

Uji Kelinieran Keruntuhan Batuan Antara Kuat Tarik, Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Triaksial Batu Gamping (Studi Kasus di Kecamatan Songgom Kabupaten Brebes Provinsi Jawa Tengah)

¹Hardianti, ²Maryanto, ³Yuliadi

^{1,2,3}Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung

Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

Email: ¹hardianti607@gmail.com

Abstract. To determine the relation among the tensile strength, pressure strength, and triaxial strength in the linear regression model, the rock failure test was done. The method applied in this research was the failure criterion analysis from Mohr-Coulomb which was to determine the cohesion and the internal shear angle values as well as to present the parametric statistical analysis by using the simple linear regression variant analysis (AVANA) to prove the hypothesis of the relation among the tensile strength, pressure strength, and triaxial strength in the linear regression model. The results showed the physical characteristics of the limestone, such as the water content of $\pm 10-13\%$, the original density of $\pm 1.8-2.3 \text{ gr.cm}^3$, the original specific weight of $\pm 2.5-2.6$, the saturation degree of $\pm 40-83\%$, the porosity of $\pm 14-33\%$, and the pore space number of $\pm 1-1.2$. Besides, the results showed the mechanical characteristics of limestone, such as the rock pressure strength of $\pm 9-30 \text{ Mpa}$, the elastic modulus of $\pm 1900-9000 \text{ Mpa}$, the poisson's ratio of $\pm 0.25-0.27$ Mpa, the indirect tensile strength of $\pm 3-4.5 \text{ Mpa}$, the cohesion of 5.2 Mpa , and the internal shear angle of 30.96° . The linearity analysis used the significance level of $\alpha=0.05$. For the 1st hypothesis, according to the criterion applied, the result was $3121,857 > 4.84$ or $F_{\text{count}} > F_{\text{table}}$, so H_0 was rejected. It could be concluded that the relation among the tensile strength, pressure strength, and triaxial strength had a significant direction. On the other hand, according to the criterion applied, the result for the 2nd hypothesis was $-0.212 < 4.07$ or $F_{\text{count}} < F_{\text{table}}$, so H_0 was accepted. It could be concluded that the relation among the tensile strength, pressure strength, and triaxial strength was in the linear regression model. Thus, according to the results of the analysis done in Laboratorium Tambang with limestone as the test sample, if the triaxial strength test could not be done, the uniaxial pressure strength test and indirect tensile strength test were recommended for the alternatives. This was proved by the relation among the uniaxial pressure strength failure, indirect tensile strength, and triaxial strength in the linear regression model.

Keywords: Physical Properties, Mechanical Properties, Criteria of Collapse, Mohr-Coulomb, and Linearity

Abstrak. Upaya untuk menentukan hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial berbentuk regresi linear dilakukan melalui kegiatan uji keruntuhan batuan agar menghasilkan bentuk regresi linear. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis kriteria keruntuhan kriteria menggunakan mohr-coulomb untuk menyatakan nilai kohesi dan sudut geser dalam dan analisis statistika parametrik dengan menggunakan konsep analisis varian (AVANA) regresi linear sederhana untuk membuktikan hipotesis Hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial berbentuk regresi linear. Dari hasil penelitian yang dilakukan, Sifat fisik batugamping seperti kadar air $\pm 10-13\%$, densitas asli $\pm 1,8-2,3 \text{ gr.cm}^3$, berat jenis asli $\pm 2,5-2,6$, derajat kejenuhan $\pm 40-83\%$, porositas $\pm 14-33\%$ dan angka pori $\pm 1-1,2$. Sifat mekanik batu gamping seperti kuat tekan batuan $\pm 9-30 \text{ Mpa}$, modulus young $\pm 1900-9000 \text{ Mpa}$, poisson ratio $\pm 0,25-0,27 \text{ Mpa}$, kuat tarik tidak langsung $\pm 3-4,5 \text{ Mpa}$, Kohesi $5,2 \text{ Mpa}$, dan sudut geser dalam $30,96^\circ$. Analisis linieritas menggunakan taraf signifikansi $\alpha=0,05$. Untuk hipotesis 1 berdasarkan kriteria yang digunakan yaitu $3121,857 > 4,84$ atau $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, maka H_0 ditolak. Sehingga disimpulkan bahwa hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial memiliki arah yang signifikan. Sedangkan untuk hipotesis 2 berdasarkan kriteria yang digunakan yaitu $-0,212 < 4,07$ atau $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ maka H_0 diterima. sehingga disimpulkan hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial berbentuk regresi linear. Sehingga berdasarkan hasil analisis di Laboratorium Tambang dengan contoh uji batugamping dapat direkomendasikan bahwa apabila pengujian kuat triaksial tidak dapat dilakukan maka dapat menggunakan pengujian kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung sebagai alternatif. Hal tersebut dibuktikan dengan hubungan keruntuhan kuat tekan uniaksial, kuat tarik tidak langsung dan kuat triaksial yang berbentuk regresi linear.

Kata Kunci: Sifat Fisik, Sifat Mekanik, Kriteria Keruntuhan, Linieritas

A. Pendahuluan

Latar Belakang

Kriteria keruntuhan batuan merupakan formula yang mempergunakan hubungan antara tegangan-regangan yang menunjukkan perilaku batuan. Dimana kriteria keruntuhan batuan ditentukan berdasarkan hasil percobaan. Adapun pengujian yang perlu dilakukan untuk memperoleh nilai keruntuhan batuan adalah uji kuat tarik, kuat tekan uniaksial dan kuat triaksial batuan. Uji kuat tekan akan menghasilkan kuat tekan batuan (σ_c), *poisson ratio* (ν) dan *modulus young* (ϵ). Uji kuat tarik akan menghasilkan nilai kuat tarik batuan (σ_t). Sedangkan uji triaksial akan menghasilkan nilai seperti kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ). Dalam proses pengujian triaksial memerlukan biaya yang mahal dan cukup rumit serta waktu yang lama. Sedangkan uji kuat tarik dan kuat tekan lebih sederhana dan murah serta cepat.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka dilakukan penelitian uji kelinieran antara kuat tarik, kuat tekan uniaksial dan kuat triaksial batu gamping untuk mengetahui apakah uji kuat tarik dan kuat tekan uniaksial menghasilkan nilai kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ) yang membentuk regresi linier terhadap uji triaksial.

Tujuan Penelitian

1. Menguji sifat fisik batuan yang terdiri dari kadar air, densitas, berat jenis, derajat kejenuhan, porositas dan angka pori;
2. Menguji sifat mekanik batuan yang berupa kuat tekan uniaksial, kuat tarik tidak langsung dan kuat triaksial batuan;
3. Menguji kelinieran keruntuhan batuan dari kuat tarik, kuat tekan uniaksial dan kuat triaksial batuan;
4. Mengetahui apakah uji kuat tekan dan kuat tarik batuan bisa digunakan untuk mengganti uji kuat tekan triaksial apabila uji kuat triaksial tidak dilakukan.

B. Landasan Teori

Mekanika Batuan

Mekanika adalah ilmu yang mempelajari efek yang terjadi apabila suatu tekanan atau gaya dikenakan pada sebuah benda. Sedang batuan adalah suatu bahan yang terdiri dari satu atau lebih mineral berbeda, yang telah terkonsolidasi dan bersatu membentuk kulit bumi. Berdasarkan definisi tersebut di atas maka secara umum mekanika batuan adalah ilmu pengetahuan cabang dari mekanika yang mempelajari tentang perilaku (*behavior*) batuan, bila terhadapnya dikenakan gaya atau tekanan, baik secara teoritis maupun terapan.

1. Sifat Fisik Batuan, suatu sifat pada batuan yang terbentuk secara alami dan tidak dipengaruhi oleh gaya atau tekanan. Pada dasarnya, batuan tidak hanya terdiri partikel padat saja melainkan terdiri dari air dan udara. Partikel padat yang terdapat pada batuan berupa mineral atau fragmen. Sedangkan air dan udara akan mengisi pori-pori batuan. Sehingga perbedaan komposisi padatan, air dan udara menyebabkan batuan memiliki karakteristik yang berbeda, sifat fisik batuan dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium. Adapun parameter sifat fisik yang dihasilkan dari uji laboratorium antara lain : densitas, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas dan angka pori.
2. Sifat Mekanik Batuan, sifat yang terdapat pada batuan setelah mengalami tekanan. Biasanya diperoleh menggunakan alat.
 - a. Kuat tekan uniaksial

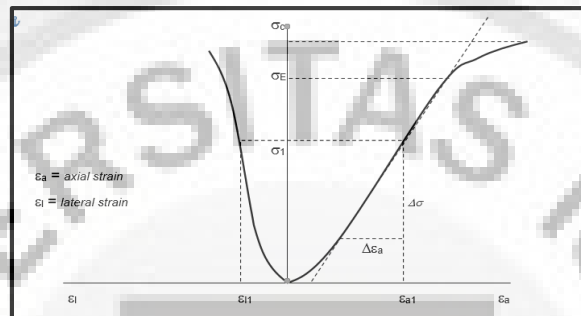
Nilai kuat tekan batuan diperlukan untuk mengetahui kekuatan maksimum batuan menahan beban hingga mengalami keruntuhan. Uji kuat tekan uniaksial ini akan diperoleh nilai kuat tekan batuan (σ_c), *Modulus Young* (E), *Nisbah Poisson* (ν), dan kurva tegangan-regangan. Kuat tekan uniaksial dinyatakan dengan persamaan:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan : σ_c = kuat tekan uniaksial (MPa)

F = gaya yang bekerja saat conto batuan runtuh (N)

A = luas permukaan conto uji (mm^2)



Gambar 1. Kurva Tegangan-Regangan Hasil Uji Kuat Tekan

Sumber: Barendam dan Brodie, 1959

b. Kuat Tarik Tidak Langsung

Sifat mekanik batuan yang diperoleh dari uji ini adalah kuat tarik batuan (σ_t). Salah satu uji kuat tarik tak langsung adalah *Brazilian Test*. Pada *Brazilian test*, nilai kuat tarik dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi DL} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan : σ_t = kuat tarik batuan (MPa)

F = gaya maks yang dapat ditahan batuan (KN)

D = diameter conto batuan (mm)

L = tebal batuan (mm)

c. Triaksial

Tujuan utama uji triaksial adalah untuk menentukan kekuatan batuan pada kondisi pembebanan triaksial melalui persamaan kriteria keruntuhan.

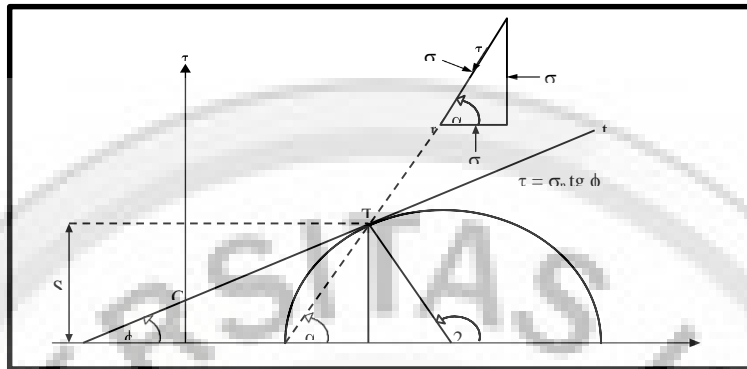
Kriteria Keruntuhan

Kriteria keruntuhan batuan merupakan formula yang mempergunakan hubungan antara tegangan-regangan yang menunjukkan perilaku batuan. Adapun pengujian yang perlu dilakukan untuk memperoleh nilai keruntuhan batuan adalah uji kuat tarik, kuat tekan uniaksial dan kuat triaksial batuan. Kriteria keruntuhan batuan ditentukan berdasarkan hasil percobaan. Ekspresi dari kriteria keruntuhan batuan mengandung satu atau lebih parameter sifat mekanik batuan dan menjadi sederhana. Kriteria keruntuhan yang sering digunakan dalam pengolahan data uji triaksial adalah kriteria *Mohr-Coulomb*.

Pada kriteria *Mohr-Coulomb* selubung keruntuhan dianggap sebagai garis lurus untuk mempermudah perhitungan. Kriteria ini didefinisikan sebagai berikut :

$$\tau = C + \mu \sigma_n \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan : τ = tegangan geser
 σ_n = tegangan normal
 μ = koefisien geser dalam batuan = $\text{tg } \phi$



Gambar 2. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Sumber: Jumikis, 1979

Pengujian Linieritas

Untuk mengetahui kelinearan regresi perlu dilakukan pengujian hipotesis yaitu merumuskan regresi linear dibandingkan dengan regresi nonlinear. Untuk pengujian linearitas diperlukan kelompok data yang setiap kelompok terdiri dari data yang sama pada data X dan pasangan data Y. Beberapa perhitungan yang diperlukan untuk pengujian linearitas yaitu jumlah kuadrat (JK) untuk berbagai variasi berupa jumlah kuadrat total (JK-T), regresi (a) regresi (b/a), jumlah kuadrat sisa (JK-S), jumlah kuadrat tuna cocok (JK-TC), dan jumlah kuadrat galat (JK-G). dimana setiap variasi memiliki derajat kebebasan (dk) masing-masing yang disebut analisis varian (ANAVA).

Tabel 1. Analisis varian (ANAVA) Regresi Linear Sederhana

Sumber Variansi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (JK)	Rata-rata Jumlah Kuadrat (RJK)	F
Total	n	$\sum y^2$		
Regresi (a)	1	JK (a)		$s^2_{\text{reg/sisa}}$
Regresi (b/a)	1	JK(b/a)	$s^2_{\text{reg}} = \text{JK}(b/a)$	
Sisa	n-2	JKS	$s^2_{\text{sisa}} = \text{JK}(S)/n-2$	$s^2_{\text{TC/g}}$
Tuna Cocok	k-2	JK(TC)	$s^2_{\text{TC}} = \text{JK}(TC)K-2$	
Galat	n-k	JK(G)	$s^2_g = \text{JK}(G)/N-K$	

Sumber: Susetyo Budi, 2010

Kriteria pengujian adalah tolak H_0 jika $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ dengan kalimat lain tolak hipotesis yang mengatakan bentuk regresi linear berdasarkan taraf signifikansi tertentu.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Uji Sifat Fisik Batuan

Data yang diperoleh dari pengujian sifat fisik batuan seperti berat asli (W_n), berat jenuh (W_w), berat tergantung (W_s), dan berat kering (W_p). Hasil pengolahan data tersebut akan diperoleh nilai seperti densitas, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas dan angka pori. Untuk data hasil pengolahan uji sifat batuan dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Data dan Hasil Pengolahan Uji Sifat Fisik Batuan

PARAMETER	SIMBOL	SATUAN	SAMPLE CODE (B-13)				
			21-30 m	31-40 m	41-50 m	51-60 m	61-70 m
Berat conto asli	Wn	gram	81.5	71.6	55.3	28.5	47.5
Berat conto jenuh	Ww	gram	83	74.2	57.3	28.6	50.5
Berat conto tergantung	Ws	gram	44.7	43.1	30	15.8	25.3
Berat conto kering	Wo	gram	73.7	69.8	49.7	26.3	42
Densitas asli (natural density)	pn	gr/cm ³	2.128	2.302	2.026	2.227	1.885
Densitas jenuh (saturated density)	ps	gr/cm ³	2.167	2.386	2.099	2.234	2.004
Densitas kering (dry density)	pd	gr/cm ³	1.924	2.244	1.821	2.055	1.667
Berat jenis asli (true specific gravity)	Sgtrue	-	2.541	2.614	2.523	2.505	2.515
Berat jenis semu (apparent specific gravity)	Sgapp	-	1.924	2.244	1.821	2.055	1.667
Kadar air asli (natural water content)	w	%	10.583	2.579	11.268	8.365	13.095
Kadar air jenuh (saturated water content)	ws	%	12.619	6.304	15.292	8.745	20.238
Derajat kejenuhan (degree of saturation)	S	%	83.871	40.909	73.684	95.652	64.706
porositas (porosity)	n	%	24.282	14.148	27.839	17.969	33.730
angka pori (void ratio)	e	-	1.070	1.152	1.068	1.119	1.055

Uji Kuat Tekan Uniaksial

Data yang diperoleh dari pengujian ini yaitu regangan axial, regangan diametral dan beban maksimum. Setelah diketahui regangan axial-diametral dan beban maksimum maka kuat tekan, modulus young serta poisson ratio conto uji dapat di hitung. Berikut pada tabel 3 hasil perhitungan uji kuat tekan uniaksial:

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial

No	Sample Code	Depth (m)	Lithology	σ_c (MPa)	E (MPa)	ν
1	B-13	21-30	Batu Gamping	16.943	1979.377	0.265
2		31-40		25.004	409.927	0.254
3		41-50		9.473	1243.200	0.270
4		51-60		12.337	8269.085	0.264
5		61-70		21.714	9047.481	0.259

Uji Kuat Tarik Tidak Langsung

Data yang diperoleh dari uji kuat Tarik tidak langsung yaitu diameter dan tebal conto uji serta beban maksimum yang mampu ditahan oleh conto uji sebelum hancur. Setelah diketahui nilai diameter, tebal dan beban maksimum conto uji. Berikut pada tabel 4 adalah data dan hasil perhitungan uji kuat tarik tidak langsung:

Tabel 4. Data dan Hasil Pengolahan Uji Kuat Tarik Tidak Langsung

Kode Sampel	Kedalaman (m)	Litologi	Diameter (D) cm	Tebal (t) cm	Beban (P) kg	Kuat Tarik (Kg/cm ²)	Kuat Tarik (Mpa)
B-13	21-30	Batu Gamping	4.4	2.6	680	37.860	3.786
	31-40		4.4	2.4	700	42.222	4.222
	41-50		4.4	2.4	550	33.174	3.317
	51-60		4.4	2.5	720	41.691	4.169
	61-70		4.4	2.5	750	43.428	4.343

Uji Triaksial

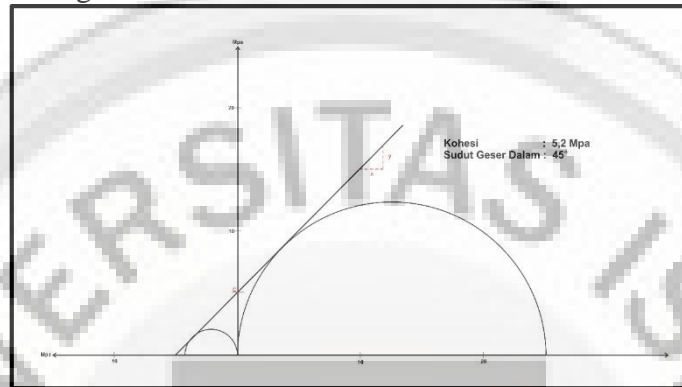
Data yang diperoleh dari uji triaksial yaitu tinggi, diametral, perubahan tinggi (ΔL), dan beban dan tegangan samping. Setelah diketahui nilai nilai perubahan tinggi, beban dan tegangan samping, maka dapat dihitung nilai kohesi dan sudut geser dalamnya.

Tabel 5. Hasil Olah Data Uji Triaksial

Sample Code	Depth (m)	Lithology	σ_3 (MPa)	σ_1 (Mpa)	Kohesi (Mpa)	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)
B-13	21-30	Batu Gamping	0.5	15.9432	1.40	30.96
			1	23.6386		
			1.5	32.4457		

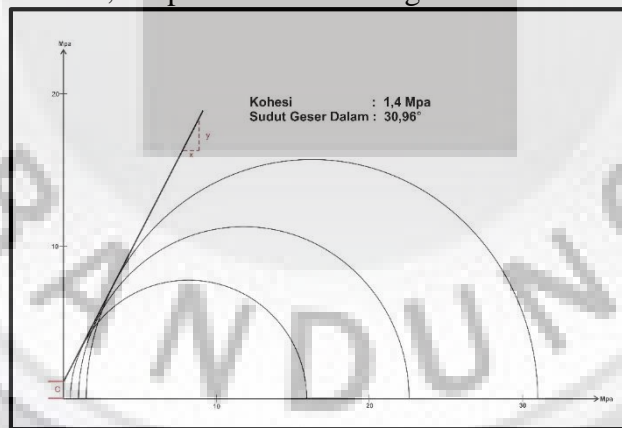
Analisis Kriteria Keruntuhan

Dimana pada kriteria mohr-coulomb, menyatakan perbandingan keadaan kekuatan batuan terhadap tegangan yang bekerja pada batuan tersebut. Pada Mohr-coulomb selubung keruntuhan dianggap garis lurus untuk mempermudah penentuan nilai kohesi dan sudut geser dalam.



Gambar 3. Diagram Mohr-coulomb Uji Kuat Tarik Tidak Langsung dan Kuat Tekan Uniaksial

Berdasarkan dari gambar 3 diatas dapat terlihat bahwa untuk pengujian kuat tarik tidak langsung dan kuat tekan uniaksial yang di plot ke dalam kriteria Mohr-coulomb diperolehnya nilai kohesi 5,2 Mpa dan nilai sudut geser dalam 45 $^\circ$.



Gambar 4. Diagram Mohr-coulomb Uji Triaksial Batuan

Berdasarkan dari gambar 4 diatas dapat terlihat bahwa untuk pengujian kuat tarik tidak langsung dan kuat tekan uniaksial yang di plot ke dalam kriteria Mohr-coulomb diperolehnya nilai kohesi 1,4 Mpa dan nilai sudut geser dalam 30,96 $^\circ$.

Pengujian Linieritas

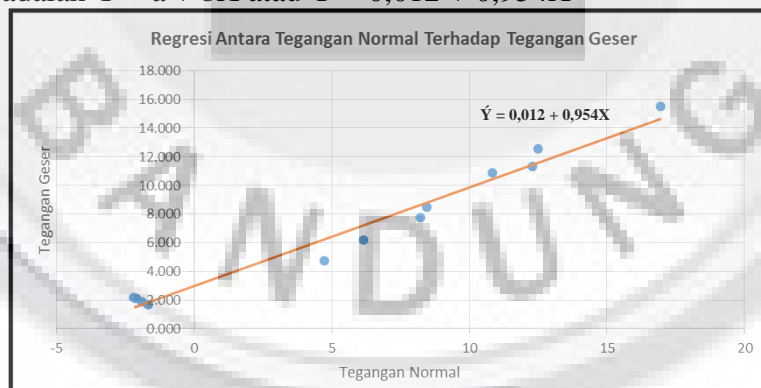
Untuk mengetahui kelinearan batuan ada beberapa langkah yang perlu dilakukan yaitu perhitungan regresi dan perhitungan jumlah kuadrat. Adapun perhitungan yang diperlukan untuk pengujian linearitas yaitu jumlah kuadrat total (JK-T), regresi (a), regresi (b/a), jumlah kuadrat sisa (JK-S), jumlah kuadrat tuna cocok (JK-TC), jumlah kuadrat galat (JK-G). Adapun rumusan hipotesis sebagai berikut:

1. H_0 : Hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial memiliki arah regresi yang berarti atau signifikan.
 H_1 : Hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial memiliki arah regresi yang tidak berarti atau signifikan.
2. H_0 : Hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial berbentuk regresi linear.
 H_1 : Hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial berbentuk regresi tidak linear.

Tabel 6. Perhitungan Data Lingkaran Mohr Menjadi Persamaan Regresi

Pengujian Laboratorium	σ_1	σ_3	X		X^2	Y^2	XY
			$1/2 (\sigma_1 + \sigma_3)$	$1/2 (\sigma_1 - \sigma_3)$			
Kuat Tarik Tidak Langsung	-3.786	0	-1.893	-1.893	3.583	3.583	3.583
	-4.222	0	-2.111	-2.111	4.456	4.456	4.456
	-3.317	0	-1.6585	-1.659	2.751	2.751	2.751
	-4.169	0	-2.0845	-2.085	4.345	4.345	4.345
	-4.343	0	-2.1715	-2.172	4.715	4.715	4.715
Kuat Tekan Uniaksial	16.94	0	8.47	8.470	71.741	71.741	71.741
	25	0	12.5	12.500	156.250	156.250	156.250
	9.47	0	4.735	4.735	22.420	22.420	22.420
	12.34	0	6.17	6.170	38.069	38.069	38.069
	21.71	0	10.855	10.855	117.831	117.831	117.831
Triaksial	15.4432	0.5	7.9716	7.472	63.546	55.825	59.561
	22.629	1	11.8145	10.815	139.582	116.953	127.768
	30.946	1.5	16.223	14.723	263.186	216.767	238.851
TOTAL			68.821	65.821	892.477	815.707	852.342

Dari hasil perhitungan diperoleh $a = 0,012$ dan $b = 0,954$, maka kecenderungan regresi linear adalah $\hat{Y} = a + bX$ atau $\hat{Y} = 0,012 + 0,954X$



Gambar 3. Grafik Regresi Antara Tegangan Normal Terhadap Tegangan Geser

Setelah persamaan regresi diperoleh, maka dihitung jumlah kuadrat (JK) yaitu :
 $JK (T) = \sum Y^2 \rightarrow 815,707$

$$JK (a) = \frac{(\sum Y)^2}{n} \rightarrow 333,258$$

$$JK (a/b) = b \left[\sum Y - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n} \right] \rightarrow 480,755$$

$$JK (S) = JK (T) - JK (a) - JK (b/a) \rightarrow 1,694$$

$$JK (G) = Y^2 - \frac{Y^2}{n} \rightarrow 4,653$$

$$JK (TC) = JK (S) - JK (G) \rightarrow -2,959$$

Tabel 7. AVANA untuk Regresi $\hat{Y} = 0,012 + 0,954X$

Sumber Variansi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (JK)	Rata-rata Jumlah Kuadrat (RJK)	F
Total	13	815.707		
Regresi (a)	1	333.258		
Regresi (b/a)	1	480.755	480.755	3121.857
Sisa	13-2=11	1.694	0.154	
Tuna Cocok	5-2=3	-2.959	-0.986	
Galat	13-5=1	4.653	4.653	-0.212

Dengan menggunakan taraf signifikansi $\alpha=0,05$ untuk menguji hipotesis 1 dari distribusi F dengan derajat kebebasan pembilang 1 dan derajat kebebasan penyebut $n-2 = 13-2=11$ diperoleh $F = 4,84$. Sedangkan berdasarkan kriteria yang digunakan, $3121,857 > 4,84$ atau $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak. Dengan demikian disimpulkan hubungan kuat tarik, kuat tekan dan kuat triaksial memiliki arah yang signifikan.

Sedangkan untuk menguji hipotesis 2 digunakan derajat kebebasan pembilang $k - 2 = 5 - 2 = 3$ dan derajat kebebasan penyebut $n - k = 13 - 5 = 8$ diperoleh $F = 4,07$. Berdasarkan kriteria yang digunakan $-0,212 < 4,07$ atau $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima. Dengan demikian disimpulkan hubungan kuat tarik, kuat tekan dan kuat triaksial berbentuk regresi linear.

D. Kesimpulan

1. Sifat fisik batugamping seperti kadar air $\pm 10-13\%$, densitas asli $\pm 1,8-2,3 \text{ gr.cm}^3$, berat jenis asli $\pm 2,5-2,6$, derajat kejenuhan $\pm 40-83\%$, porositas $\pm 14-33\%$ dan angka pori $\pm 1-1,2$.
2. Sifat mekanik batu gamping seperti kuat tekan batuan $\pm 9-30 \text{ Mpa}$, modulus young $\pm 1900-9000 \text{ Mpa}$, poisson ratio $\pm 0,25-0,27$ Mpa, kuat tarik tidak langsung $\pm 3-4,5 \text{ Mpa}$, Kohesi untuk Lingkaran Mohr kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung sebesar $5,2 \text{ Mpa}$, dengan sudut geser dalam 45° . Sedangkan kohesi lingkaran mohr triaksial sebesar $1,4 \text{ Mpa}$ dengan sudut geser dalam $30,96^\circ$.
3. Analisis linearitas menggunakan taraf signifikansi $\alpha=0,05$. Untuk hipotesis 1 berdasarkan kriteria yang digunakan, $3121,857 > 4,84$ atau $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak. sehingga disimpulkan bahwa hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial memiliki arah yang signifikan. Sedangkan untuk hipotesis 2 berdasarkan kriteria yang digunakan, $-0,212 < 4,07$ atau $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima. sehingga disimpulkan hubungan kuat tarik, kuat tekan dan triaksial berbentuk regresi linear.
4. Berdasarkan hasil analisis di Laboratorium Tambang dengan conto uji batugamping dapat direkomendasikan bahwa apabila pengujian kuat triaksial tidak dapat dilakukan maka dapat menggunakan pengujian kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung sebagai alternatif. Hal tersebut dibuktikan dengan hubungan keruntuhan kuat tekan uniaksial, kuat tarik tidak langsung dan kuat

triaksial yang berbentuk regresi linear.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik (BPS), 2015 “Data Curah Hujan di Kabupaten Brebes, 2012-2015” Brebes, Jawa Tengah.
- B. H. G. Brady and E.T. Brown, 1985 “Rock Mechanics For Underground Mining” London.
- Made Astawa Rai, 1987 “Mekanika Batuan” Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- J.C. Jeager, 1998 “Fundamentals Of Rock Mechanic” Australia National University, Australia.
- M. Djuri H. Samodra, T.C. Amin and S. Gafoer, 1996 “Peta Geologi Lembar Purwokerto Dan Tegal, Jawa Skala 1 : 100.000” Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Susetyo Budi, 2010 “Statistika Untuk Analisis Data Penelitian” Bandung