

## ANALISIS HUBUNGAN KUAT TEKAN UNIAKSIAL DAN KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG BATUAN SEDIMEN DENGAN METODE REGRESI DAN JARINGAN SARAF TIRUAN

**Yosua Buntu Sumule, Dimas Daffa Dhiya Ulhaq**

Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Indonesia

Email: yosua.sumule@gmail.com, dimasdaffa52@gmail.com

### Abstrak

Kekuatan batuan memiliki peranan penting dalam industri pertambangan. Kekuatan tersebut dapat menentukan banyak aspek dalam penambangan seperti geometri lereng, penggalian, peledakan, dan pengeboran. Kekuatan batuan dapat meliputi kuat tarik, kuat tekan, dan kuat geser. Secara umum, hubungan antara kuat tarik tidak langsung adalah 10% dari kuat tekan uniaksial dan hal tersebut mengacu pada *rule of thumb* yang umum digunakan dalam industri pertambangan. Akan tetapi, *rule of thumb* yang lazim digunakan dalam pertambangan perlu dilakukan analisis mengenai keakuratan hasil nilai UTS terutama pada batuan dengan nilai kuat tekan yang kecil. Maka dari itu perlu dilakukan pendekatan matematika untuk mengetahui hubungan dari kedua jenis kekuatan tersebut secara akurat. Metode yang digunakan untuk melihat keakuratan hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik tidak langsung yaitu dengan pendekatan regresi linier, polinomial dua ordo, statistik, logaritmik, eksponensial, dan *artificial neuron network* (jaringan saraf tiruan). Keakuratan dari ke-enam metode tersebut akan dianalisis melalui *root mean square error* (RMSE), *Mean Absolut Percentage error* (MAPE). Hasil dari pendekatan ke-enam metode tersebut didapat bahwa pendekatan menggunakan regresi *artificial neuron network* adalah yang paling akurat dengan nilai RMSE 0,03994 dan MAPE 16,63% dengan kategori MAPE adalah peramalan baik.

**Kata Kunci:** kuat tekan uniaksial; kuat tarik tidak langsung; RMSE; MAPE; jaringan saraf tiruan (JST)

### Abstract

*Rock strength has an important role in the mining industry. These forces can determine many aspects of mining such as slope geometry, excavation, blasting, and drilling. Rock strength can include tensile strength, compressive strength, and shear strength. In general, the correlation between the indirect tensile strength is 10% of the uniaxial compressive strength and this refers to the rule of thumb commonly used in the mining industry. However, the rule of thumb commonly used in mining needs to be analyzed regarding the accuracy of the UTS value results, especially in rocks with small compressive strength values. Therefore, it is necessary to use a mathematical approach to accurately determine the relationship between the two types of power. The method used to see the accuracy of the*

*relationship between compressive strength and indirect tensile strength is the linear regression approach, polynomial two orders, statistics, logarithmic, exponential, and artificial neuron network (ANN). The accuracy of the six methods will be analyzed through the root mean square error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results of the approaches to the six methods showed that the approach using artificial neuron network regression was the most accurate with an RMSE value of 0.03994 and a MAPE of 16.63% with the MAPE category being a good forecast.*

**Keywords:** *uniaxial compressive strength; indirect tensile strength; RMSE; MAPE; artificial neuron network (Ann)*

## **Pendahuluan**

Kekuatan batuan merupakan salah satu aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam industri pertambangan. Kekuatan tersebut mempengaruhi banyak hal dalam kegiatan pertambangan seperti analisis geometri lereng, pembuatan penyangga untuk lubang bukaan, dan memperkirakan kinerja alat penggalian. Penelitian ini berfokus pada hubungan kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung pada batuan sedimen dengan nilai kuat tekan <5Mpa.

*Brazilian indirect tensile test* atau uji brazilian merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui nilai kuat tarik tidak langsung. Menurut Bieniawski (1967) dan Hawkes & Mellor (1971), kuat tarik tidak langsung dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi Dt}$$

*Rule of thumb* yang banyak digunakan dalam dunia pertambangan menyatakan bahwa nilai kuat tarik tidak langsung hanya sebesar 10% dari kuat tekan uniaksial (Jumikis, 1983). Nilai tersebut tentu tidak seakurat dengan persamaan yang dipaparkan oleh Bieniawski (1967) dan Hawkes & Mellor (1971). Selain itu, *rule of thumb* perlu dikaji keakuratannya pada batuan dengan kuat tekan yang kecil untuk melihat apakah nilai *rule of thumb* bisa mendekati nilai pengujian laboratorium atau tidak.

Penelitian terdahulu yang ditulis oleh Rizto Salia zakri, Ilep Prengki, dan Tri Gamela Saldy dalam paper berjudul " Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung Pada Batuan Sedimen Dengan Nilai Kuat Tekan Rendah", telah melakukan analisis hubungan kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung dengan pendekatan regresi linier dan statistika deskriptif. Penelitian tersebut memberikan gambaran terkait korelasi antara pendekatan matematik dan hubungan kuat tarik dan kuat tekan. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa pendekatan dengan kedua metode diatas memiliki hasil yang lebih baik daripada *rule of thumb*. Akan tetapi, penelitian tersebut tidak membandingkan metode mana yang jauh lebih akurat antara regresi linier dan statistika deskriptif secara matematik.

Tujuan penelitian ini dilakukan yaitu untuk mengembangkan penelitian sebelumnya dan mencari metode pendekatan matematik yang paling akurat untuk menentukan hubungan kuat tarik tidak langsung dan kuat tekan uniaksial.

**Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diambil dari paper yang ditulis oleh Rizto Salia zakri, Ilep Prengki, dan Tri Gamela Saldy yang berjudul ” Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung Pada Batuan Sedimen Dengan Nilai Kuat Tekan Rendah”. Penelitian tersebut mengambil sampel berupa batuan sedimen dengan nilai kuat tekan <5 Mpa yang diperoleh dari beberapa lapangan di daerah provinsi Jambi. Data dari paper tersebut dapat dilihat dalam tabel berikut:

**Tabel 1**  
**Data Hubungan Kuat Tarik Tidak Langsung dan Kuat Tekan Uniaksial**

Kode Sampel	Material	Diameter	UCS	UTS
GT-03 BHS	Clay	5,4	0,56	0,3
GT-02 BHJ	Clay	5,4	0,32	0,24
GT-04 BMM	Clay	5,4	0,48	0,2
GT-05 BMM	Clay	5,4	0,64	0,18
GT-01 PDAP	Clay	5,4	0,48	0,08
GT-02 PDAP	Clay	5,5	1,24	0,52
GT-02 BHJ	Clay	4,7	1,79	0,74
GT-05 BMM	Coal	5,4	1,12	0,57
GT-01 PDAP	Coal	5,4	4,02	0,8
GT-02 PDAP	Coal	5,5	0,69	0,52
GT-02 PDAP	Coal	4,7	3,38	1,03
GT-04 BMM	Sandy Clay	5,4	0,89	0,11
GT-01 PDAP	Silt	5,5	1,58	0,87

Pada penelitian ini, data tersebut akan diolah menggunakan microsoft excell dan visual gane developer. Penelitian ini akan menggunakan pendekatan matematik berupa regresi linier, statistika deskriptif, regresi polinomial 2 ordo, regresi eksponensial, regresi logaritmik, dan *artificial neuron network* (ANN). Hasil dari ke-enam metode tersebut akan dianalisis menggunakan *root mean square error* (RMSE), *Mean Absolut Percentage error* (MAPE), sehingga dapat diketahui bentuk hubungan antara kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung serta metode mana yang lebih akurat untuk mencari kedua hubungan tersebut.

**1. Metode Regresi**

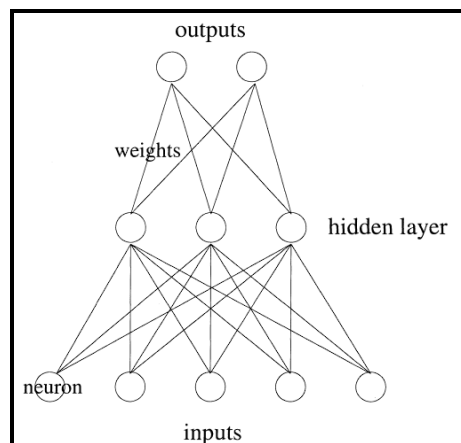
Analisis regresi adalah suatu alat analisis yang digunakan untuk mengukur pengaruh antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y) (Sugiyono, 2011). Dalam penelitian ini, kuat tekan uniaksial merupakan variabel bebas (X) dan kuat tarik tidak langsung merupakan variabel terikat (Y). Hal tersebut dikarenakan pada pengujian kuat tarik tidak langsung, sampel akan diberikan tekanan searah aksial. Regangan yang timbul akibat tekanan akan dianggap sebagai kuat tariknya. Sehingga pada

pengujian ini, kuat tarik merupakan tegangan maksimal sebelum sampel retak/patah. Konsep tersebut sangat identik dengan konsep kuat tekan uniaksial. Maka dari itu, nilai kuat tekan uniaksial merupakan variabel bebas yang mempengaruhi variabel terikat atau kuat tarik tidak langsung.

Pada penelitian ini, data sekunder yang telah ada akan diolah ke microsoft excell kemudian dianalisis menggunakan regresi linier, analisis statistik deskriptif, regresi polinomial 2 orde, regresi eksponensial, dan regresi logaritmik. Analisis dengan metode regresi hanya mempertimbangan pengaruh nilai kuat tekan uniaksial terhadap nilai kuat tarik tidak langsung. Setelah mendapat pesebaran data prediksi dengan metode regresi, data tersebut akan diolah lebih lanjut untuk membandingkan keakuratan metode dengan RMSE dan MAPE.

## 2. *Artificial Neural Network*

*Artificial neural network* atau jaringan saraf tiruan merupakan sebuah jaringan yang dirancang untuk menyerupai otak manusia yang bertujuan untuk melaksanakan suatu tugas tertentu (Haykin & Network, 2004). Jaringan tersebut bekerja sama seperti jaringan saraf pada manusia yaitu menerima input seperti dendrit, memiliki unit fungsional seperti sinapsis, dan mengeluarkan output seperti akson. Untuk memahami cara kerja dari jaringan saraf tiruan perhatikan gambar berikut.



**Gambar 1**

### **Mekanisme Kerja Jaringan Saraf Tiruan**

Pada penelitian ini, input yang digunakan yaitu nilai kuat tekan uniaksial dan diameter sampel untuk menghasilkan prediksi nilai kuat tarik tidak langsung. Data tersebut akan dimasukkan kedalam *software visual gene developer* untuk memetakan pola input yang didapat pada menjadi pola baru berupa output atau nilai UTS. Setelah mendapat nilai prediksi baru, nilai tersebut akan dianalisis dengan metode RMSE dan MAPE untuk melihat keakuratan data yang kemudian akan dibandingkan dengan metode regresi.

**Hasil dan Pembahasan**

**A. Hasil Penelitian**

Data pada penelitian sebelumnya diolah sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

**1. Regresi Linier**

Pendekatan pertama yaitu dengan pendekatan regresi linier. Data pada hasil penelitian sebelumnya dimasukan ke microsoft excell sehingga didapat tabel berikut:

**Tabel 2**  
**Hasil Analisis dengan Pendekatan Regresi Linier**

Kode Sampel	Material	Diameter	UCS ( $\sigma_c$ )	UTS ( $\sigma_t$ )	$\sigma_c^2$	$\sigma_t^2$	$\sigma_c\sigma_t$
GT-03 BHS	Clay	5,4	0,56	0,3	0,3136	0,09	0,168
GT-02 BHJ	Clay	5,4	0,32	0,24	0,1024	0,0576	0,0768
GT-04 BMM	Clay	5,4	0,48	0,2	0,2304	0,04	0,096
GT-05 BMM	Clay	5,4	0,64	0,18	0,4096	0,0324	0,1152
GT-01 PDAP	Clay	5,4	0,48	0,08	0,2304	0,0064	0,0384
GT-02 PDAP	Clay	5,5	1,24	0,52	1,5376	0,2704	0,6448
GT-02 BHJ	Clay	4,7	1,79	0,74	3,2041	0,5476	1,3246
GT-05 BMM	Coal	5,4	1,12	0,57	1,2544	0,3249	0,6384
GT-01 PDAP	Coal	5,4	4,02	0,8	16,1604	0,64	3,216
GT-02 PDAP	Coal	5,5	0,69	0,52	0,4761	0,2704	0,3588
GT-02 PDAP	Coal	4,7	3,38	1,03	11,4244	1,0609	3,4814
GT-04 BMM	Sandy Clay	5,4	0,89	0,11	0,7921	0,0121	0,0979
GT-01 PDAP	Silt	5,5	1,58	0,87	2,4964	0,7569	1,3746
	Jumlah		17,19	6,16	38,6319	4,1096	11,6309

Untuk mencari persamaan regresi linier, maka perlu untuk mencari nilai koefisien dan konstanta dengan cara.

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(6.16)(38.6319) - (17.19)(11.6309)}{13(38.6319) - (17.19)^2}$$

$$a = 0,2192$$

$$b = \left(\frac{\sum y}{n}\right) - \left(\frac{a(\sum x)}{n}\right)$$

$$b = \frac{6.16}{13} - \frac{0.2192(17.19)}{13}$$

$$b = 0,184$$

## Analisis Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung Batuan Sedimen dengan Metode Regresi dan Jaringan Saraf Tiruan

Sehingga persamaan regresi linier adalah  $y = 0,2192x + 0,184$  atau  $\sigma_t = 0,2192\sigma_c + 0,184$ . dari persamaan tersebut maka didapat nilai UTS prediksi. Untuk mendapat nilai RMSE maka nilai UTS pada percobaan perlu dikurangkan dengan nilai UTS prediksi. Untuk mencari nilai MAPE, diperlukan nilai mutlak dari hasil pengurangan UTS aktual dan Prediksi yang kemudian akan dibagi dengan nilai UTS aktual. Berikut tabel penyajian data UTS aktual, prediksi, RMSE, dan MAPE.

**Tabel 3**  
**Penyajian UTS aktual, Prediksi, RMSE, dan MAPE**  
**pada Regresi Linier**

Kode Sampel	$\sigma_t$	$\sigma_t'$	$(\sigma_t - \sigma_t')^2$	$(\sigma_t - \sigma_t') / \sigma_t$
GT-03 BHS	0,3	0,306754	4,56102E-05	0,022512
GT-02 BHJ	0,24	0,070142	0,028851806	0,707742
GT-04 BMM	0,2	0,105213	0,00898463	0,473936
GT-05 BMM	0,18	0,140284	0,001577391	0,220647
GT-01 PDAP	0,08	0,105213	0,000635681	0,315159
GT-02 PDAP	0,52	0,271799	0,061603488	0,477309
GT-02 BHJ	0,74	0,392356	0,120856539	0,46979
GT-05 BMM	0,57	0,245496	0,105302637	0,569305
GT-01 PDAP	0,8	0,881156	0,006586368	0,101446
GT-02 PDAP	0,52	0,151243	0,135981526	0,709148
GT-02 PDAP	1,03	0,740873	0,083594521	0,280706
GT-04 BMM	0,11	0,195082	0,007238929	0,773472
GT-01 PDAP	0,87	0,346325	0,274235329	0,601925
Jumlah	6,16	3,951936	0,835494457	5,723095

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{0,835494457}{13}}$$

$$RMSE = 0,253512927$$

$$MAPE = \frac{\sum |y_i - Y_i|}{n \cdot y}$$

$$MAPE = \frac{5,723095}{13}$$

$$MAPE = 44.02\%$$

Sehingga didapatkan Nilai RMSE dan MAPE dari pendekatan regresi linier yaitu 0,253512927 dan 44.02%.

### 2. Analisis Statistika Deskriptif

Pengolahan data menggunakan analisis statistika deskriptif memberikan gambaran atau deskriptif mengenai suatu data. Dalam penelitian ini, nilai UTS perlu dibagi dengan nilai UCS untuk mencari nilai rata – rata, median, dan modus. Setelah itu mencari nilai koefisien sehingga didapatkan persamaan dengan analisis statistika deskriptif.

**Tabel 4**  
**Analisis Statistika Deskriptif**

Kode Sampel	Material	UCS ( $\sigma_c$ )	UTS ( $\sigma_t$ )	$\frac{\sigma_t}{\sigma_c}$	Mean	Median
GT-03 BHS	Clay	0,56	0,3	0,535714286		
GT-02 BHJ	Clay	0,32	0,24	0,75		
GT-04 BMM	Clay	0,48	0,2	0,416666667		
GT-05 BMM	Clay	0,64	0,18	0,28125		
GT-01 PDAP	Clay	0,48	0,08	0,166666667		
GT-02 PDAP	Clay	1,24	0,52	0,419354839		
GT-02 BHJ	Clay	1,79	0,74	0,413407821	<b>0,417198</b>	0,416667
GT-05 BMM	Coal	1,12	0,57	0,508928571		
GT-01 PDAP	Coal	4,02	0,8	0,199004975		
GT-02 PDAP	Coal	0,69	0,52	0,753623188		
GT-02 PDAP	Coal	3,38	1,03	0,304733728		
GT-04 BMM	Sandy Clay	0,89	0,11	0,123595506		
GT-01 PDAP	Silt	1,58	0,87	0,550632911		

Untuk mendapat nilai koefisien maka perlu dicari dengan cara menambah nilai rata-rata dan median kemudian dibagi dua.

$$a = \frac{\text{Rata-rata} + \text{Median}}{n}$$

$$a = \frac{0,417198 + 0,416667}{13}$$

$$a = 0,416933$$

Berdasarkan nilai koefisien diatas, maka didapat persamaan hubungan UCS dan UTS berdasarkan pendekatan statistika deskriptif yaitu  $\sigma_t = 0,41693\sigma_c$ . Kemudian persamaan tersebut digunakan untuk mencari nilai UTS prediksi, RMSE, dan MAPE.

**Tabel 5**  
**Penyajian UTS aktual, Prediksi, RMSE, dan MAPE pada Statistika Deskriptif**

Kode Sampel	$\sigma_t$	$\sigma_t'$	$(\sigma_t - \sigma_t')^2$	$(\sigma_t - \sigma_t') / \sigma_t$
GT-03 BHS	0,3	0,233482	0,055561224	0,221726
GT-02 BHJ	0,24	0,133418	0,2601	0,44409
GT-04 BMM	0,2	0,200128	0,046944444	0,000638
GT-05 BMM	0,18	0,266837	0,010251563	0,482427
GT-01 PDAP	0,08	0,200128	0,007511111	1,501595
GT-02 PDAP	0,52	0,516996	0,010129448	0,005776
GT-02 BHJ	0,74	0,746309	0,106662451	0,008526

Analisis Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung Batuan Sedimen dengan Metode Regresi dan Jaringan Saraf Tiruan

GT-05 BMM	0,57	0,466964	0,003729719	0,180764
GT-01 PDAP	0,8	1,676069	0,36119502	1,095086
GT-02 PDAP	0,52	0,287683	0,054579794	0,446763
GT-02 PDAP	1,03	1,409232	0,526011166	0,368186
GT-04 BMM	0,11	0,37107	0,000184838	2,373363
GT-01 PDAP	0,87	0,658753	0,101995337	0,242812
Jumlah	17,19	6,16	1,544856	7,371

Untuk mencari nilai RMSE dan MAPE maka diperlukan perhitungan sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$MAPE = \frac{\sum | \frac{y_i - Y_i}{y} |}{n}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1,544856}{13}}$$

$$MAPE = \frac{7,371}{13}$$

$$RMSE = 0,34472$$

$$MAPE = 56,705\%$$

Sehingga didapatkan nilai RMSE dan MAPE sebesar 0,34472 dan 56,705%.

### 3. Regresi Polinomial 2 Orde

Untuk mendapat persamaan dari regresi polinomial 2 orde maka perlu dilakukan perhitungan seperti pada tabel berikut:

**Tabel 6**  
**Analisis Regresi Polinomial 2 Orde**

Kode Sampel	UCS ( $\sigma_c$ )	UTS ( $\sigma_t$ )	$\sigma_c \sigma_t$	$\sigma_c^2 \sigma_t$	$\sigma_c^2$	$\sigma_c^3$	$\sigma_c^4$
GT-03 BHS	0,56	0,3	0,168	0,09408	0,3136	0,175616	0,098345
GT-02 BHJ	0,32	0,24	0,0768	0,024576	0,1024	0,032768	0,010486
GT-04 BMM	0,48	0,2	0,096	0,04608	0,2304	0,110592	0,053084
GT-05 BMM	0,64	0,18	0,1152	0,073728	0,4096	0,262144	0,167772
GT-01 PDAP	0,48	0,08	0,0384	0,018432	0,2304	0,110592	0,053084
GT-02 PDAP	1,24	0,52	0,6448	0,799552	1,5376	1,906624	2,364214
GT-02 BHJ	1,79	0,74	1,3246	2,371034	3,2041	5,735339	10,26626
GT-05 BMM	1,12	0,57	0,6384	0,715008	1,2544	1,404928	1,573519
GT-01 PDAP	4,02	0,8	3,216	12,92832	16,1604	64,96481	261,1585
GT-02 PDAP	0,69	0,52	0,3588	0,247572	0,4761	0,328509	0,226671
GT-02 PDAP	3,38	1,03	3,4814	11,76713	11,4244	38,61447	130,5169
GT-04 BMM	0,89	0,11	0,0979	0,087131	0,7921	0,704969	0,627422



GT-01 PDAP	1,58	0,87	1,3746	2,171868	2,4964	3,944312	6,232013
Jumlah	17,16	6,16	11,6309	31,34451	38,6319	118,2957	413,3483

Untuk mendapat persamaan polinomial 2 orde, perlu dicari nilai koefisien dengan cara mengubah data diatas menjadi matriks.

$$\begin{matrix}
 n & \sum x_i & \sum x_i^2 & a_0 & \sum y_i \\
 \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & a_1 & \sum x_i y_i \\
 \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & a_2 & \sum x_i^2 y_i
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 13 & 17,16 & 38,6319 & a_0 & 6,16 \\
 17,16 & 38,6319 & 118,2957 & a_1 & 11,6309 \\
 38,6319 & 118,2957 & 413,3483 & a_2 & 31,34451
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 a_0 & -0,12272 \\
 a_1 & 0,714514 \\
 a_2 & -0,11719
 \end{matrix}$$

Sehingga didapat persamaan regresi polinomial 2 orde yaitu  $\sigma_t = -0,1172 \sigma_c^2 + 0,7145 \sigma_c - 0,1227$ . Dari persamaan tersebut, dapat diketahui nilai UTS prediksi, RMSE, dan MAPE.

**Tabel 7**  
**Penyajian UTS aktual, Prediksi, RMSE, dan MAPE**  
**pada Regresi Polinomial 2 Orde**

Kode Sampel	$\sigma_t$	$\sigma_t'$	$(\sigma_t - \sigma_t')^2$	$(\sigma_t - \sigma_t') / \sigma_t$
GT-03 BHS	0,3	0,473819124	0,030213088	0,579397
GT-02 BHJ	0,24	0,091135714	0,022160576	0,620268
GT-04 BMM	0,2	0,333457988	0,017811034	0,66729
GT-05 BMM	0,18	0,626980261	0,199791354	2,483224
GT-01 PDAP	0,08	0,333457988	0,064240952	3,168225
GT-02 PDAP	0,52	2,183688787	2,76786038	3,199402
GT-02 BHJ	0,74	4,243171602	12,27221127	4,734016
GT-05 BMM	0,57	1,814747082	1,549395297	2,183767
GT-01 PDAP	0,8	18,79283829	323,7422297	22,49105
GT-02 PDAP	0,52	0,729205972	0,043767139	0,402319
GT-02 PDAP	1,03	13,59954919	157,993567	12,20345
GT-04 BMM	0,11	1,188108814	1,162318614	9,800989
GT-01 PDAP	0,87	3,385423618	6,327355978	2,891292
Jumlah	6,16	47,79558443	506,1929223	65,42468

Untuk mencari nilai RMSE dan MAPE maka perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$\text{MAPE} = \frac{\sum |y_i - Y_i|}{n \cdot y}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{506,1929223}{13}}$$

$$\text{MAPE} = \frac{65,43438}{13}$$

$$\text{RMSE} = 6,240$$

$$\text{MAPE} = 503\%$$

Sehingga didapatkan nilai RMSE dan MAPE 6,240 dan 503%

#### 4. Regresi Eksponensial

Untuk melakukan analisis dengan menggunakan regresi eksponensial maka perlu melakukan perhitungan menggunakan logaritma natural seperti pada tabel berikut:

**Tabel 8**  
**Analisis Regresi Eksponensial**

Kode Sampel	UCS ( $\sigma_c$ )	UTS ( $\sigma_t$ )	$\sigma_c^2$	$\ln(\sigma_c)$	$\ln(\sigma_t)$	$\ln(\sigma_t)^2$	$\sigma_c \ln(\sigma_t)$
GT-03 BHS	0,56	0,3	0,3136	-0,57982	-1,20397	1,449551	-0,67422
GT-02 BHJ	0,32	0,24	0,1024	-1,13943	-1,42712	2,036661	-0,45668
GT-04 BMM	0,48	0,2	0,2304	-0,73397	-1,60944	2,59029	-0,77253
GT-05 BMM	0,64	0,18	0,4096	-0,44629	-1,7148	2,940534	-1,09747
GT-01 PDAP	0,48	0,08	0,2304	-0,73397	-2,52573	6,379305	-1,21235
GT-02 PDAP	1,24	0,52	1,5376	0,215111	-0,65393	0,42762	-0,81087
GT-02 BHJ	1,79	0,74	3,2041	0,582216	-0,30111	0,090664	-0,53898
GT-05 BMM	1,12	0,57	1,2544	0,113329	-0,56212	0,315978	-0,62957
GT-01 PDAP	4,02	0,8	16,1604	1,391282	-0,22314	0,049793	-0,89704
GT-02 PDAP	0,69	0,52	0,4761	-0,37106	-0,65393	0,42762	-0,45121
GT-02 PDAP	3,38	1,03	11,4244	1,217876	0,029559	0,000874	0,099909
GT-04 BMM	0,89	0,11	0,7921	-0,11653	-2,20727	4,872063	-1,96447
GT-01 PDAP	1,58	0,87	2,4964	0,457425	-0,13926	0,019394	-0,22003
Jumlah	17,19	6,16	38,6319	-0,14384	-13,1923	21,60035	-9,62552

Kemudian untuk mendapatkan persamaan dengan regresi eksponensial maka perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$b = \text{Exp} \frac{n \sum x (\ln y) - \sum x \sum (\ln y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \qquad a = \text{Exp} \frac{(\sum \ln y) - b(\sum x)}{n}$$

$$b = \text{EXP} \frac{13(17,19)(\ln -13,1923) - (17,19)(\ln -13,1923)}{13(38,6319) - (17,19)^2} \qquad a = \text{Exp} \frac{(\ln -13,1923) - 0,4917(17,19)}{13}$$

$$b = 0,4917 \qquad a = 0,1892$$

Sehingga didapat persamaan ekponensial sebagai  $\sigma_t = 0,1892 e^{0,4917 \sigma_c}$ . Dari persamaan tersebut, dapat diketahui nilai UTS prediksi, RMSE, dan MAPE.

**Tabel 9**  
**Penyajian UTS Aktual, Prediksi, RMSE, Dan MAPE**  
**Pada Regresi Eksponensial**

Kode Sampel	$\sigma_t$	$\sigma_r$	$(\sigma_t - \sigma_r)^2$	$(\sigma_t - \sigma_r) / \sigma_t$
GT-03 BHS	0,3	0,249171549	0,002583531	0,169428
GT-02 BHJ	0,24	0,221436119	0,000344618	0,07735
GT-04 BMM	0,2	0,239560451	0,001565029	0,197802
GT-05 BMM	0,18	0,259168242	0,00626761	0,439824
GT-01 PDAP	0,08	0,239560451	0,025459538	1,994506
GT-02 PDAP	0,52	0,348102192	0,029548856	0,330573
GT-02 BHJ	0,74	0,45619934	0,080542815	0,383514
GT-05 BMM	0,57	0,328157068	0,058488004	0,424286
GT-01 PDAP	0,8	1,365691103	0,320006424	0,707114
GT-02 PDAP	0,52	0,265618833	0,064709778	0,489195
GT-02 PDAP	1,03	0,996978606	0,001090412	0,03206
GT-04 BMM	0,11	0,293067182	0,033513593	1,664247
GT-01 PDAP	0,87	0,411444168	0,210273451	0,527076
Jumlah	6,16	5,674155304	0,834393659	7,436973

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \gamma_i)^2}{n}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{0,834393659}{13}}$$

$$RMSE = 0,2533$$

$$MAPE = \frac{\sum | \frac{\gamma_i - Y_i}{Y_i} |}{n}$$

$$MAPE = \frac{7,456973}{13}$$

$$MAPE = 57,207\%$$

Sehingga didapatkan nilai RMSE dan MAPE sebesar 0,2533 dan MAPE 57,207%

### 5. Jaringan Saraf Tiruan

Untuk mendapatkan hasil analisis diperlukan data training serta pemilihan banyaknya *hidden layer* dan *node* yang akan digunakan, pada hasil analisis berikut menggunakan 2 *hidden layers* dengan 10 node pada layer 1 dan 5 node pada layer 2, serta menggunakan 2 input yaitu diameter contoh dan nilai UCS, dengan output 1 yaitu nilai UTS.

**Tabel 12**  
**Penyajian Hasil Analisis Jaringan Saraf Tiruan**

Kode Sampel	Diameter	UCS	UTS	UTS (Prediksi)
GT-03 BHS	5.4	0.56	0.3	0.23330646
GT-02 BHJ	5.4	0.32	0.24	0.259323
GT-04 BMM	5.4	0.48	0.2	0.18566028
GT-05 BMM	5.4	0.64	0.18	0.24517668
GT-01 PDAP	5.4	0.48	0.08	0.18566028
GT-02 PDAP	5.5	1.24	0.52	0.52345458
GT-02 BHJ	4.7	1.79	0.74	0.7499958
GT-05 BMM	5.4	1.12	0.57	0.57506496
GT-01 PDAP	5.4	4.02	0.8	0.8020752
GT-02 PDAP	5.5	0.69	0.52	0.53122134
GT-02 PDAP	4.7	3.38	1.03	1.0307298
GT-04 BMM	5.4	0.89	0.11	0.1153998
GT-01 PDAP	5.5	1.58	0.87	0.8711838

Analisis Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung Batuan Sedimen dengan Metode Regresi dan Jaringan Saraf Tiruan

Dari pengujian didapatkan nilai  $R^2 = 0.984$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{0,020738}{13}}$$

$$RMSE = 0,03994$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y_i - Y_i|}{y}}{n}$$

$$MAPE = \frac{2,161738}{13}$$

$$MAPE = 16,63\%$$

Sehingga didapatkan nilai RMSE dan MAPE sebesar 0,03994 dan 16,63%.

### 6. Analisis Rule of Thumb

*Rule of thumb* menyatakan bahwa nilai kuat tarik hanya sebesar 10% dari nilai kuat tekan. Untuk dapat membandingkan kemampuan analisis regresi terhadap *rule of thumb* maka perlu dilakukan validasi keakuratan data *rule of thumb* dengan pendekatan RMSE dan MAPE.

**Tabel 12**  
**Analisis Rule of Thumb**

Kode Sampel	UCS	UTS	<i>rule of thumb</i>	$(\sigma_t - \sigma_t')^2$	$(\sigma_t - \sigma_t') / \sigma_t$
GT-01	0,56	0,3	0,056	0,3136	0,813333
GT-02	0,32	0,24	0,032	0,1024	0,866667
GT-03	0,48	0,2	0,048	0,2304	0,76
GT-04	0,64	0,18	0,064	0,4096	0,644444
GT-05	0,48	0,08	0,048	0,2304	0,4
GT-06	1,24	0,52	0,124	1,5376	0,761538
GT-07	1,79	0,74	0,179	3,2041	0,758108
GT-08	1,12	0,57	0,112	1,2544	0,803509
GT-09	4,02	0,8	0,402	16,1604	0,4975
GT-10	0,69	0,52	0,069	0,4761	0,867308
GT-11	3,38	1,03	0,338	11,4244	0,671845
GT-12	0,89	0,11	0,089	0,7921	0,190909
GT-13	1,58	0,87	0,158	2,4964	0,818391
Jumlah	17,19	6,16	1,719	38,6319	8,853552034

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{38,6319}{13}}$$

$$RMSE = 0,408$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y_i - Y_i|}{y}}{n}$$

$$MAPE = \frac{8,853552034}{13}$$

$$MAPE = 68,1\%$$

Sehingga didapatkan hasil RMSE dan MAPE sebesar 0,408 dan 68,1%.

**B. Pembahasan**

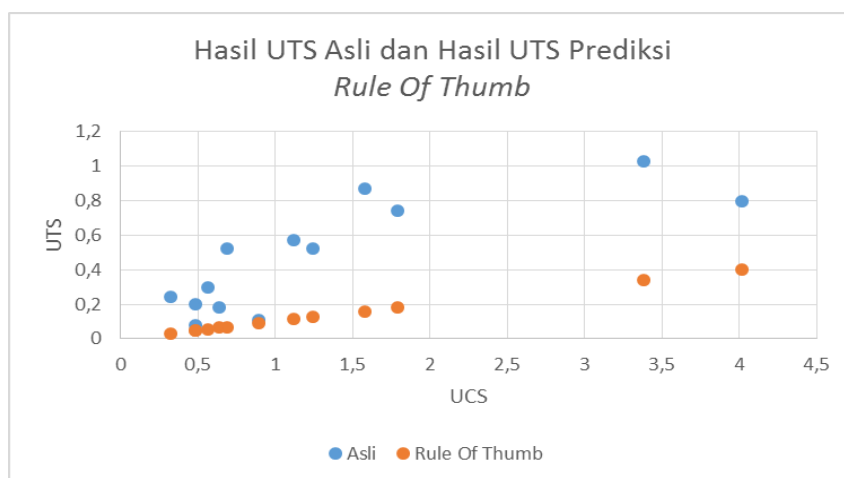
Pada hasil analisis data diatas, didapatkan nilai RMSE dan MAPE pada setiap metode regresi sebagai berikut:

**Tabel 13**  
**Hasil RMSE dan MAPE Tiap Analisis**

Analisis	RMSE	MAPE
Regresi Linier	0,253512927	44,02%
Analisis Statistika Deskriptif	0,34472	56,705%
Regresi Polinomial 2 Orde	6,240	503%
Regresi Eksponensial	0,2533	57,207%
Regresi Logaritmik	0,1538	57,77%
Jaringan Saraf Tiruan	0,03994	16,63%
<i>Rule of Thumb</i>	0,408	68,1%

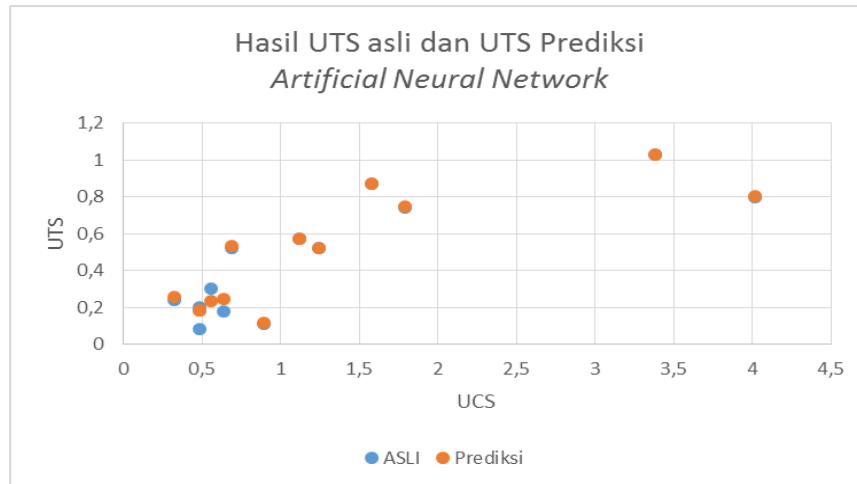
Dari tabel 13, dapat dilihat nilai RMSE dan MAPE pada *rule of thumb* sebesar 0,408 dan 68,1%. Hasil tersebut tidak lebih baik daripada analisis menggunakan regresi linier, analisis statistika deskriptif, regresi eksponensial, regresi logaritmik, dan jaringan saraf tiruan. Nilai RMSE dan MAPE pada kelima metode diatas memberikan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai *rule of thumb*. Analisis dengan metode regresi polinomial 2 orde sangat tidak direkomendasikan untuk melihat hubungan kuat tarik dan kuat tekan dikarenakan nilai eror yang terlalu besar dibanding dengan metode lain.

Dari ke-lima pendekatan yang memiliki hasil lebih baik daripada *rule of thumb*, analisis dengan menggunakan jaringan saraf tiruan merupakan metode dengan keakuratan data terbaik. Nilai RMSE sebesar 0,03994 sangat kecil hingga mendekati nilai nol sehingga keakuratan data dari metode jaringan saraf tiruan dapat dipertanggungjawabkan. Nilai MAPE pada analisis jaringan saraf tiruan juga menunjukkan hasil yang baik yaitu 16,63%. Hasil tersebut termasuk dalam kategori peramalan yang baik. Untuk lebih memahami terkait perbandingan nilai *rule of thumb* dan jaringan saraf tiruan maka dapat dilihat pada grafik berikut:



**Gambar 2**  
**Pesebaran Nilai hasil Prediksi *Rule of Thumb* dan Hasil UTS Asli**

## Analisis Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung Batuan Sedimen dengan Metode Regresi dan Jaringan Saraf Tiruan



**Gambar 3**  
**Pesebaran Nilai hasil Prediksi Artificial Neural Network dan Hasil UTS Asli**

Terlihat pada gambar 2, titik – titik hasil prediksi nilai *rule of thumb* yang mendekati nilai UTS asli hanya berada pada nilai dengan UCS <1 Mpa untuk nilai titik dengan nilai UCS >1Mpa banyak menunjukkan hasil yang melenceng dari nilai UTS asli. Sedangkan pada gambar 3, jaringan saraf tiruan memiliki banyak hasil yang mendekati nilai UTS asli. Hasil RMSE dan MAPE juga mendukung grafik pada gambar diatas. Sehingga sangat direkomendasikan untuk melihat hubungan kuat tarik tidak langsung dan kuat tekan uniaksial pada batu sedimen dengan nilai kuat tekan <5 Mpa menggunakan jaringan saraf tiruan.

Analisis dengan jaringan saraf tiruan dapat menunjukkan hasil yang lebih baik daripada analisis dengan menggunakan regresi disebabkan input yang masukan pada jaringan saraf tiruan menggunakan nilai kuat tekan uniaksial dan diameter sampel sedangkan pada analisis regresi hanya menggunakan nilai kuat tekan uniaksial. Hal tersebut berbanding lurus dengan rumus yang dipaparkan oleh [Bieniawski \(1967\)](#) dan [Hawkes & Mellor \(1971\)](#) dimana diameter mempengaruhi nilai kuat tarik tidak langsung.

Penggunaan jaringan saraf tiruan untuk melihat nilai kuat tarik tidak langsung dapat meminimalisir pengeluaran dana karena perusahaan tidak perlu lagi mengeluarkan uang untuk melakukan pengujian kuat tarik tidak langsung. Namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk melihat apakah penggunaan jaringan saraf tiruan akurat untuk batuan dengan nilai kuat tekan yang lebih besar.

### Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan diatas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: 1) Nilai *rule of thumb* yang banyak digunakan pada dunia pertambangan menunjukkan hasil yang kurang akurat pada batuan sedimen dengan nilai kuat tekan <5 Mpa 2) Pendekatan dengan regresi polinomial 2 orde sangat tidak dianjurkan untuk melihat keakuratan data hubungan kuat tarik tidak langsung dan kuat tekan uniaksial

pada batuan sedimen <5Mpa. 3) Analisis dengan jaringan saraf tiruan menunjukkan hasil yang baik dengan nilai RMSE sebesar 0,03994 dan MAPE 16,63% sehingga sangat dianjurkan untuk menggunakan analisis jaringan saraf tiruan dalam mencari hubungan kuat tarik tidak langsung dan kuat tekan uniaksial pada batuan sedimen dengan nilai kuat tekan <5Mpa.

## BIBLIOGRAFI

- Haykin, Simon, & Network, N. (2004). A comprehensive foundation. *Neural Networks*, 2 (2004), 41. [Google Scholar](#)
- Jayadiani, Herlina, Cahyadi, Tedy Agung, Amri, Nur Ali, & Pitayandanu, Muhammad Fathurrahman. (2020). Metode Komparasi Artificial Neural Network pada Prediksi Curah Hujan-Literature Review. *Jurnal Tekno Insentif*, 14 (2), 47–53. [Google Scholar](#)
- Kalensun, Hesti, Kawet, Lingkan, & Halim, Fuad. (2016). Perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih di Kelurahan Pangolombian Kecamatan Tomohon Selatan. *Jurnal Sipil Statik*, 4 (2). [Google Scholar](#)
- Rai, M. A. (2013). *Mekanika Batuan*. Bandung: Penerbit ITB. [Google Scholar](#)
- Rosdiani, N., & Hidayat, A. (2020). Pengaruh Derivatif Keuangan, Konservatisme Akuntansi dan Intensitas Aset Tetap Terhadap Penghindaran Pajak. *Journal of Technopreneurship on Economics and Business Review*, 1 (2), 131–143. [Google Scholar](#)
- Sri, K. (2003). *Artificial Intelligence*. Yogyakarta: Graha Ilmu. [Google Scholar](#)
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta. [Google Scholar](#)
- Zakri, R. S., Prengki, I., & Saldy, T. G. (2020). Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung pada Batuan Sedimen dengan Nilai Kuat Tekan Rendah. *Jurnal Bina Tambang*, 5 (3), 59–70. [Google Scholar](#)

---

### Copyright holder:

Yosua Buntu Sumule, Dimas Daffa Dhiya Ulhaq (2022)

### First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

### This article is licensed under:

