

Korelasi *point load index* dan *uniaxial compressive strength* formasi kampungbaru daerah batuah *site* PT karya putra borneo kabupaten kutai kartanegara provinsi kalimantan timur

Aji Ardi Aradi^{1*}, Albertus Juvensius Pontus², Henny Magdalena³, Rety Winonazada⁴, Tommy Trides⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: ajiardi17@gmail.com

Abstract

This study aims to determine the correlation between Point Load Index (PLI) and Uniaxial Compressive Strength (UCS) values in the Kampungbaru Formation located in Batuah Region, PT Karya Putra Borneo Site, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province. The research employed a quantitative method through laboratory testing of rock samples consisting of coal, claystone, and siltstone. The tests conducted included physical properties, Point Load Index (PLI), and Uniaxial Compressive Strength (UCS). Data analysis was carried out using simple linear regression to determine the correlation between PLI and UCS values for each lithology. The results showed that the average PLI values were 0.28 MPa for coal, 0.24 MPa for claystone, and 0.14 MPa for siltstone. Meanwhile, the average UCS values were 7.17 MPa for coal, 2.47 MPa for claystone, and 0.29 MPa for siltstone. The correlation between PLI and UCS demonstrated a very strong positive linear relationship with coefficients of determination (R^2) of 0.9899 for coal, 0.9655 for claystone, and 0.8834 for siltstone. The regression equations obtained were $UCS = 25.247(Is50)$ for coal, $UCS = 9.4572(Is50)$ for claystone, and $UCS = 2.0523(Is50)$ for siltstone. These findings indicate that the PLI value can be used as an estimation method for UCS values in the study area.

Keywords: Point Load Index; Uniaxial Compressive Strength; Correlation, Linear Regression; Rock Mechanics.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan korelasi antara nilai *Point Load Index* (PLI) dan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) pada Formasi Kampungbaru di Daerah Batuah *Site* PT Karya Putra Borneo, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Penelitian dilakukan menggunakan metode kuantitatif melalui pengujian laboratorium terhadap sampel batuan berupa *coal*, *claystone*, dan *siltstone*. Pengujian yang dilakukan meliputi sifat fisik batuan, *Point Load Index* (PLI), dan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS). Analisis data dilakukan menggunakan metode regresi linear sederhana untuk memperoleh hubungan korelasi antara nilai PLI dan UCS pada masing-masing litologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata nilai PLI pada *coal* sebesar 0,28 MPa, *claystone* sebesar 0,24 MPa, dan *siltstone* sebesar 0,14 MPa. Sedangkan rata-rata nilai UCS pada *coal* sebesar 7,17 MPa, *claystone* sebesar 2,47 MPa, dan *siltstone* sebesar 0,29 MPa. Hubungan korelasi antara PLI dan UCS menunjukkan hubungan linear positif yang sangat kuat dengan nilai koefisien determinasi (R^2) masing-masing sebesar 0,9899 pada *coal*, 0,9655 pada *claystone*, dan 0,8834 pada *siltstone*. Persamaan regresi yang diperoleh yaitu $UCS = 25,247(Is50)$ untuk *coal*, $UCS = 9,4572(Is50)$ untuk *claystone*, dan $UCS = 2,0523(Is50)$ untuk *siltstone*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai PLI dapat digunakan sebagai metode estimasi nilai UCS pada lokasi penelitian.

Kata Kunci: point load index; uniaxial compressive strength; korelasi, regresi linear; mekanika batuan.

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan terbuka berlangsung pada lingkungan geologi yang kompleks sehingga keputusan teknis tidak cukup hanya didasarkan pada karakteristik endapan, tetapi juga memerlukan pemahaman terhadap perilaku material batuan yang membentuk lereng tambang. Karakterisasi sifat mekanik batuan menjadi bagian penting dalam evaluasi geoteknik karena parameter tersebut digunakan untuk memahami kemampuan material menerima pembebanan dan untuk mendukung penilaian kondisi lereng. Salah satu parameter yang paling umum digunakan untuk menggambarkan kekuatan batuan utuh adalah *Uniaxial Compressive Strength* (UCS). Dalam praktik geoteknik, UCS menjadi salah satu masukan untuk klasifikasi kekuatan batuan dan analisis yang berkaitan dengan kestabilan serta respons material terhadap pembebanan (Wyllie & Mah, 2017; Noori dkk., 2023). Karena itu, ketersediaan data kekuatan batuan yang representatif menjadi bagian penting dari proses karakterisasi material pada tambang terbuka. Walaupun UCS memiliki arti penting, pengujiannya membutuhkan spesimen yang relatif baik, bentuk dan dimensi yang memenuhi persyaratan, serta preparasi yang cermat. Kondisi tersebut dapat menjadi kendala ketika material yang diuji bersifat lunak, mudah hancur, atau sulit dipreparasi menjadi spesimen standar. Pada kondisi demikian, pengujian indeks seperti *Point Load Index* (PLI) dapat memberikan pendekatan yang lebih praktis karena prosedurnya relatif sederhana dan dapat diterapkan pada bentuk spesimen yang lebih beragam. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa PLI dapat dikorelasikan dengan UCS dan digunakan untuk membangun persamaan empiris, tetapi kekuatan hubungan serta bentuk persamaannya tidak selalu sama antarjenis batuan dan lokasi penelitian (Kolapo & Munemo, 2021; Wang dkk., 2022; Akbay,

2024). Dengan demikian, penggunaan PLI sebagai estimator UCS perlu didasarkan pada hubungan empiris yang sesuai dengan karakteristik material yang diuji.

Perkembangan penelitian beberapa tahun terakhir memperlihatkan bahwa hubungan PLI-UCS tidak dapat dipandang sebagai satu faktor konversi yang berlaku universal. Wang dkk. (2022) merangkum berbagai bentuk hubungan antara PLI dan UCS, mulai dari hubungan linear hingga bentuk kuadratik, eksponensial, pangkat, dan logaritmik. Variasi tersebut menunjukkan bahwa respons pengujian dipengaruhi oleh karakteristik batuan, ukuran dan bentuk spesimen, serta prosedur pengujian. Penelitian Jamshidi (2022), misalnya, memperlihatkan bahwa prosedur PLI yang berbeda dapat menghasilkan tingkat ketelitian prediksi UCS yang berbeda. Pengaruh ukuran spesimen juga dilaporkan oleh Contreras dkk. (2021), sedangkan Cano dkk. (2020) menunjukkan bahwa kondisi kering dan jenuh dapat memengaruhi respons kekuatan batuan sedimen lunak. Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa persamaan PLI-UCS sebaiknya dikembangkan dan diuji pada konteks geologi yang spesifik.

Kebutuhan akan korelasi lokal menjadi semakin relevan pada batuan sedimen yang memiliki variasi litologi dan kondisi material yang cukup besar. Formasi Kampungbaru pada daerah penelitian tersusun antara lain oleh batupasir kuarsa dengan sisipan lempung, serpih, lanau, dan lignit, serta secara umum dideskripsikan sebagai material yang relatif lunak dan mudah hancur. Pada lokasi penelitian, material yang menjadi objek pengujian terdiri atas *coal*, *claystone*, dan *siltstone*. Karakteristik tersebut menyebabkan penggunaan satu hubungan konversi umum berpotensi menghasilkan estimasi yang kurang representatif apabila perbedaan litologi tidak diperhitungkan. Secara regional, penelitian pada batuan sedimen di Kalimantan Timur juga memperlihatkan bahwa hubungan PLI-UCS dapat dikembangkan untuk satuan batuan tertentu. Adriansyah dkk. (2021) mengembangkan korelasi untuk batupasir dan batulempung Formasi Latih di Kabupaten Berau, sedangkan Dewi dkk. (2022) mengkaji hubungan PLI dan UCS pada batupasir Formasi Balikpapan di Samarinda. Pada Formasi Pulaubalang, Ifnie dkk. (2023) juga melaporkan hubungan antara kekuatan batulempung, UCS, dan PLI. Hasil-hasil tersebut memperkuat kebutuhan untuk memperoleh hubungan yang sesuai dengan litologi dan lokasi penelitian masing-masing. Dari sisi perkembangan metode, penelitian PLI-UCS juga semakin diarahkan pada peningkatan ketelitian estimasi melalui pemilihan prosedur pengujian dan parameter pendukung. Babanouri dkk. (2022) menunjukkan bahwa cara menentukan luas atau dimensi efektif pada pengujian *point load* dapat memengaruhi indeks kekuatan yang diperoleh. Kayabaşı (2022) menunjukkan bahwa keberhasilan persamaan empiris yang telah dikembangkan sebelumnya tidak selalu sama ketika diterapkan pada *dataset* yang berbeda. Pada batuan dengan karakteristik mineralogi tertentu, Rahimi dan Mohammadi (2024) menemukan bahwa perubahan komposisi mineral dapat mengubah hubungan PLI-UCS dan faktor konversinya. Penelitian pada batuan sedimen lunak oleh Pathan dkk. (2023) juga memperlihatkan bahwa pengujian indeks dapat digunakan untuk membangun persamaan prediksi kekuatan melalui analisis regresi. Dengan demikian, pendekatan empiris yang dibangun dari data lokal tetap memiliki nilai penting, terutama ketika material penelitian memiliki karakteristik geologi yang berbeda dari lokasi penelitian terdahulu.

Kondisi empiris di lokasi penelitian menunjukkan bahwa kekuatan material penyusun *lowwall* tidak seragam. Berdasarkan hasil penelitian, rata-rata PLI *coal* sebesar 0,28 MPa, *claystone* sebesar 0,24 MPa, dan *siltstone* sebesar 0,14 MPa. Rata-rata UCS masing-masing sebesar 7,17 MPa, 2,47 MPa, dan 0,29 MPa. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa setiap litologi memberikan respons kekuatan yang berbeda. Variasi juga ditemukan pada sampel dalam litologi yang sama, sehingga estimasi UCS tidak cukup hanya menggunakan satu nilai rata-rata tanpa mempertimbangkan hubungan PLI terhadap UCS. Dalam penelitian sebelumnya di lingkungan sedimen, 3 korelasi yang kuat memang dapat diperoleh, tetapi besarnya koefisien dan bentuk persamaan tetap bergantung pada *dataset* yang digunakan (Adriansyah dkk., 2021; Kolapo & Munemo, 2021; Ifnie dkk., 2023). Kondisi ini menjadi dasar perlunya penyusunan persamaan khusus untuk material Formasi Kampungbaru pada daerah Batuah. Celah penelitian yang menjadi perhatian dalam studi ini bukan sekedar membuktikan bahwa PLI dan UCS memiliki hubungan, melainkan menentukan seberapa baik hubungan tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi UCS pada tiga litologi yang berbeda dalam satu konteks geologi. Penelitian terdahulu di Kalimantan Timur telah memberikan dasar penting, tetapi objeknya berada pada Formasi Latih, Formasi Balikpapan, dan Formasi Pulaubalang. Sementara itu, penelitian pada Formasi Kampungbaru di lokasi yang dikaji mencakup *coal*, *claystone*, dan *siltstone* secara bersamaan. Perbedaan lingkungan geologi, litologi, karakteristik material, serta kondisi spesimen dapat menyebabkan faktor hubungan PLI-UCS berubah. Oleh sebab itu, penggunaan persamaan yang berasal dari lokasi lain tanpa verifikasi lokal perlu dihindari. Pendekatan serupa juga didukung oleh studi Naal-Pech dkk. (2024) yang menekankan bahwa persamaan PLI-UCS berlaku pada batuan dengan karakteristik litologi yang sebanding dengan *dataset* pembentuknya.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini diarahkan untuk membangun hubungan empiris antara PLI dan UCS pada material penyusun *lowwall* Formasi Kampungbaru di Daerah Batuah, Site PT Karya Putra Borneo. Kebaruan penelitian terletak pada penyusunan hubungan PLI-UCS yang spesifik untuk tiga litologi, yaitu *coal*, *claystone*, dan *siltstone*, berdasarkan hasil pengujian langsung pada material lokasi penelitian. Pendekatan ini diharapkan memberikan persamaan lokal yang dapat digunakan sebagai pendekatan awal dalam estimasi UCS ketika pengujian UCS tidak dapat dilakukan secara langsung, dengan tetap memperhatikan batasan bahwa persamaan hanya ditujukan untuk material yang memiliki karakteristik serupa. Tujuan penelitian adalah menentukan nilai PLI dan UCS, menganalisis hubungan keduanya pada setiap litologi, serta menghasilkan persamaan regresi yang dapat digunakan untuk mengestimasi UCS dari nilai PLI. Hasil penelitian selanjutnya dibandingkan dengan temuan terdahulu untuk melihat konsistensi hubungan dan batas penerapannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui pengujian laboratorium dan analisis statistik. Lokasi penelitian berada pada Daerah Batuah, Site PT Karya Putra Borneo, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, yang secara geologi berada pada Formasi Kampungbaru. Formasi tersebut tersusun atas batupasir kuarsa dengan sisipan lempung, serpih, lanau, dan lignit; pada lokasi penelitian material yang dominan diamati meliputi *coal*, *claystone*, dan *siltstone*. Data penelitian terdiri atas data primer berupa dimensi spesimen, hasil pengujian sifat fisik, PLI, dan UCS, serta data sekunder berupa informasi geologi dan data pemboran geoteknik. Informasi geologi regional mengacu pada Supriatna dkk. (2005).

Persiapan dan Sampel

Sebanyak 15 sampel digunakan, terdiri atas lima sampel *coal*, lima *claystone*, dan lima *siltstone*. Spesimen berbentuk silinder dengan diameter sekitar 6 cm. Tahap persiapan mencakup pencatatan kode sampel, litologi, kondisi sampel, pengukuran dimensi, serta preparasi menggunakan alat potong agar spesimen memenuhi kebutuhan pengujian. Pengujian sifat fisik meliputi bobot isi, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas, dan angka pori. Tahapan tersebut mengikuti prosedur laboratorium yang digunakan dalam penelitian sumber.



Gambar 1 Preparasi Sampel

Pengujian PLI dan UCS

Pengujian PLI dilakukan berdasarkan SNI 2814:1992. Nilai indeks beban titik dihitung dan dinormalisasi menjadi $Is(50)$, kemudian digunakan sebagai variabel bebas dalam analisis korelasi. Pengujian UCS dilakukan berdasarkan SNI 2825:2008 menggunakan spesimen silinder. Nilai UCS digunakan sebagai variabel terikat. Pendekatan pengujian ini sejalan dengan praktik bahwa PLI merupakan pengujian indeks yang relatif cepat, sedangkan UCS memberikan pengukuran langsung terhadap kuat tekan uniaksial batuan utuh (Wyllie & Mah, 2017; Supandi, 2022).

Analisis Data

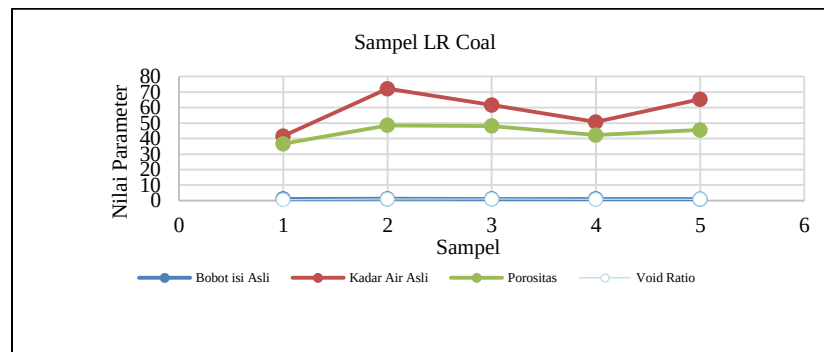
Analisis dilakukan secara deskriptif untuk memperoleh nilai rata-rata PLI dan UCS pada setiap litologi, kemudian dilanjutkan dengan regresi linear untuk membentuk persamaan hubungan PLI-UCS. Persamaan yang digunakan dalam penelitian sumber dinyatakan sebagai $y = ax$, sehingga UCS diposisikan sebagai fungsi $Is(50)$. Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk menggambarkan proporsi variasi UCS yang diterangkan oleh model. Nilai estimasi UCS kemudian dibandingkan dengan nilai UCS hasil pengujian laboratorium menggunakan nilai PLI rata-rata setiap litologi. Interpretasi hubungan mengacu pada klasifikasi kekuatan korelasi yang digunakan dalam penelitian sumber dan tidak dimaksudkan sebagai validasi universal di luar *dataset* penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan menggambarkan kondisi dasar batuan yang diperoleh melalui pengujian laboratorium untuk mengetahui karakteristik alaminya. Data yang dihasilkan meliputi berat jenis atau densitas, porositas, kadar air, derajat kejenuhan, serta bobot isi kering dan basah, yang seluruhnya berperan sebagai parameter awal dalam analisis geoteknik dan rekayasa batuan.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai pada masing-masing parameter setiap litologi. Namun, hasil uji sifat fisik tersebut menunjukkan adanya ketidaksinambungan, di mana tidak ditemukan hubungan yang jelas atau tren yang konsisten antara satu parameter data dengan data lainnya di seluruh sampel litologi yang telah diuji. Contoh pada material *coal*, nilai bobot isi asli, kadar air asli, porositas, dan void rasio tidak berbanding lurus dengan kedalaman. Semakin dalam material, nilai parameternya tidak konstan.



Gambar 2 Grafik Sifat Fisik Batuan Contoh (Coal)

Point Load Index

Uji *Point Load Index* (PLI) dilakukan untuk mengetahui tingkat kekuatan batuan terhadap beban terpusat. Nilai yang diperoleh menjadi indikator awal dalam mengklasifikasikan kekuatan batuan serta sebagai dasar evaluasi karakteristik mekanik batuan pada kondisi lapangan. Dalam perhitungan yang dilakukan, digunakan nilai koreksi karena diameter sampel yang digunakan tidak sama dengan 50.

Tabel 1 Hasil Pengujian PLI

No	Sampel	Dimensi		Beban Puncak (kN)	F $F=(D/50)^{0,45}$	Is(50) (MPa) $Is(50) = (F \times Is) \times 1000$	Rata-Rata Is(50) (MPa)
		D=De (mm) Diameter	L (mm) Panjang				
1	LR2(1) Coal 1	60	86	1,16	1,08	0,34	0,28
2	LR2(2) Coal 2	60	86	0,9	1,08	0,27	
3	LR14 Coal 3	60	82	0,8	1,08	0,24	
4	LR15 Coal 4	60	85	0,9	1,08	0,27	
5	LR16 Coal 5	60	85	0,9	1,08	0,27	
6	LR3 Claystone 1	50	82	0,4	1,00	0,16	0,24
7	LR9 Claystone 2	60	83	0,8	1,08	0,24	
8	LR13 Claystone 3	60	82	0,9	1,08	0,27	
9	LR18 Claystone 4	60	86	1,2	1,08	0,36	
10	LR19 Claystone 5	60	82	0,7	1,08	0,21	
11	LR4 Siltstone 1	55	83	0,4	1,04	0,13	0,14
12	LR5 Siltstone 2	60	90	0,2	1,08	0,06	
13	LR6 Siltstone 3	60	86	0,4	1,08	0,12	
14	LR7(1) Siltstone 4	60	84	0,7	1,08	0,21	
15	LR7(2) Siltstone 5	60	84	0,6	1,08	0,18	

Nilai rata-rata PLI menunjukkan bahwa *coal* memiliki nilai tertinggi, diikuti *claystone* dan *siltstone*. Rentang Is(50) juga menunjukkan variasi di dalam masing-masing litologi. *Coal* berada pada 0,24–0,34 MPa, *claystone* 0,16–0,36 MPa, dan *siltstone* 0,06–0,21 MPa. Variasi ini penting karena menunjukkan bahwa litologi yang sama tidak selalu memberikan nilai kekuatan identik. Hasil tersebut sejalan dengan kajian yang menunjukkan bahwa PLI dipengaruhi karakteristik batuan dan kondisi pengujian, termasuk bentuk/ukuran spesimen (Contreras dkk., 2021; Babanouri dkk., 2022).

Uniaxial Compressive Strength

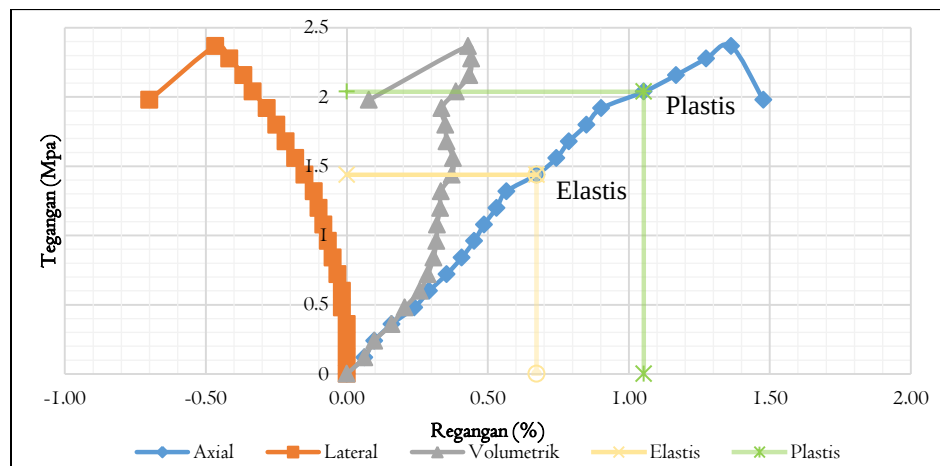
Uji *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) bertujuan untuk mengetahui kemampuan batuan dalam menahan beban tekan satu arah hingga mengalami keruntuhan. Nilai UCS yang diperoleh digunakan sebagai parameter utama dalam menentukan klasifikasi kekuatan batuan serta menjadi dasar dalam analisis geoteknik. Data hasil pengujian UCS dapat dilihat dalam tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Hasil Pengujian UCS

No	Sampel	Kedalaman (m)	Klasifikasi Kuat Tekan	Nisbah Poisson	Modulus Elastis	Kuat Tekan	Rata-Rata
				-	MPa	MPa	
1	LR2(1) <i>Coal</i> 1	1,1 – 1,5	Lunak	0,45	1023,65	7,64	7,17
2	LR2(2) <i>Coal</i> 2	1,5 – 2,97	Lunak	0,40	1118,94	7,20	
3	LR14 <i>Coal</i> 3	20,96 – 21,77	Lunak	0,22	168,41	6,35	
4	LR15 <i>Coal</i> 4	21,77 – 23,36	Lunak	0,44	430,03	6,80	
5	LR16 <i>Coal</i> 5	23,36 – 24,89	Lunak	0,15	194,46	7,85	
6	LR3 <i>Claystone</i> 1	2,97 – 4,44	Sangat Lunak	0,32	157,53	2,37	2,47
7	LR9 <i>Claystone</i> 2	12,05 – 13,69	Sangat Lunak	0,49	195,24	2,22	
8	LR13 <i>Claystone</i> 3	18,61 – 20,18	Sangat Lunak	0,37	294,01	2,61	
9	LR18 <i>Claystone</i> 4	26,23 – 27,81	Sangat Lunak	0,39	479,92	2,91	
10	LR19 <i>Claystone</i> 5	27,81 – 29,36	Sangat Lunak	0,34	114,16	2,25	
11	LR4 <i>Siltstone</i> 1	4,44 – 5,22	Sangat Lunak Sekali	0,12	11,88	0,15	0,29
12	LR5 <i>Siltstone</i> 2	5,94 – 7,44	Sangat Lunak Sekali	0,31	22,96	0,27	
13	LR6 <i>Siltstone</i> 3	7,44 – 8,74	Sangat Lunak Sekali	0,09	119,89	0,12	
14	LR7(1) <i>Siltstone</i> 4	8,94 – 9,75	Sangat Lunak Sekali	0,16	30,22	0,51	
15	LR7(2) <i>Siltstone</i> 5	9,75 – 10,55	Sangat Lunak Sekali	0,26	48,42	0,42	

Berdasarkan nilai UCS rata-rata, material *coal* memiliki nilai UCS tertinggi sebesar 7,17 MPa, diikuti oleh *claystone* sebesar 2,47 MPa dan *siltstone* sebesar 0,29 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa *coal* memiliki kemampuan menahan beban tekan yang lebih besar dibandingkan *claystone* dan *siltstone*, sedangkan *siltstone* merupakan material dengan kekuatan paling rendah. Perbedaan nilai UCS ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik mekanik antar jenis material pada area penelitian. Dalam aspek pertambangan, kondisi tersebut dapat menjadi pertimbangan dalam proses penggalian dan evaluasi geoteknik, karena material dengan UCS lebih rendah cenderung lebih mudah mengalami deformasi dan keruntuhan akibat pembebanan.

Berdasarkan klasifikasi kuat tekan, seluruh sampel *coal* termasuk kategori lunak, sedangkan seluruh sampel *claystone* termasuk sangat lunak dan *siltstone* termasuk sangat lunak sekali. Nilai UCS yang rendah dapat dipengaruhi oleh nilai sifat fisik dari material. Pada setiap sampel nilai derajat kejenuhan dan porositas menunjukkan nilai yang besar, dimana rongga pori pada sampel memungkinkan terisi oleh udara maupun air sehingga menurunkan nilai kuat tekan dari material.

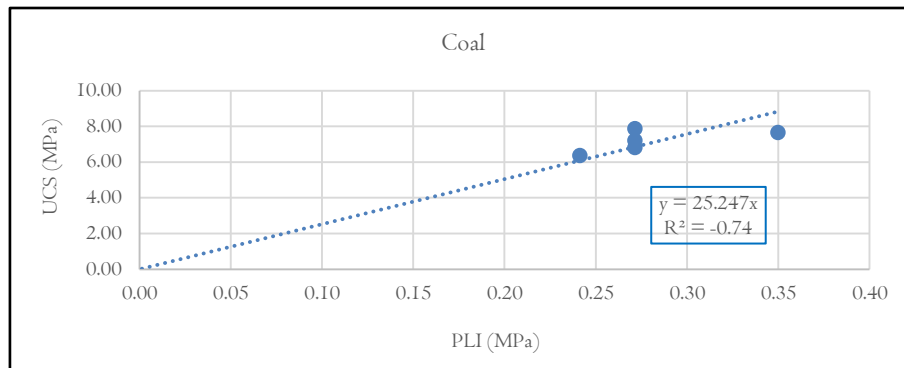
Gambar 3 Kurva Tegangan-Regangan pada Sampel LR3 *Claystone* 1

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa terdapat garis axial berwarna biru, volumetrik berwarna abu-abu dan lateral berwarna oranye dari hasil uji UCS. Dari grafik tersebut diperoleh batas elastis dan plastis dari suatu material yang ditandai dengan perbedaan signifikan pada garis axial. Daerah elastis dan plastis menunjukkan respons batuan terhadap pembebanan sebelum mengalami keruntuhan.

Daerah elastis merupakan bagian awal kurva tegangan-regangan, di mana deformasi yang terjadi masih bersifat sementara (*reversible*). Pada tahap ini, batuan masih mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan dan hubungan antara tegangan dan regangan cenderung linier. Kemiringan kurva pada daerah ini menunjukkan nilai modulus elastisitas (*Young's Modulus*) batuan. Sedangkan daerah plastis merupakan bagian kurva setelah batas elastis terlampaui, di mana deformasi yang terjadi bersifat permanen (*irreversible*). Pada tahap ini mulai terbentuk dan berkembang mikroretakan di dalam batuan sehingga hubungan antara tegangan dan regangan menjadi tidak linier hingga mencapai tegangan maksimum (UCS) dan akhirnya mengalami keruntuhan.

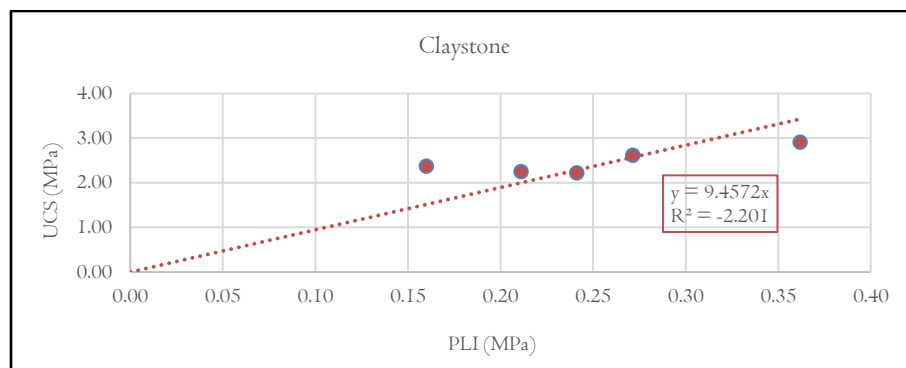
Korelasi antara *Point Load Index* dan *Uniaxial Compressive Strength*

Korelasi ini disusun berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik yang telah dilakukan sebelumnya dan digunakan sebagai dasar dalam mengonversi nilai *Point Load Index* (PLI) menjadi nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa nilai faktor konversi tersebut dapat berbeda pada setiap jenis batuan, bahkan pada batuan dengan litologi serupa tetapi berasal dari lokasi yang berbeda. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, dilakukan perbandingan dan penentuan korelasi secara spesifik pada masing-masing lokasi penelitian. Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, diperoleh hasil setiap jenis litologi sebagai berikut.



Gambar 4 Korelasi UCS-PLI pada Coal

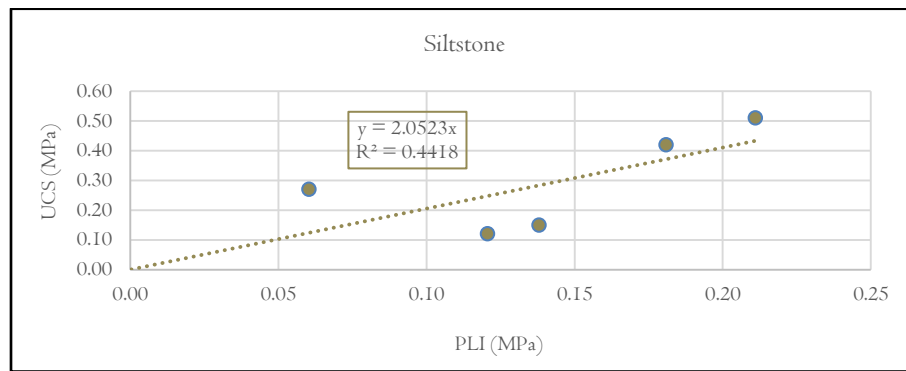
Berdasarkan dari gambar 4 tersebut, dapat diperoleh hubungan antara PLI dan UCS pada *coal* yaitu terdapat hubungan linear positif yang menunjukkan bahwa peningkatan nilai PLI sebanding dengan peningkatan nilai UCS. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan korelasinya menjadi $UCS = 25.247(PLI)$ dengan nilai $R^2 = 0.9899$. Pada material *claystone* dilakukan analisis korelasi antara nilai PLI dan UCS yang kemudian menghasilkan nilai berdasarkan gambar berikut ini.



Gambar 5 Korelasi UCS-PLI pada Claystone

Berdasarkan dari gambar 5 tersebut, dapat diperoleh hubungan antara PLI dan UCS pada *claystone* yaitu terdapat hubungan linear positif yang menunjukkan bahwa peningkatan nilai PLI sebanding dengan peningkatan nilai UCS. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan korelasinya menjadi $UCS = 9.4572(PLI)$ dengan nilai $R^2 = 0.9655$.

Pada material *siltstone* dilakukan analisis korelasi antara nilai PLI dan UCS yang kemudian menghasilkan nilai berdasarkan gambar berikut ini.



Gambar 6 Korelasi UCS-PLI pada *Siltstone*

Berdasarkan dari gambar 6 tersebut, dapat diperoleh hubungan antara PLI dan UCS pada *siltstone* yaitu terdapat hubungan linear positif yang menunjukkan bahwa peningkatan nilai PLI sebanding dengan peningkatan nilai UCS. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan korelasinya yaitu $UCS = 2,0523 (Is50)$ dengan nilai $R^2 = 0,8834$.

Korelasi antara nilai UCS-PLI pada daerah penelitian terhadap masing-masing jenis litologi menunjukkan nilai yang berhubungan sangat kuat pada grafik yang dianalisis. Hubungan yang terbentuk menunjukkan korelasi linear positif, di mana semakin besar nilai *Point Load Index*, maka nilai kuat tekan (*UCS*) juga cenderung meningkat. Nilai R^2 pada setiap litologi tersebut berkisar antara 0,8 – 1 dari nilai pada tabel signifikasi pada setiap sampel yang diuji sehingga dapat dinyatakan adanya hubungan yang kuat antara kedua variabel yang berasal dari lokasi penelitian.

Persamaan nilai regresi pada material yang telah diuji dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3 Persamaan Hasil Uji Material

No	Litologi	Persamaan Regresi	R^2	Klasifikasi
1	<i>Coal</i>	$y = 25,247x$	0,9899	Sangat Kuat
2	<i>Claystone</i>	$y = 9,4572x$	0,9655	Sangat Kuat
3	<i>Siltstone</i>	$y = 2,0523x$	0,8834	Sangat Kuat

Korelasi persamaan regresi antara nilai UCS-PLI pada daerah penelitian terhadap masing-masing jenis litologi menunjukkan nilai yang berhubungan sangat kuat pada grafik yang dianalisis. Hubungan yang terbentuk menunjukkan korelasi linear positif, di mana semakin besar nilai PLI, maka nilai *UCS* juga cenderung meningkat. Nilai R^2 pada setiap litologi tersebut berkisar antara 0,8 – 1 dari nilai pada tabel signifikasi pada setiap sampel yang diuji sehingga dapat dinyatakan adanya hubungan yang kuat antara kedua variabel yang berasal dari lokasi penelitian. Perbedaan koefisien persamaan antar litologi merupakan hal yang perlu diperhatikan, faktor pengali pada *coal* jauh lebih besar dibandingkan *claystone* dan *siltstone*, sehingga satu faktor konversi untuk seluruh material tidak digunakan. Hal ini sejalan dengan Wang dkk. (2022) yang menunjukkan bahwa hubungan PLI-UCS dapat memiliki bentuk dan parameter berbeda pada dataset yang berbeda. Rahimi dan Mohammadi (2024) juga menunjukkan bahwa komposisi mineral dapat mengubah hubungan antara PLI dan UCS. Pada batuan sedimen lunak, Pathan dkk. (2023) memperlihatkan bahwa pengujian indeks dapat digunakan untuk membangun persamaan prediksi, sedangkan Cano dkk. (2020) menunjukkan pentingnya kondisi kejenuhan dalam interpretasi kekuatan material. Dengan demikian, persamaan penelitian ini sebaiknya dipandang sebagai hubungan empiris lokal, bukan sebagai konstanta umum untuk seluruh Formasi Kampungbaru atau seluruh batuan sedimen.

Berikut perbandingan prediksi nilai UCS dari nilai rata-rata PLI pada masing-masing jenis batuan Berikut perbandingan prediksi nilai UCS dari nilai rata-rata PLI pada masing-masing jenis batuan.

Tabel 4 Perbandingan Nilai Prediksi dan Aktual UCS

No	Litologi	UCS (MPa)	PLI (MPa)	Prediksi UCS (MPa)	Perbedaan relatif (%)
1	<i>Coal</i>	7,17	0,28	7,06	1,53%
2	<i>Claystone</i>	2,47	0,24	2,26	8,50%
3	<i>Siltstone</i>	0,29	0,14	0,28	3,45%

Berdasarkan tabel tersebut, hasil nilai UCS prediksi cenderung lebih rendah dibandingkan dengan nilai UCS hasil uji laboratorium dengan selisih yang relatif kecil. Kondisi ini mengindikasikan bahwa model prediksi memberikan estimasi yang konservatif, namun masih memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap hasil pengujian laboratorium. Hal ini menunjukkan bahwa model empiris yang digunakan dapat dijadikan pendekatan dalam mengestimasi nilai UCS, terutama ketika pengujian laboratorium tidak memungkinkan untuk dilakukan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan yaitu :

1. Berdasarkan hasil pengujian *Point Load Index* yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata PLI untuk *coal* yaitu 0,28 MPa, *claystone* yaitu 0,24 MPa, dan *siltstone* yaitu 0,14 MPa.
2. Berdasarkan hasil pengujian *Uniaxial Compressive Strength* yang telah dilakukan, diperoleh rata-rata nilai UCS pada *coal* yaitu 7,17 MPa, untuk *claystone* yaitu 2,47 MPa, dan untuk *siltstone* yaitu 0,29 MPa.
3. Korelasi antara nilai UCS-PLI pada daerah penelitian terhadap masing-masing jenis litologi menunjukkan nilai yang berhubungan sangat kuat. Hubungan yang terbentuk menunjukkan korelasi linear positif, di mana semakin besar nilai PLI, maka nilai UCS juga cenderung meningkat.

SARAN

Adapun saran pada penelitian kali ini yaitu :

1. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya jumlah sampel yang digunakan bisa lebih banyak lagi sehingga mempunyai banyak pembandingan dalam pengolahan data.
2. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya dapat membandingkan juga dengan sampel dari formasi yang berbeda, sehingga dapat melakukan perbandingan antar formasi yang ada pada daerah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adriansyah, Y., Krisnantara, G., & Setiadi, K. (2021). Korelasi Point Load Index dan Uniaxial Compressive Strength pada satuan batupasir dan batulempung Formasi Latih untuk penentuan koefisien kekuatan batuan di Pit X Tambang Batubara PT Berau Coal, Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 9(1), 9–16. <https://doi.org/10.33536/jg.v9i1.822>.
2. Akbay, D. (2024). Point Load Index applicability to predicting rocks' uniaxial compressive and tensile strengths: Available data analysis and FEM-based validity check. *Strength of Materials*, 56, 1045–1054. <https://doi.org/10.1007/s11223-024-00713-w>.
3. Babanouri, N., Asadzadeh, M., & Nejati, H. (2022). Suggesting new protocol to determine point load strength index of rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 15. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10429-3>.
4. Cano, M., Tomás, R., Tamayo, A. E., & Alejano, L. (2020). Evaluation of strength and deformability of soft sedimentary rocks in dry and saturated conditions through needle penetration and point load tests: A comparative study. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 2707–2726. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02067-6>.
5. Contreras, S., Saldaña, M., Toro, N., Pérez-Rey, I., González, M. Á., & González, J. (2021). Scale effect and correlation between uniaxial compressive strength and point load index for limestone and travertine. *Applied Sciences*, 11(8), 3672. <https://doi.org/10.3390/app11083672>.
6. Dewi, L. K., Oktaviani, R., Devy, S. D., Trides, T., & Nugroho, W. (2022). Korelasi Point Load Index terhadap Uniaxial Compressive Strength batupasir Formasi Balikpapan Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 10(1), 24–30.
7. Ifnie, J. R. A., Trides, T., Nugroho, W., Oktaviani, R., & Pontus, A. J. (2023). Studi korelasi kekuatan batulempung dengan uji kuat tekan dan Point Load Index Formasi Pulaubalang Kota Samarinda. *Journal of Comprehensive Science*, 2(10), 1709–1714. <https://doi.org/10.59188/jcs.v2i10.534>.
8. Jamshidi, A. (2022). A comparative study of Point Load Index test procedures in predicting the Uniaxial Compressive Strength of sandstones. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55, 4507–4516. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02877-w>.
9. Kahraman, S., Aloglu, A. S., Saygin, E., & Aydin, B. (2021). The effect of clay content on the relation between uniaxial compressive strength and needle penetration index for clay-bearing rocks. *International Journal of Geo-Engineering*, 12, 1–16. <https://doi.org/10.1186/s40703-020-00135-y>.
10. Kayabaşı, A. (2022). An assessment on the correlations between uniaxial compression strength and point load index. *Arabian Journal of Geosciences*, 15. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09391-3>.
11. Kolapo, P., & Munemo, P. (2021). Investigating the correlations between point load strength index, uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength of sandstones: A case study of QwaQwa sandstone deposit. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 12(1), 67–81. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2021.10037722>.
12. Luo, P., Fang, X., Li, D., Yu, Y., Li, H., Cui, P., & Ma, J. (2023). Evaluation of excavation method on point load strength of rocks with poor geological conditions in a deep metal mine. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 9, 90.
13. Naal-Pech, J. W., Palemón-Arcos, L., El-Hamzaoui, Y., & Gutiérrez-Can, Y. (2024). Study of the relationship between uniaxial compressive strength and the point load index test in rocks from the bank in Seybaplaya Campeche Mexico. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 36–42. <https://doi.org/10.35429/jea.2024.32.11.36.42>.
14. Noori, K. M. G., Alshkane, Y. M. A., & Rashed, K. A. (2023). Geotechnical and geophysical investigations of estimating rock mass properties. *The Iraqi Geological Journal*, 56(2), 39–64.
15. Pathan, S. M., Memon, M., Shaikh, Z., & Chalgri, S. R. (2023). Correlation of uniaxial compressive strength with Brazilian tensile strength and index properties for soft sedimentary rocks. *Journal of Mountain Area Research*, 8. <https://doi.org/10.53874/jmar.v8i0.153>.

16. Pontus, A., Oktaviani, R., & Trides, T. (2023). Correlation of uniaxial compressive strength and elastic modulus based on parameter physical properties and point load of limestones in Gunung Kidul District. *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, 6(1), 38–47. <https://doi.org/10.56139/intan.v6i1.164>.
17. Rahimi, M. R., & Mohammadi, S. D. (2024). The effect of mineral composition on the correlation between Point Load Index with the Uniaxial Compressive Strength of sulfate rocks and their point loading deformation. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. <https://doi.org/10.3311/ppci.37013>.
18. Supriatna, S., Sukanto, R., Sukardi, & Rustandi, E. (2005). Peta geologi regional lembar Samarinda, Kalimantan Timur (Edisi ke-2). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
19. Supandi. (2022). Buku ajar mekanika batuan. CV Megapress Nusantara.
20. Wang, M.-Q., Xu, W., Chen, D.-K., Li, J.-G., Mu, H., Mi, J., & Wu, Y. (2022). Summary of the transformational relationship between Point Load Strength Index and Uniaxial Compressive Strength of rocks. *Sustainability*, 14(19), 12456. <https://doi.org/10.3390/su141912456>.
21. Wang, M., Liu, W., Liu, H.-M., & Xu, W. (2024). Development of empirical equations between uniaxial compressive strength and point load index: A case study for sandy dolomite. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77169-0>
22. Standar Nasional Indonesia. (1992). SNI 2814:1992: Metode pengujian indeks beban titik untuk batu. Badan Standardisasi Nasional.
23. SNI 2825:2008: Metode uji kuat tekan uniaksial batu. Badan Standardisasi Nasional.