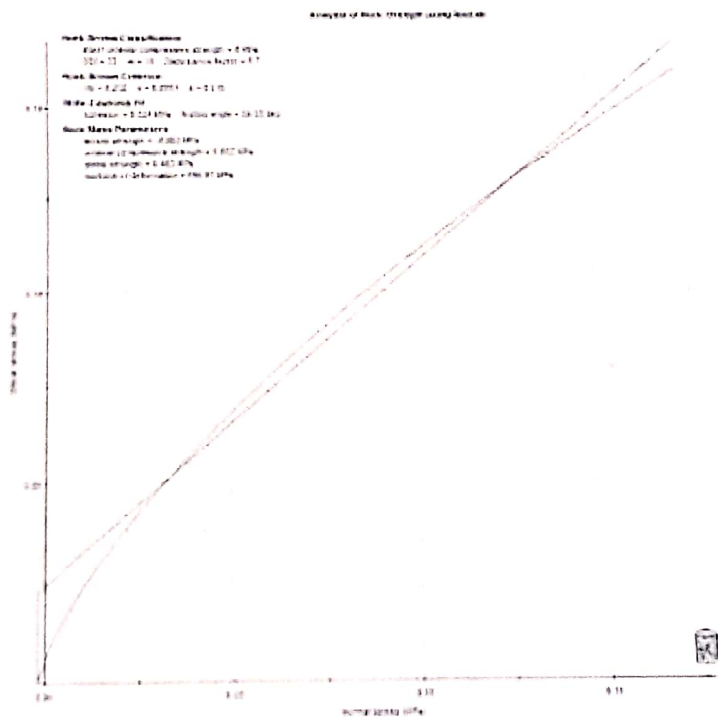
Sampel D1.



Sampel E1.



Sampel F1.



Gambar 4. Hasil Analisis Kekuatan Batuan (Sampel A1-F1) Menggunakan Roclab Software