



Analisis Upper Bound dan Lower Bound pada Kuat Tekan Batupasir Formasi Balikpapan dan Pulau Balang dengan Metode *Uniaxial Compressive Strength*, *Point Load Index* dan *Schmidt Hammer*

Aisyatur Ridho^{1*}, Tommy Trides², Rety Winonazada³, Albertus Juvensius Pontus⁴,
Revia Oktaviani⁵

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman, Indonesia

²⁻⁵Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Indonesia

*Penulis Korespondensi: aisytr02@email.com

Abstract. Sandstone is one of the sedimentary rock types widely utilized in mining activities; therefore, its mechanical characteristics, particularly uniaxial compressive strength, need to be determined. This study aims to analyze the compressive strength of sandstone from the Balikpapan and Pulau Balang Formations using the Uniaxial Compressive Strength (UCS), Point Load Index (PLI), and Schmidt Hammer methods. Sampling and Schmidt Hammer testing were conducted in the field, while physical property tests, UCS tests, and PLI tests were carried out in the laboratory. The results indicate that the compressive strength of sandstone from the Pulau Balang Formation is higher than that of the Balikpapan Formation, with values ranging from 18.30–44.11 MPa and 10.05–39.51 MPa, respectively. The relationship between PLI and UCS for the Balikpapan Formation is expressed by the regression equation $UCS = 16.569(Is50)$ with $R^2 = 0.78$, whereas for the Pulau Balang Formation the equation is $UCS = 8.2664(Is50)$ with $R^2 = 0.76$. The regression equations were further complemented with upper and lower bounds based on the margin of error. In addition, the Rebound Number (Rn) exhibited a positive linear correlation with UCS, with coefficients of determination (R^2) of 0.89 for the Balikpapan Formation and 0.98 for the Pulau Balang Formation. These findings indicate that higher UCS values correspond to higher Rebound Number values.

Keywords: Correlation; Point Load Index; Schmidt Hammer; Sandstone; UCS.

Abstrak. Batupasir merupakan salah satu jenis batuan sedimen yang banyak dimanfaatkan dalam kegiatan pertambangan sehingga perlu diketahui karakteristik mekaniknya, khususnya kuat tekan batuan. Penelitian ini bertujuan menganalisis nilai kuat tekan batupasir pada Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang menggunakan metode *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), *Point Load Index* (PLI), dan *Schmidt Hammer*. Pengambilan sampel dan pengujian *Schmidt Hammer* dilakukan di lapangan, sedangkan pengujian sifat fisik, UCS, dan PLI dilakukan di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan batupasir pada Formasi Pulau Balang lebih tinggi dibandingkan Formasi Balikpapan, dengan kisaran nilai 18,30–44,11 MPa dan 10,05–39,51 MPa. Hubungan PLI terhadap UCS pada Formasi Balikpapan menghasilkan persamaan $UCS = 16,569(Is50)$ dengan $R^2 = 0,78$, sedangkan pada Formasi Pulau Balang diperoleh persamaan $UCS = 8,2664(Is50)$ dengan $R^2 = 0,76$. Persamaan regresi juga dilengkapi dengan batas *upper bound* dan *lower bound* berdasarkan nilai margin of error. Selain itu, nilai *Rebound Number* (Rn) memiliki korelasi linier positif terhadap UCS dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,89$ pada Formasi Balikpapan dan $R^2 = 0,98$ pada Formasi Pulau Balang. Semakin tinggi nilai UCS, maka semakin tinggi pula nilai *Rebound Number*.

Kata kunci: Batupasir; Korelasi; Point Load Indeks; Schmidt Hammer; UCS.

1. LATAR BELAKANG

Dalam operasi pemboran tingkat lanjut, mengetahui karakteristik batuan formasi merupakan hal yang penting yang dilakukan. Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang sebagai unit litologi yang memiliki karakteristik unik. Kedua formasi ini tersusun predominan oleh batupasir. Batupasir dalam kedua formasi ini tidak hanya berperan sebagai batuan induk dan resevoir hidrokarbon, tetapi juga sebagai material geoteknik yang menentukan stabilitas infrastruktur pertambangan. Penentuan kuat tekan batupasir dapat dilakukan dengan

melakukan uji kuat tekan uniaksial. Pengujian kuat tekan uniaksial (UCS) telah menjadi standar internasional untuk karakterisasi kekuatan batuan. Pendekatan lain yang sering digunakan untuk menilai kekuatan batuan ialah PLI (*Point Load Index*) dan *Schmidt Hammer* yang telah terbukti sebagai teknik pengujian yang efisien, *cost-effective*, dan dapat diimplementasikan secara in-situ.

Oleh karena itu, dilakukanlah penelitian terhadap batupasir pada Formasi Balikpapan dan Pulau Balang dengan pengujian kuat tekan uniaksial, *point load index*, dan *schmidt hammer* dengan perbandingan yang ada pada literatur agar mampu menganalisis korelasi nilai kuat tekan antara UCS dengan PLI dan *Schmidt Hammer* dengan UCS.

2. KAJIAN TEORITIS

Batupasir adalah batuan sedimen yang terutama terdiri dari mineral berukuran pasir atau butir-butir batuan yang dapat berasal dari pecahan batuan-batuan lainnya. Batupasir merupakan batuan sedimen klastik kasar dengan ukuran butir berkisar dari 0,0625 mm hingga 2 mm.

Kuat tekan batuan utuh (*Compressive Strength*) merupakan salah satu sifat mekanik dari suatu perilaku batuan. Kuat tekan batuan utuh menunjukkan kekuatan batuan untuk bertahan sampai batuan tersebut mengalami *failure* terhadap gaya yang diterimanya. Kekuatan tekan batuan adalah kemampuan mekanik batuan untuk menahan beban yang diterapkan secara vertikal. Tujuannya adalah untuk menentukan seberapa besar tekanan yang dapat diterima oleh batuan sebelum mengalami kehancuran. Kekuatan tekan bervariasi tergantung pada jenis batuan, dengan batuan beku umumnya memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan batuan sedimen. Secara teoritis, kegagalan (*failure*) pada uji kuat tekan terjadi ketika tegangan yang diberikan melampaui ikatan kohesi dan gesekan antar butir penyusun batuan tersebut (Bieniawski, 1976).

Uji *Point Load Index* merupakan uji indeks yang telah secara luas digunakan untuk memprediksi nilai UCS suatu batuan secara tidak langsung di lapangan. Dengan tujuan untuk mengetahui nilai dari sifat mekanik khususnya indeks beban titik (*Is*) dan nilai kuat tekan suatu batuan dilakukan uji kuat tekan dengan menggunakan metode uji beban titik atau *Point Load Index Test* (Atapour&Aftabi, 2017).

Schmidt hammer atau palu *Schmidt* dikembangkan di akhir tahun 1940-an sebagai indeks peralatan untuk pengujian *non-destruktif* dari beton insitu (pengujian di lapangan) telah digunakan dalam praktik mekanika batuan sejak awal 1960-an, terutama untuk memperkirakan kekuatan tekan uniaksial (UCS) dan *modulus young* (*Et*) dari material batuan dan *Schmidt*

hammer banyak digunakan untuk menguji tingkat kekerasan dari batuan ataupun beton (Aydin dan Basu, 2005).

Konsep *Upper Bound* dan *Lower Bound* merupakan pendekatan statistik yang digunakan untuk menunjukkan batas atas dan batas bawah dari sebaran data dalam suatu hubungan empiris. Menurut Douglas C. Montgomery dalam buku *Applied Statistic and Probability for Engineers*, batas atas (*upper bound*) dan batas bawah (*lower bound*) digunakan untuk menggambarkan rentang kemungkinan nilai suatu variabel berdasarkan hasil analisis regresi dan penyimpangan data terhadap garis regresi tersebut. *Upper bound* menunjukkan nilai maksimum yang masih mungkin terjadi dalam hubungan antar variabel, sedangkan *lower bound* menunjukkan nilai minimum yang masih berada dalam rentang penyebaran data. Penentuan kedua batas ini biasanya didasarkan pada nilai standar deviasi residual dari model regresi sehingga dapat menggambarkan variasi atau ketidakpastian data terhadap garis hubungan utama.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan batas atas dan batas bawah adalah dengan menggunakan *Margin of Error* (MoE). *Margin of error* merupakan ukuran statistik yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan kesalahan yang dapat terjadi antara nilai hasil estimasi dengan nilai sebenarnya pada tingkat kepercayaan tertentu. Secara matematis, *margin of error* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$MoE = t \times \frac{SD}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (i)$$

Dimana:

MoE = *margin of error*

t = nilai distribusi t pada tingkat kepercayaan tertentu

SD = standar deviasi data

n = jumlah sampel

Jika hubungan antara dua variabel dinyatakan dalam persamaan regresi:

$$Y = \alpha X + b \dots \dots \dots (ii)$$

Maka batas atas dan batas bawah dapat ditentukan dengan menambahkan dan mengurangi *margin of error* terhadap nilai prediksi regresi.

$$Y_{upper} = Y_{regresi} + MoE \dots \dots \dots (iii)$$

Dengan demikian, penggunaan *margin of error* dalam menentukan *upper bound* dan *lower bound* memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara parameter batuan serta membantu dalam memahami tingkat ketidakpastian dari hasil analisis yang diperoleh.

Pengujian ini difokuskan pada Formasi Balikpapan dan Pulau Balang di daerah Samarinda, Kalimantan Timur, pada Formasi Balikpapan terdiri dari litologi per selingan batupasir dan lempung dengan sisipan lanau, serpih dan Batubara. Sedangkan Formasi Pulau Balang terdiri dari litologi persilangan antara graywacke dengan batu pasir kuarsa dengan sisipan batu gamping, batu lempung dan Batubara. Sehingga penelitian ini menggunakan sampel batupasir.

3. METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dan digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer dan sekunder. Data primer berupa bongkahan atau batuan utuh yang diambil dari singkapan batupasir pada 3 (tiga) lokasi berbeda pada kedua formasi serta pengambilan titik koordinat pada setiap lokasi pengambilan sampel batuan dan pengambilan data uji *schmidt hammer*.

Sementara untuk data sekunder berupa peta kesampaian daerah dan peta geologi regional. Peta tersebut dihasilkan dari hasil titik koordinat yang di-*plotting* ke dalam *software* Arcgis untuk mengetahui letak lokasi pengambilan sampel dan mengetahui jenis formasi yang terdapat dan termasuk pada wilayah penelitian.

Metode Pengolahan Data

Sampel batuan yang telah diambil dari lapangan kemudian dilakukan preparasi untuk mengolah bongkahan menjadi sampel uji yang memenuhi kriteria geometri sesuai dengan standar teknis yang berlaku. Kemudian dilakukan pengujian laboratorium yakni uji sifat fisik untuk mendapatkan nilai kadar air dan porositas serta uji sifat mekanik berupa kuat tekan uniaksial dan *point load index* pada batuan khususnya batupasir yang kemudian dianalisis secara lanjut.

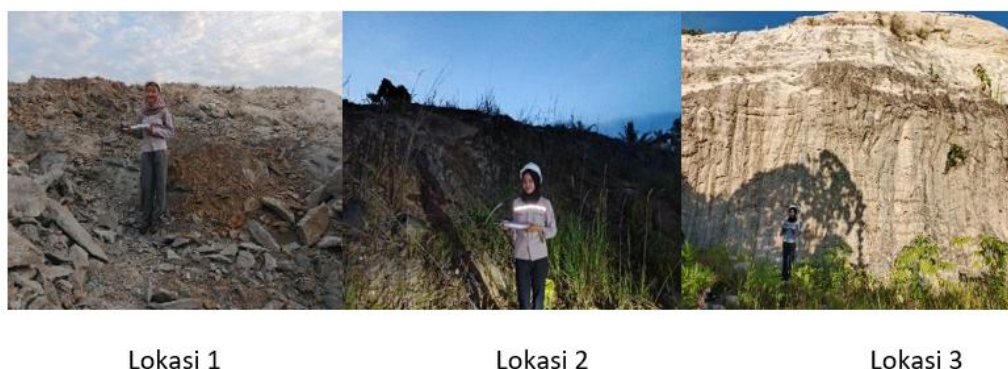
Metode Analisis Data

Data hasil pengujian dari laboratorium kemudian diolah dan dianalisis dengan metode analisis statistik menggunakan regresi linear sederhana, koefisien determinasi (R^2), dan koefisien korelasi (r) untuk mendapatkan model persamaan regresi, serta mengetahui seberapa besar pengaruh dan hubungan pada variabel X terhadap variabel Y.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

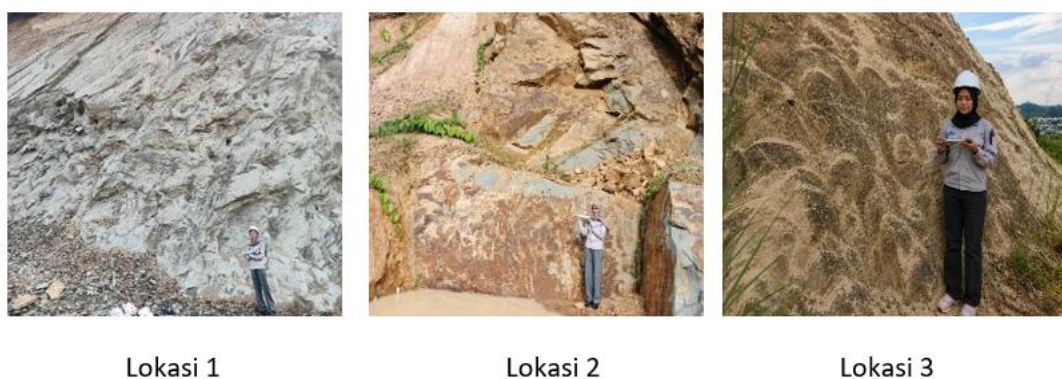
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada 6 lokasi dengan 2 formasi yang berbeda yang dimana 3 lokasi untuk sampel batupasir pada Formasi Balikpapan serta 3 lokasi untuk sampel batupasir pada Formasi Pulau Balang. Pengambilan sampel batupasir dilakukan dari singkapan masih segar dan minim pelapukan agar sifat fisik mekanik batuan tetap representatif. Kondisi singkapan pada masing-masing lokasi pengambilan sampel Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Lokasi Sampel Batupasir Formasi Balikpapan.

Pada Formasi Balikpapan, sampel batuan diambil pada tiga lokasi singkapan batupasir yang berbeda di mana pada lokasi 1 terletak di Perum. New Mahakam Grande. Lokasi 2 terletak di Jl. H. Achmad Amins SMA 13. Lokasi 3 terletak di Jl. Perum Idaman Permai Kota Samarinda, Kalimantan Timur.



Gambar 2. Lokasi Sampel Batupasir Formasi Pulau Balang.

Pada Formasi Pulau Balang, sampel batuan diambil pada tiga lokasi singkapan batupasir yang berbeda di mana pada lokasi 1 terletak di Jl. Ringroad. Lokasi 2 terletak di Jl. H. Moh. Ardans. Lokasi 3 terletak di Jl. D.I. Panjaitan Kota Samarinda, Kalimantan Timur.

Nilai Kuat Tekan

Pengujian UCS menilai kuat tekan satu arah batupasir dari 3 lokasi di Formasi Balikpapan dan Pulau Balang, tiap lokasi memakai tiga silinder seragam.

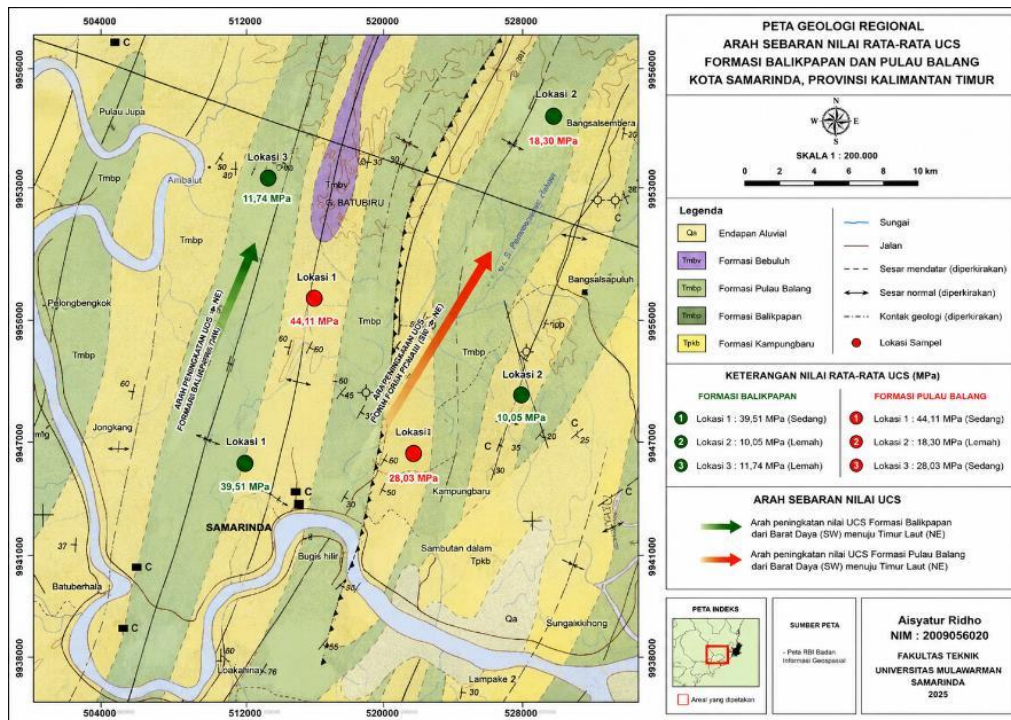
Tabel 1. Hasil Nilai Kuat Tekan Formasi Balikpapan.

No	Sampel	Dimensi sampel (mm)	Tinggi (cm)	Failure (KN)	UCS (Mpa)	Rata-rata	Klasifikasi
1	LPB1S1	40	8	38,75	30.85		
2	LPB1S1	40	8	47,05	37.46		
3	LPB1S2	40	8	43,75	34.83		
4	LPB1S3	40	8	57,5	45.78		
5	LPB1S4	40	8	27,5	21.89	39.51	Sedang
6	LPB1S5	40	8	65,5	52.15		
7	LPB1S6	40	8	72,5	57.72		
8	LPB1S7	40	8	53,75	42.79		
9	LPB1S8	40	8	23,75	18.91		
10	LPB1S9	40	8	66,25	52.75		
11	LPB2S1	40	8	10	7.96		
12	LPB2S2	40	8	17.5	13.93		
13	LPB2S3	40	8	13.75	10.95		
14	LPB2S4	40	8	8.75	6.97		
15	LPB2S5	40	8	30	23.89	10.05	Lemah
16	LPB2S6	40	8	10	7.96		
17	LPB2S7	40	8	10	7.96		
18	LPB2S8	40	8	8.75	6.97		
19	LPB2S9	40	8	6.25	4.98		
20	LPB2S10	40	8	11.25	8.96		
21	LPB3S1	40	8	18.75	14.93		
22	LPB3S2	40	8	18.75	14.93		
23	LPB3S3	40	8	25	19.90		
24	LPB3S4	40	8	13.75	10.95		
25	LPB3S5	40	8	25	19.90	11.74	Lemah
26	LPB3S6	40	8	16.25	12.94		
27	LPB3S7	40	8	8.75	6.97		
28	LPB3S8	40	8	5	3.98		
29	LPB3S9	40	8	6.25	4.98		
30	LPB3S10	40	8	10	7.96		

Tabel 2. Hasil Nilai Kuat Tekan Formasi Pulau Balang.

No	Sampel	Dimensi sampel (mm)	Tinggi (cm)	Failure (KN)	UCS (Mpa)	Rata-rata	Klasifikasi
1	LPPB1S1	40	9.3	57.5	45.78		
2	LPPB1S2	40	9	57.5	45.78		
3	LPPB1S3	40	9	61.25	48.77		
4	LPPB1S4	40	9	56.5	44.98		
5	LPPB1S5	40	9	52.5	41.80		
6	LPPB1S6	40	8	41.25	32.84	44.11	Sedang
7	LPPB1S7	40	8	51.25	40.80		
8	LPPB1S8	40	8	53.75	42.79		
9	LPPB1S9	40	8	40	31.85		
10	LPPB1S10	40	8	82.5	65.68		
11	LPPB2S1	40	8	17.5	13.93		
12	LPPB2S2	40	8	26.25	20.90		
13	LPPB2S3	40	8	23.75	18.91		
14	LPPB2S4	40	8	27.75	22.09		
15	LPPB2S5	40	8	24.25	19.31		
16	LPPB2S6	40	8	22.05	17.56	18.30	Lemah
17	LPPB2S7	40	8	26.25	20.90		
18	LPPB2S8	40	8	27.05	21.54		
19	LPPB2S9	40	8	13.75	10.95		
20	LPPB2S10	40	8	21.25	16.92		
21	LPPB3S1	40	8	35	27.87		
22	LPPB3S2	40	8	28	22.29		
23	LPPB3S3	40	8	37	29.46		
24	LPPB3S4	40	8	39	31.05		
25	LPPB3S5	40	8	34	27.07		
26	LPPB3S6	40	8	33	26.27	28.03	Sedang
27	LPPB3S7	40	8	41	32.64		
28	LPPB3S8	40	8	35	27.87		
29	LPPB3S9	40	8	36	28.66		
30	LPPB3S10	40	8	34	27.07		

Dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan rata-rata pada Formasi Balikpapan sebesar 10,05 MPa, 11,74 MPa dan 39,51 MPa. Dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan rata-rata Formasi Pulau Balang sebesar 18,30 MPa, 28,03 MPa dan 44,11 MPa dapat kita simpulkan bahwa kekuatan batuan pada Formasi Pulau Balang lebih tinggi daripada kekuatan batuan pada Formasi Balikpapan.



Gambar 3. Interpretasi Peta Geologi Regional Arah Sebaran Nilai UCS.

Dapat dilihat pada gambar 3 berdasarkan interpretasi arah sebaran ucs rata-rata, nilai kuat tekan batuan pada Formasi Balikpapan arah peningkatan kekuatan batuan relatif berkembang dari Barat Daya (SW) menuju Timur Laut (NE) yang mengikuti arah umum jurus perlapisan batuan ditunjukkan oleh panah hijau. Dengan nilai UCS tertinggi berada pada lokasi 1 yang terletak di bagian selatan, lokasi 3 dan lokasi 2 yang berada ke arah utara hingga timur laut. Secara umum menunjukkan bahwa batuan pada lokasi 1 memiliki tingkat kompaksi dan sementasi yang lebih baik dibandingkan lokasi lainnya. Pada Formasi Pulau Balang nilai UCS tertinggi terdapat pada lokasi 1. Pada peta arah sebaran UCS ditunjukkan oleh panah merah yang mengikuti arah umum struktur geologi regional dari Barat Daya (SW) menuju Timur Laut (NE).

Nilai *Point Load Index*

Berdasarkan pengujian *Point Load Index* batupasir pada Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang didapatkan nilai hasil pengujian pada tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil Nilai PLI Formasi Balikpapan.

No	Sampel	Dimensi sampel (mm)	Tinggi (cm)	Failure (KN)	PLI (Mpa)	Rata-rata
1	LPB1S1	40	8	3.8	2.14	2.00
2	LPB1S1	40	8	2.9	1.63	
3	LPB1S2	40	8	5.2	2.96	
4	LPB1S3	40	8	5.8	3.28	
5	LPB1S4	40	8	2	1.13	

6	LPB1S5	40	8	4.5	2.57	
7	LPB1S6	40	8	4.8	2.74	
8	LPB1S7	40	8	2.2	1.24	
9	LPB1S8	40	8	2.2	1.24	
10	LPB1S9	40	8	1.9	1.07	
11	LPB2S1	40	8	0.7	0.40	
12	LPB2S2	40	8	1.8	1.00	
13	LPB2S3	40	8	0.6	0.34	
14	LPB2S4	40	8	3.3	2.23	
15	LPB2S5	40	8	0.8	0.45	0.68
16	LPB2S6	40	8	0.9	0.51	
17	LPB2S7	40	8	0.7	0.40	
18	LPB2S8	40	8	0.9	0.51	
19	LPB2S9	40	8	1	0.57	
20	LPB2S10	40	8	0.8	0.45	
21	LPB3S1	40	8	0.7	0.40	
22	LPB3S2	40	8	0.7	0.40	
23	LPB3S3	40	8	0.6	0.34	
24	LPB3S4	40	8	0.6	0.34	
25	LPB3S5	40	8	1.4	0.79	0.56
26	LPB3S6	40	8	0.6	0.34	
27	LPB3S7	40	8	0.9	0.51	
28	LPB3S8	40	8	1.3	0.73	
29	LPB3S9	40	8	1.7	0.96	
30	LPB3S10	40	8	1.4	0.79	

Tabel 4. Hasil Nilai PLI Formasi Pulau Balang.

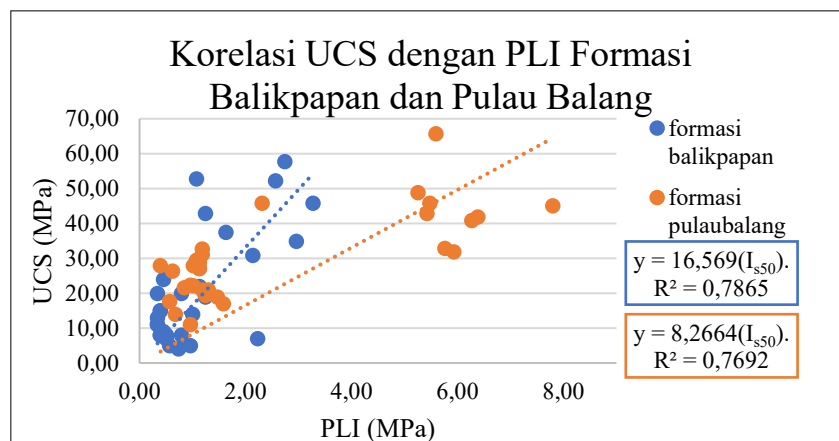
No	Sampel	Dimensi Sampel Tinggi (cm)	Failure (kN)	PLI (MPa)	Rata-rata	
1	LPPB1S1	40	9.3	4.1	2.32	5.62
2	LPPB1S2	40	9	9.7	5.48	
3	LPPB1S3	40	9	9.3	5.25	
4	LPPB1S4	40	9	13.8	7.80	
5	LPPB1S5	40	9	11.3	6.38	
6	LPPB1S6	40	8	10.2	5.76	
7	LPPB1S7	40	8	11.1	6.27	
8	LPPB1S8	40	8	9.6	5.42	
9	LPPB1S9	40	8	10.5	5.93	
10	LPPB1S10	40	8	9.9	5.59	
11	LPPB2S1	40	8	1.2	0.68	1.09
12	LPPB2S2	40	8	2.3	1.30	
13	LPPB2S3	40	8	2.6	1.47	
14	LPPB2S4	40	8	1.8	1.02	
15	LPPB2S5	40	8	2.2	1.24	
16	LPPB2S6	40	8	1.0	0.57	
17	LPPB2S7	40	8	2.1	1.19	
18	LPPB2S8	40	8	1.5	0.85	
19	LPPB2S9	40	8	1.7	0.96	
20	LPPB2S10	40	8	2.8	1.58	
21	LPPB3S1	40	8	0.7	0.40	0.98

22 LPPB3S2	40	8	1.7	0.96
23 LPPB3S3	40	8	1.9	1.07
24 LPPB3S4	40	8	2.1	1.19
25 LPPB3S5	40	8	2.0	1.13
26 LPPB3S6	40	8	1.1	0.62
27 LPPB3S7	40	8	2.1	1.19
28 LPPB3S8	40	8	1.8	1.02
29 LPPB3S9	40	8	2.0	1.13
30 LPPB3S10	40	8	2.0	1.13

Dapat dilihat bahwa nilai PLI rata-rata pada Formasi Balikpapan sebesar 0,56 MPa – 2,0 MPa. Bahwa nilai kuat tekan rata-rata Formasi Pulau Balang sebesar 0,98 MPa – 5,62 MPa sedangkan dari tabel dapat kita simpulkan bahwa nilai PLI pada Formasi Pulau Balang lebih tinggi daripada kekuatan batuan pada Formasi Balikpapan.

Perbandingan Korelasi UCS terhadap PLI pada Formasi Balikpapan dan Pulau Balang

Hubungan ini dibuat berdasarkan dari pengujian sifat mekanik sebelumnya sebagai acuan untuk mengkonversi nilai PLI menjadi nilai UCS. Dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya atau seperti yang dipaparkan dalam buku “Mekanika Batuan” oleh I Made Rai, et al. (2013) mengemukakan bahwa nilai konversi PLI ke UCS adalah 23.

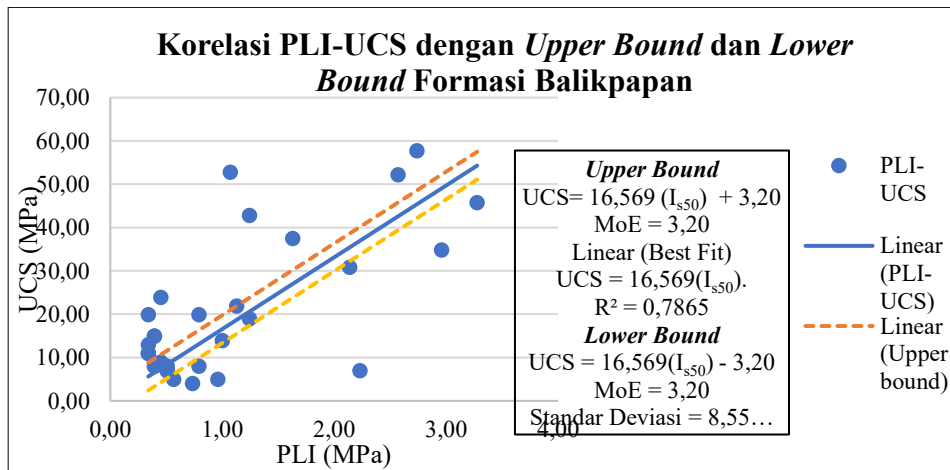


Gambar 4. Korelasi UCS dengan PLI Formasi Balikpapan dan Pulau Balang.

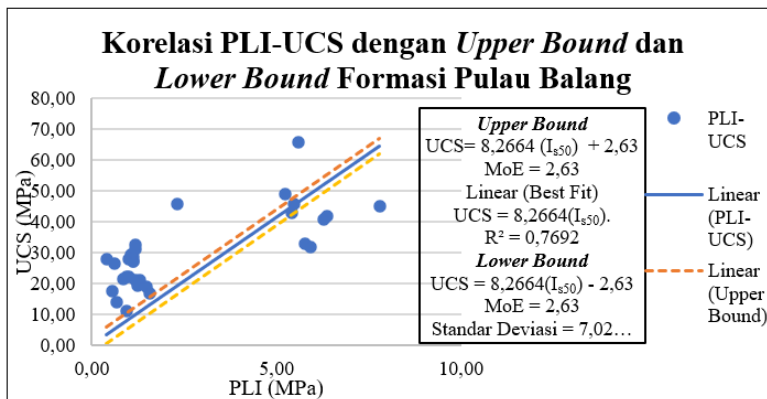
Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat dilihat pada grafik gambar 4 bahwa nilai UCS dengan PLI memiliki hubungan yang ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (R) dengan intercept 0 pada Formasi Balikpapan adalah 0,7865 (sedang) sedangkan pada Formasi Pulau Balang sebesar 0,7692 (sedang hingga sangat kuat), juga mendeskripsikan bahwa kedua formasi menunjukkan korelasi positif antara nilai PLI dan UCS. Hal ini sejalan dengan konsep dasar bahwa PLI merupakan parameter tidak langsung yang dapat digunakan untuk memperkirakan kuat tekan batuan. Meskipun demikian, nilai R^2 yang tidak terlalu tinggi pada kedua formasi menandakan bahwa PLI belum sepenuhnya dapat menggantikan pengujian UCS secara langsung terutama pada batupasir.

Grafik Korelasi UCS terhadap PLI dengan *Upper Bound* dan *Lower Bound* pada Formasi Balikpapan dan Pulau Balang

Analisis *Upper Bound* dan *Lower Bound* dilakukan untuk mengetahui batas penyebaran data terhadap garis regresi yang diperoleh dari hubungan antara nilai PLI dan UCS. Garis regresi menggambarkan hubungan rata-rata antara kedua variabel, sedangkan *upper bound* dan *lower bound* menunjukkan batas maksimum dan minimum dari penyebaran data.



Gambar 5. Korelasi PLI-UCS dengan *Upper Bound* dan *Lower Bound* Formasi Balikpapan.



Gambar 6. Korelasi PLI-UCS dengan *Upper Bound* dan *Lower Bound* Formasi Pulau Balang.

Garis regresi pada Formasi Balikpapan yang diperoleh dari hasil analisis menunjukkan persamaan $UCS = 16,569(I_{s50})$ dengan intercept 0 yang berarti setiap peningkatan nilai PLI sebesar 1 MPa akan meningkatkan nilai UCS sekitar 16,569 MPa. Dengan nilai persamaan regresi untuk *upper bound* atau batas atas $UCS = 16,569(I_{s50}) + 3,20$ dan *lower bound* atau batas bawah $UCS = 16,569(I_{s50}) - 3,20$ Sedangkan batas penyebaran data berdasarkan standar deviasi residual sekitar 8,55 MPa. Garis regresi pada Formasi Pulau Balang yang diperoleh persamaan regresi dengan intercept 0 yaitu $UCS = 8,2664(I_{s50})$ dengan pendekatan *Upper Bound* atau batas atas yaitu $UCS = 8,2664(I_{s50}) + 2,63$ dan *Lower Bound* dengan persamaan

UCS = $8,2644(I_{s50}) - 2,63$ yang dihitung berdasarkan nilai *standar deviasi residual* sebesar 7,02 MPa.

Rebound Number pada Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang

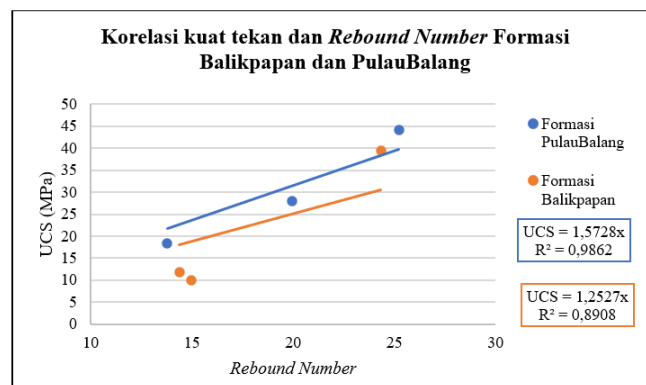
Berdasarkan pengujian *schmidt hammer* yang dilakukan pada Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang didapatkan nilai rata-rata.

Tabel 5. Hasil Nilai *Rebound Number* .

No Sampel	Lokasi	Rebound Number
1 TPBI	Perum. New Mahakam Grande	24,333
2 LPB2	JL. Perum Idaman	14,956
3 LPB3	JL. Perum Permai	14,378
4 LPPBI	JL. Ringroad	25,211
5 LPPB2	JL. H. Moh. Ardans	13,778
6 LPPB3	JL. DI. Panjaitan	19,922

Pada saat pengujian lapangan, batuan pada Formasi Pulau Balang lebih kuat menahan pantulan dari *schmidt hammer* daripada batuan Formasi Balikpapan, yang dapat dilihat pada tabel 5. dimana *Rebound number* Formasi Pulau Balang lebih tinggi daripada *Rebound number* Formasi Balikpapan, dimana nilai *Rebound number* pada Formasi Pulau Balang sebesar 13,778 – 25,211 sedangkan pada Formasi Balikpapan adalah 14,378 – 24,333.

Perbandingan Korelasi *Rebound Number* terhadap Kuat Tekan pada Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang



Gambar 7. Korelasi Kuat tekan dan *Rebound Number* Formasi Balikpapan dan Pulau Balang.

Berdasarkan gambar 7. diperoleh hubungan UCS dan *Rebound Number* dengan persamaan $UCS = 1,5728 (Rn)$. Nilai diatas merupakan korelasi linier positif yang sangat kuat ($r = 0,9862$) untuk Formasi Pulau Balang. Sedangkan persamaan $UCS = 1,2527 (Rn)$. Nilai tersebut merupakan korelasi linier positif yang sangat kuat ($r = 0,8908$) untuk Formasi Balikpapan. Di mana *rebound number* yang lebih tinggi biasanya menunjukkan kekuatan

batuan lebih besar. Dengan demikian semakin tinggi nilai UCS, maka R_n akan semakin meningkat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada Formasi Pulau Balang lebih tinggi dari nilai kuat tekan pada Formasi Balikpapan. Persamaan regresi PLI-UCS Formasi Balikpapan yaitu $UCS = 16,569(I_{s50})$, $R^2 = 0,78$ dan Formasi Pulau Balang $UCS = 8,2664(I_{s50})$, $R^2 = 0,76$. Untuk persamaan regresi PLI-UCS *upper bound* yaitu $UCS = 16,569(I_{s50}) + 3,20$ dan *lower bound* yaitu $UCS = 16,569(I_{s50}) - 3,20$ sedangkan batas penyebaran data berdasarkan *Margin of Error* = 3,20. Garis regresi PLI-UCS pada Formasi Pulau Balang yang diperoleh dengan intercept 0 yaitu $UCS = 8,2664(I_{s50})$ dengan pendekatan *Upper Bound* yaitu $UCS = 8,2664(I_{s50}) - 2,63$ dan *Lower Bound* yaitu $UCS = 8,2644(I_{s50}) - 2,63$ yang dihitung berdasarkan nilai *Margin of Error* sebesar 2,63. Antara nilai kuat tekan dan R_n memiliki korelasi linier positif dimana R_n yang lebih tinggi menunjukkan kekuatan batuan lebih besar. Dengan nilai $R^2 = 0,89$ pada Formasi Balikpapan dan $R^2 = 0,98$ pada Formasi Pulau Balang. Dengan demikian semakin tinggi nilai UCS, maka nilai *Rebound Number* akan semakin meningkat.

DAFTAR REFERENSI

- Alvin Ifnie, J. R., Trides, T., Nugroho, W., Oktaviani, R., & Pontus, A. J. (2023). Studi korelasi kekuatan batulempung dengan uji kuat tekan dan point load index Formasi Pulau Balang Kota Samarinda. *Journal of Comprehensive Science (JCS)*, 2(10). <https://doi.org/10.59188/jcs.v2i10.534>
- Atimi, R. L., & Sartika, S. (2022). Implementasi forward chaining method untuk analisis klasifikasi mineralogi batuan beku. *JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika)*, 8(1), 80–86. <https://doi.org/10.26418/jp.v8i1.52374>
- Dharmansyah, R. G., Hidayatulloh, C. K., Samal, R. C., Saputra, D. W. T., Enggiarta, A. C. A., & Cahyono, Y. D. G. (2021). Prediksi modulus deformasi batuan menggunakan modulus elastisitas batuan pada batu gamping. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 9, No. 1, pp. 168–176).
- Fitri, A., Rahim, R., Nurhayati, N., Azis, A., Pagiling, S. L., Natsir, I., & Anugrah, N. E. (2023). *Dasar-dasar statistika untuk penelitian*.
- Franklin, J. A., & Chandra, R. (1972). The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics*, 3, 325–328. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(72\)90001-0](https://doi.org/10.1016/0148-9062(72)90001-0)
- Hasanah, N., Hakim, R. N., Santoso, E., & Melati, S. (2019). Alternatif penentuan uniaxial compressive strength batu lempung dari point load strength index dan rebound number Schmidt hammer. *Jurnal GEOSAPTA*, 5(2), 127–132. <https://doi.org/10.20527/jg.v5i2.5950>

- Kahfi, M. Z. (2021). Analisis awal pendugaan nilai UCS dari nilai PLI untuk batulempung dan batupasir, PT. Arutmin Indonesia Tambang Asam, Kalimantan Selatan. *Jurnal Prosiding PERHAPI*.
- Malik, A., Trides, T., Magdalena, H., Oktaviani, R., & Pontus, A. J. (2023). Pengaruh ukuran butir batupasir terhadap nilai point load index test pada Formasi Balikpapan dan Pulau Balang. *Jurnal Sosial Teknologi*, 3(7), 559–566. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v3i7.848>
- Nata, R. A., & Sabri, A. (2020). Block punch index (BPI) dan point load index (PLI) untuk memprediksi nilai kuat tekan batuan penyusun lereng tambang guna mencegah terjadinya longoran di CV. Bara Mitra Kencana, Sawahlunto. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 20(01), 1–6. <https://doi.org/10.36275/stsp.v20i1.242>
- Octaviani, E., Sartika, D., Gunarsih, D., Rifqan, R., Akbar, M. A., & Adrian, F. (2023). Petrografi batupasir daerah Siron Blang dan sekitarnya, Kecamatan Kuta Cot Glie, Kabupaten Aceh Besar. *Acta Geoscience, Energy, and Mining*, 2(1), 13–18.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2014). *Mekanika batuan*. Institut Teknologi Bandung.
- Saptono, S., Kramadibrata, S., & Sulistianto, B. (2013). Using the Schmidt hammer on rock mass characteristic in sedimentary rock at Tutupan coal mine. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6, 390–395. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.01.051>
- Silalahi, A. B., Trides, T., Nugroho, W., Oktaviani, R., & Pontusi, A. J. (2023). Studi kekuatan batulempung dengan uji Schmidt hammer dan uniaxial compressive strength Formasi Balikpapan dan Pulau Balang Samarinda, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 23(2), 47–52. <https://doi.org/10.36873/jtp.v23i2.10536>
- Supriatna, S., Sukardi, & Rustandi, E. (1995). *Peta geologi lembar Samarinda, Kalimantan*. Pusat Survei Geologi.
- Winarno, A., Amijaya, D. H., & Harijoko, A. (2016). Studi pendahuluan pengaruh karakteristik batubara peringkat rendah Cekungan Kutai terhadap gasifikasi batubara. *PROMINE*, 4(2).
- Yandus, A. J., Winarno, A., Nugroho, W., Oktaviani, R., & Trides, T. (2023). Karakteristik korelasi sifat fisik terhadap kuat tekan batupasir, batu lempung, dan batu lanau Formasi Balikpapan dan Pulau Balang. *Jurnal Sosial Teknologi*, 3(7), 600–612. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v3i7.861>