

Studi Implementasi Nilai *Shale Rating* Batulanau dalam Penentuan Alat Gali di PT Bintang Prima Energi Pratama Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur

Natalis Pasereng
Universitas Mulawarman

Windhu Nugroho
Universitas Mulawarman

Agus Winarno
Universitas Mulawarman

Abstract: *The activity of dismantling shale sometimes does not align with the rating of the shale itself. Although shale generally has low durability, some types of shale exhibit considerable strength. Therefore, if the tools used are not suitable, the excavation process becomes inefficient. One shale classification method proposed by Franklin (1982) is by determining the value of slake durability index, plasticity index, and point load index. If the slake durability value exceeds 80 percent, testing continues with point load testing. However, if the slake durability value is below 80 percent, then liquid limit and plastic limit tests are conducted to obtain its plasticity index. This study is applied to the Kampungbaru Formation at PT Bintang Prima Energi Pratama. The shale testing results of the Kampung Baru Formation at PT Bintang Prima Energi yielded slake durability index values below 80 percent, thus the shale ratings based on slake durability index and plasticity index values, for KB1BL1 are 4.2; KB1BL2: 3.5; KB1BL3: 2.55; KB1BL4: 3.35; KB1BL5: 3.15; and KB1BL6: 3.65. With an average shale rating value of 3.57. The excavation tool used for these rocks is a backhoe.*

Keywords: *Franklin Shale Rating, Plasticity Index, Slake Durability*

Abstrak: Aktivitas pembongkaran batulanau terkadang tidak sesuai dengan peringkat dari batulanau tersebut. Meskipun batulanau umumnya memiliki daya tahan yang rendah, beberapa jenis batulanau memiliki daya tahan yang cukup kuat. Oleh karena itu, jika alat yang digunakan tidak sesuai, proses penggalian menjadi tidak efisien. Salah satu metode pengelompokan batulanau yang diusulkan oleh Franklin (1982) adalah dengan menentukan nilai *slake durability index*, indeks plastisitas, dan indeks *point load*. Jika nilai *slake durability* melebihi 80 persen, pengujian dilanjutkan dengan uji *point load*. Namun, jika nilai *slake durability* di bawah 80 persen, maka dilakukan pengujian batas cair dan batas plastis untuk mendapatkan indeks plastisitasnya. Studi ini diterapkan pada Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama. Hasil pengujian batulanau formasi Kampung Baru PT Bintang Prima Energi diperoleh nilai *indeks slake durability* berada dibawah 80 persen, sehingga peringkat batulanau berdasarkan *slake durability index* dan nilai indeks plastisitasnya, pada KB1BL1 memiliki peringkat 4,2 ; KB1BL2 : 3,5 ; KB1BL3 : 2,55 ; KB1BL4 : 3,35 ; KB1BL5 : 3,15 ; dan KB1BL6: 3,65. Dengan rata-rata nilai *shale rating* berada dinilai 3,57. Alat yang digunakan untuk penggalian batuan tersebut adalah backhoe.

Kata Kunci: Shale Rating Franklin, Indeks Plastisitas, Slake Durability

PENDAHULUAN

Rekayasa geoteknik, sesuai dengan namanya, merupakan aplikasi rekayasa teknologi yang diterapkan kepada bumi. Dalam mempelajari geoteknik selalu akan berhubungan dengan material alam, baik dari permukaan maupun dari dalam bumi, dalam bentuk tanah dan batuan. Untuk keperluan teknik, tanah dapat diartikan sebagai lapisan aglomerasi mineral, material organik, dan sedimen dengan cairan dan gas yang mengisi rongga, sedangkan batuan adalah kumpulan dari bermacam-macam mineral yang kompak. Dalam geoteknik, hal-hal terpenting

dalam mempelajari material tersebut adalah memahami bagaimana perilaku masing-masing material (Arif, 2016).

Dengan kondisi curah hujan dan panas yang tinggi di Kalimantan Timur (iklim tropis) sangat memungkinkan besar pengaruh pelapukan terhadap kekuatan batuan. Menurut Franklin dan Chandra (1972) serta Sing, dkk (2005) pengujian *Slake Durability* merupakan parameter penting dalam menginvestigasi perilaku pada batuan, khususnya ketahanan pada batuan sedimen terhadap pelapukan yang terjadi.

Mempelajari pengaruh pelapukan batuan terhadap kondisi batuan dan karakteristik sifat keteknikannya merupakan bagian yang sangat penting dalam investigasi geologi teknik. Maka, dalam upaya mengetahui secara rinci karakteristik sifat keteknikan batuan, studi pengaruh pelapukan batuan terhadap beberapa sifat keteknikannya dapat menjadi parameter masukan yang penting guna menunjang kegiatan perencanaan pembuatan desain perkuatan lereng dan penentuan alat gali.

Dalam ranah geoteknik, adanya Slaking pada batuan menjadi pertimbangan utama dalam mengevaluasi rekayasa perilaku pada batuan dan massa batuan (Arslan dan Khan, 2014). Pengujian slake durability digunakan untuk melihat seberapa jauh pelapukan oleh panas dan air akan dapat menurunkan kekuatan batuan. Uji ini memberikan gambaran tentang pengaruh air, dan panas terhadap kekuatan batuan tersebut. Hal ini dapat dilihat dari nilai slake durability index yang didapat. Nilai *slake durability index* ini menggambarkan seberapa besar dari batuan tersebut yang masih dapat bertahan akibat penggerusan dan pemanasan.

Gamble (1975) mengusulkan klasifikasi serpih berdasarkan kombinasi daya tahan slake dan Indeks plastisitas. Klasifikasi ini dikritik, bagaimanapun plastisitas itu hanyalah relevan untuk serpih yang lebih mirip tanah dan sulit atau tidak mungkin diukur ketika serpih memiliki konsistensi seperti batu. Sehingga perlu adanya pengujian lain, yaitu point load index untuk mengklasifikasikan peringkat serpih. Klasifikasi serpih mempermudah kita untuk mengetahui metode penggalian dan penggunaannya. (Franklin, 1982).

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk dikorelasikan *Slake Durability Indeks* (SDI) terhadap beberapa parameter sifat fisik dan mekanik batuan (Yagiz, Sezar dan Gokceoglu, 2012). Uji *slake durability* dalam dunia pertambangan bertujuan untuk mengetahui bagaimana ketahanan batuan atau material pada lereng dan jalan *hauling* ketika mengalami pelapukan. Pada tabel Franklin dan Chandra (1972) menjelaskan bahwa ketahanan batuan yang baik memiliki *index durability* >90. Dimana korelasi yang baik dari sifat fisik dan mekanik batuan terhadap nilai SDI didapatkan pada cycle yang pertama pada pengujian *Slake Durability*. Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan diatas, maka Peneliti bermaksud

melakukan studi mendalam tentang implementasi nilai shale rating diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berharga bagi perusahaan dalam meningkatkan efisiensi dan keberhasilan operasional selama penambangan berlangsung.

TINJAUAN PUSTAKA

Batuan

Ilmu Geologi didasarkan oleh studi terhadap batuan. Diawali pada bagaimana batuan itu terbentuk, *transportasi*, dan mengalami pelapukan (Noor, 2009). Berdasarkan persamaan dan perbedaannya, maka ilmuwan mencoba mengelompokkannya. Dari pengamatan jenis batuan tersebut, maka dapat membaginya menjadi tiga kategori besar, yaitu batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf. Disimpulkan bahwa ada hubungan yang erat antara ketiga kelompok ini. Perjalanan waktu serta perubahan keadaan, maka terjadilah perubahan-perubahan yang disertai dengan pembentukan kelompok-kelompok batuan yang lainnya (Noor, 2009).

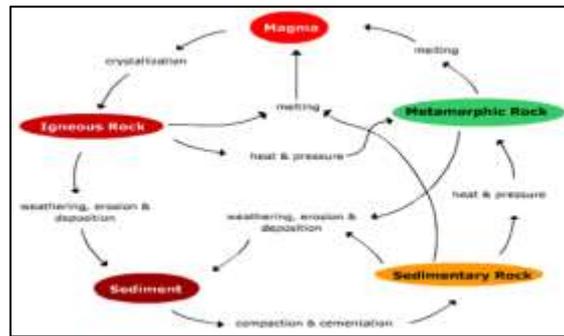
Ada beberapa definisi batuan menurut para geologiwan, para ahli dan definisi secara umum pada Tabel 1 (Rai, 2014):

Tabel 2.1 Definisi Batuan Menurut Para Geologiwan (Rai, 2014)

No	endapat	Definisi Batuan
1	ASTM	Batuan adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat (<i>solid</i>) berupa massa yang berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.
2	Umum	Batuan adalah campuran mineral yang terdiri dari satu atau lebih mineral yang berbeda dan tidak memiliki komposisi kimia yang tetap.
3	Ahli Geoteknik	Batuan yaitu formasi yang keras dan padat dari kulit bumi. Suatu bahan yang keras dan koheren atau yang telah terkonsolidasi dan tidak dapat digali dengan cara biasa, misalnya dengan cangkul dan belincong.
4	Talobre (1948)	batuan adalah material yang membentuk kulit bumi termasuk <i>fluida</i> yang berada didalamnya (seperti air, minyak dan lain-lain).

Klasifikasi Batuan

Menurut Das (1995) Berdasarkan asal-usulnya, batuan dapat dibagi menjadi tiga tipe dasar yaitu: batuan beku (*Igneous rocks*), batuan sedimen (*sedimentary rock*), dan batuan metamorf (*metamorphic rocks*). Siklus pembentukan batuan dimulai dari magma keluar dan membeku dan terbentuk batuan beku. Setelah batuan beku terpapar di permukaan atau dekat permukaan, maka akan terjadi proses pelapukan dan hasilnya yang berupa material lapuk akan *transportasi* dan diendapkan atau mengalami sedimentasi sehingga hasil akhirnya disebut sedimen (Gambar 1). Jika material sedimen tersebut mengalami konsolidasi dan tegangan, maka material tersebut akan menjadi batuan sedimen. Jika batuan sedimen mengalami pembebanan dan temperatur di dalam bumi maka batuan tersebut akan mengalami metamorfosa sehingga terbentuk batuan metamorf (Rai, 2014).



Gambar 1 Siklus Batuan (Noor, 2009)

Beberapa ciri dari batuan sedimen (*sedimentary rocks*) adalah berlapis-lapis, yang merupakan hasil pelapukan dari batuan lain yang diendapkan bisa secara fisik atau kimia dan yang telah mengalami transportasi melalui air, atau angin dan gravitasi. Sedangkan urutan perlapisannya selalu mengikuti hukum superposisi (Rai, 2014).

Menurut Hukum Superposisi (Nicholas Steno) dalam buku Noor (2009):

1. Horizontalitas (*Horizontality*): Kedudukan awal pengendapan suatu lapisan batuan adalah *horizontal*, kecuali pada tepi cekungan memiliki sudut kemiringan asli (*initial-dip*) karena dasar cekungannya yang memang menyudut.
2. Superposisi (*Superposition*): Dalam kondisi normal (belum terganggu), perlapisan suatu batuan yang berada pada posisi paling bawah merupakan batuan yang pertama terbentuk dan tertua dibandingkan dengan lapisan batuan di atasnya.
3. Kesenambungan Lateral (*Lateral Continuity*): Pelamparan suatu lapisan batuan akan menerus sepanjang jurus perlapisan batuanya. Dengan kata lain bahwa apabila Ciri lainnya adalah bahwa batuan sedimen bisa terkonsolidasi atau tidak terkonsolidasi. Akibat dari aktivitas tektonik maka batuan sedimen dapat mengalami perlipatan seperti sinklin atau antiklin dan juga dapat tersesarkan yang berupa sesar, kekar, tergeser.

Batuan Sedimen

Batuan sedimen terdapat banyak di permukaan Bumi dapat berada di daratan maupun lautan. Batuan sedimen sangat dipengaruhi oleh air dan angin sebagai unsur utama untuk mengalami pengangkutan (*transportasi*) dari satu tempat ke tempat lainnya (Noor, 2009). Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk karena adanya hasil pelapukan dari tanah, hasil pelapukan tersebut menjadi lebih padat karena tekanan dari lapisan tanah yang berada di atas kemudian mengalami proses sementasi antar butiran oleh unsur-unsur sementasi seperti oksida besi, kalsit, *dolomite*, dan *quartz* dan terbawa oleh air tanah kemudian mengisi ruang-ruang di antara butiran dan kemudian membentuk batuan sedimen (Das, 1995).

Menurut Tucker (2001) Sedimen adalah kelompok batuan yang beragam, mulai dari batulumpur berbutir halus, melalui batupasir hingga konglomerat dan breksi berbutir kasar.

Sedimen sebagian besar terdiri dari biji-bijian (klast) yang berasal dari batuan beku, metamorf dan sedimen yang sudah ada sebelumnya. Butiran klastik dilepaskan melalui pelapukan mekanis dan kimia proses, dan kemudian diangkut ke pengendapan situs oleh berbagai mekanisme, termasuk angin, gletser, arus sungai, gelombang, arus pasang surut, aliran puing dan arus kekeruhan. Konglomerat dibuat terutama dari kerikil dan batu besar, dan ini dapat berupa berbagai jenis batuan. Batupasir juga mengandung fragmen batuan, tetapi sebagian besar butiran adalah kristal individu, terutama kuarsa dan feldspar, terkelupas ke berbagai derajat. Produk penguraian yang lebih halus dari batuan asli, terbentuk selama pelapukan dan sebagian besar terdiri dari mineral lempung, dominan dalam lumpur dan membentuk matriks menjadi beberapa batupasir dan konglomerat. Dalam arti luas, komposisi sedimen silisiklastik merupakan cerminan dari proses pelapukan, yang sangat ditentukan oleh iklim dan geologi daerah sumber (asal dari sedimen). Daerah sumber umumnya adalah dataran tinggi, daerah pegunungan mengalami pengangkatan, tetapi detritus juga dapat dipasok dari erosi di dataran rendah dan daerah pesisir. Komposisi sedimen juga terpengaruh berdasarkan jarak transpor sedimen dan diagenetik proses.

Aspek-aspek terbentuknya batuan sedimen adalah cuaca, permukaan, tumbuhan dan juga susunan dari batuan asal. Sedangkan aspek yang mempengaruhi pengangkutan sedimen yaitu air, angin, dan gaya gravitasi. Sedimen yang mengalami pengangkutan oleh air, angin, dan salju/*gletser*. Cara pengangkutan antara air dan angin tidak sama. Angin memiliki berat jenis yang kecil sehingga sangat susah untuk melakukan *transportasi* dibandingkan dengan air yang memiliki berat jenis lebih tinggi, apalagi pada batuan yang berukuran besar. Ukuran maksimum yang dapat diangkut oleh angin sebesar ukuran pasir. Adanya proses *transportasi* (pengangkutan) maka batuan sedimen dapat tersebar di kawasan yang sangat luas bahkan sampai menuju atmosfer (Noor, 2009).

Menurut Noor (2009) Batuan sedimen ada dua jenis yaitu:

1. Batuan sedimen klastik yaitu batuan yang terbentuk dari pengendapan kembali batuan-batuan asal. Batuan asal dapat berupa batuan beku, batuan sedimen itu sendiri maupun batuan metamorf. Saat mengalami pengendapan batuan sedimen semakin lama akan semakin tebal karena mengalami penebalan maka batuan sedimen akan terkompaksi, kemudian mengalami *diagnesa* yaitu perubahan yang berlangsung pada temperatur rendah di dalam suatu sedimen selama proses litifikasi membentuk batuan sedimen. Contoh batuan sedimen klastik yaitu batupasir, breksi, konglomerat, dan lempung.
2. Batuan sedimen non-klastik yaitu batuan sedimen yang proses pembentukannya dapat berasal dari proses kimiawi, atau sedimen yang berasal dari sisa-sisa organisme yang telah

mati, contohnya batugamping terumbu yang berasal dari organisme yang telah mati atau batubara yang berasal dari sisa tumbuhan yang berubah karena mengalami. Contoh batuan sedimen non-klasik yaitu batugamping, dolomite, batu gipsium dan batubara.

Berdasarkan ukuran butir batuan Sedimen dapat dibedakan dilihat pada skala Wenworth (1922) dibawah ini (Tabel 2):

Tabel 2 Skala Wenworth (1922)

Ukuran Butir (mm)	Nama Butir	Nama Batuan
> 256	Bongkah (<i>Boulder</i>)	Breksi
64-256	Berangkal (<i>Cobble</i>)	berbentuk runcing
4-64	Kerakal (<i>Pebble</i>)	Konglomerat
2-4	Kerikil (<i>Gravel</i>)	fragmen berbentuk membulat
1-2	Pasir Sangat Kasar	
1/2-1	Pasir Kasar	Batu Pasir
1/4-1/2	Pasir Sedang	
1/8-1/4	Pasir halus	
1/16-1/8	Pasir sangat halus	Lanau
1/256-1/16	Lanau	Lempung
<1/256	Lempung	

Batulanau

Menurut Folk (1980) Siltstone (batulanau) adalah batuan sedimen klastik menengah dalam komposisi mineralnya antara batu pasir dan lempung. Sebuah batu pasir dapat terlihat memiliki komponen yang berbeda yang terlihat jelas, sedangkan batulempung hanya dapat terlihat menggunakan mikroskop. Berdasarkan pengamatan, batulanau ini memiliki partikel-partikel sangat halus, namun masih cukup besar untuk ukuran pasir. Batulanau yang disortir dengan baik (matang) tentu saja memiliki semen yang sama dengan batupasir yang sesuai: karbonat, kuarsa, oksida besi, gipsium, dan lain-lain. Tetapi bagian tipis dari lempung serpih sering menunjukkan pori-pori dan bukaan tidak teratur diisi dengan kuarsa authigenic, karbonat, barit, gipsium, dan mineral lainnya, beberapa di antaranya telah tumbuh di dalam menghasilkan lempung dengan perpindahan fisik lumpur.

Terbentuknya dari biji-bijian yang ukurannya bervariasi antara batupasir dan batulumpur. Batulanau adalah batuan sedimen seperti batu pasir, ia dapat terbentuk dalam bentuk yang berbeda lingkungan dan memiliki warna dan tekstur yang berbeda. Batulanau biasanya berwarna merah dan abu-abu. Fosil tumbuhan dan materi kaya karbon lainnya adalah umum di batulanau berwarna lebih gelap (Bonewitz,2005).

Menurut Miller (2017) berikut adalah perbedaan antara batulempung, batulanau dan batupasir:

- a. Batulempung berbutir halus dan dapat menahan air dengan sangat baik, tetapi batulempung dapat tergenang air saat hujan deras.
- b. Batulanau memiliki butiran berukuran sedang. Mampu mengalirkan air dengan cukup baik.

- c. Batupasir berbutir besar serta menahan air dengan buruk dan mempunyai sedikit bahan organik.
- d. Loam adalah jenis tanah yang mencampurkan lempung, lanau, dan pasir di hampir bagian yang sama. Ini adalah jenis tanah terbaik untuk tanaman.



Gambar 2 Batulanau

Menurut Tucker, (2001) Elemen deskriptif dasar dari semua batuan sedimen adalah ukuran butir. Berdasarkan rasio konstan antara batas-batas kelas yang berurutan dengan istilah untuk kelas oleh C. K. *Wentworth* Skala ukuran butir *Udden-Wentworth* membagi sedimen menjadi tujuh kelas: lempung, lanau, pasir, butiran, kerikil, batu bulat dan batu besar, dan membagi pasir menjadi lima kelas dan lumpur menjadi empat. Untuk sedimen/batuan sedimen, artinya istilah pasir/batupasir, lanau/batulanau dan lempung/batulempung sudah jelas. Kerikil diterapkan pada sedimen lepas dari granul hingga kelas batu besar, dan megagravel untuk sedimen kasar masih, meskipun ini biasanya memiliki sejumlah besar matriks halus. Kasar atau halus batu digunakan untuk kerikil/megagravel indurasi, dan termasuk konglomerat dan breksi, megakonglomerat dan megabreksi.

Uji *Point Load Index* (PLI)

Menurut Rai (2014), Uji *Point Load* merupakan uji indeks yang telah secara luas digunakan untuk memprediksi nilai UCS suatu batuan secara tidak langsung di lapangan. Hal ini disebabkan prosedur pengujian yang sederhana, preparasi contoh yang mudah, dan dapat dilakukan di lapangan. Peralatan yang digunakan mudah dibawa-bawa, tidak begitu besar dan cukup ringan sehingga dapat dengan cepat diketahui kekuatan batuan di lapangan, sebelum dilakukan pengujian di laboratorium. Contoh yang digunakan untuk pengujian ini dapat berbentuk silinder ataupun suatu bongkah batuan, dan disarankan untuk pengujian menggunakan bentuk silinder dengan diameter = 50 mm. Diameter 50 mm merupakan standart yang telah ditetapkan dan sesuai dengan *International Society of Rock*.

Menurut Broch dan *Franklin* (1972) *index point load* (I_s) suatu contoh batuan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2) (Rai dkk, 2014).

$$I_s = \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Menurut *Greminger* (1982) Apabila diameter contoh batuan yang digunakan bukan 50 mm, maka diperlukan faktor koreksi terhadap persamaan yang diturunkan oleh *Broch* dan

Franklin, selang faktor koreksi tergantung besarnya diameter. Karena diameter ideal yang digunakan adalah 50 mm, maka *Greminger* menurunkan persamaan (2.3) (Rai dkk, 2014).

$$I_{s50} = F \frac{P}{D^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana $F = \left(\frac{d}{50}\right)^{0,45}$, sehingga diperoleh suatu persamaan Indeks *Point load* yang telah dikoreksi sebagai berikut.

$$I_{s50} = \left(\frac{d}{50}\right)^{0,45} \frac{P}{D^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

Is = Indeks *Point Load* (dengan ukuran sampel d = 50mm) (MPa)

Is50 = Indeks *Point Load* (dengan ukuran sampel d ≠ 50mm) (MPa)

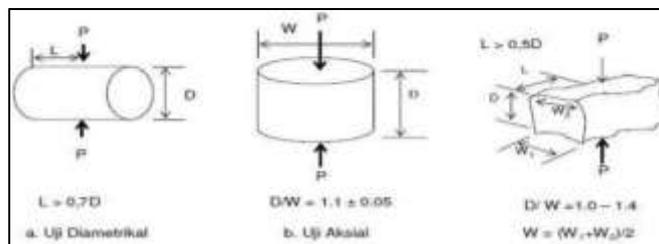
D = Jarak antara dua konus penekan (mm)

P = Beban maksimum hingga contoh pecah (N)

d = Diameter contoh (mm)

Jika $I_s = 1$ Mpa, indeks tersebut tidak memiliki arti, maka penentuan kekuatan harus berdasarkan uji UCS, dan menurut Beiniawski dengan diameter contoh 50 mm maka, UCS dapat ditentukan melalui.

$$\sigma_c = 23 I_s \dots\dots\dots(2.4)$$



Gambar 3 Tipe dan Contoh Sampel Uji *Point Load Index* (Rai dkk, 2014)

Indeks Plastisitas

Standar cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah bertujuan untuk menentukan batas terendah kadar air ketika tanah dalam keadaan plastis, dan angka indeks plastisitas suatu tanah (SNI 1966, 2008).

Batas Plastis dihitung berdasarkan persentasi berat air terhadap berat tanah kering pada benda uji. Pada uji ini, material tanah yang lolos saringan ukuran 0.425 mm atau saringan nomor 40, diambil untuk dijadikan benda uji kemudian dicampur dengan air suling atau air mineral, hingga menjadi cukup plastis untuk digelang/dibentuk bulat panjang hingga mencapai diameter 3 mm. Metode penggelengan dapat dilakukan dengan telapak tangan atau dengan alat penggeleng batas plastis (prosedur alternatif). Benda uji yang mengalami retakan setelah mencapai diameter 3 mm, diambil untuk diukur kadar airnya. Kadar air yang dihasilkan dari pengujian tersebut merupakan batas plastis tanah tersebut (SNI 1966, 2008).

Angka indeks plastisitas tanah didapat setelah pengujian batas cair dan batas plastis selesai dilakukan. Angka indeks plastisitas Tanah merupakan selisih angka batas cair (liquid limit, LL) dengan batas plastis (plastic limit, PL) (SNI 1966, 2008). Menurut para ahli, Klasifikasi indeks plastisitas tanah terhadap *swelling* potensial seperti yang ditampilkan dalam tabel 4.

Tabel 4 Klasifikasi indeks plastis (Laras, 2017)

Indeks Plastisitas	Swelling Potential
0-15	Rendah
15-35	Medium
35-55	Tinggi
>55	Sangat Tinggi

Batas Cair

Batas cair tanah merupakan kadar air, ketika sifat tanah pada batas dari keadaan cair menjadi plastis. nilai batas cair tanah (LL) besaran kadar air dalam persen yang ditentukan dari 25 pukulan pada pengujian batas cair. Penentuan batas cair tanah di lakukan di laboratorium terhadap contoh tanah yang diambil dari lapangan. Kegunaan hasil uji batas cair ini dapat diterapkan untuk menentukan konsistensi perilaku material dan sifatnya pada tanah kohesif, konsistensi tanah tergantung dari nilai batas cairnya (SNI 1967, 2008). Nilai batas cair dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$LL = W_n \left(\frac{n}{25}\right)^{0,121} \dots\dots\dots(2.5)$$

Atau

$$LL = k \cdot W_n \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

$$W_n = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat Tanah Kering Oven}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- N = Jumlah pukulan yang menyebabkan tertutupnya alur pada kadar air tertentu.
- LL = Batas cair terkoreksi untuk tertutupnya alur pada 25 pukulan (%)
- Wn = Kadar air (%)
- k = Faktor koreksi

Faktor koreksi untuk menentukan nilai batas cair berdasarkan kadar air dan jumlah pukulan yang menyebabkan tertutupnya alur dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai faktor batas cair (SNI 1967, 2008)

Jumlah Pukulan	Faktor Koreksi
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014

Batas Plastis

Menurut Hardiyatmono,2012 Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Batas plastis (*plastic limit/PL*) merupakan batas terendah kondisi kadar air ketika tanah masih pada kondisi plastis. Kadar air merupakan perbandingan berat massa air dalam suatu massa tanah terhadap berat massa partikel padatnya, satuannya dinyatakan dalam persen (%) (SNI 1966, 2008). Nilai batas plastisitas dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$PL = \frac{\text{Berat massa air}}{\text{Berat Massa Tanah Kering}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Uji Slake Durability

Menurut Fookes dkk (1971) dalam Misbahudin dan Imam (2018) Ketahanan (*durability*) merupakan keadaan pada batuan jika mengalami pelapukan dan disintegrasi dalam waktu yang singkat. Uji *slake durability* bertujuan untuk mengetahui ketahanan batuan dengan cara mempercepat proses pelapukannya secara maksimal dengan cara membasahi dan mengeringkan kemudian dilakukan pengayakan. Pengujian ini agar dapat melihat secara langsung perubahan fisik dan perilaku *slaking* dari batuan yang diuji dari proses pembasahan dan pengeringan.

Menurut SNI 3406 (2011) Cara uji ini sebagai acuan dan pegangan dalam pengujian sifat tahan lekang batu, adapun tujuannya adalah untuk mengetahui daya tahan batu terhadap proses pelapukan. Pengujian dilakukan dengan cara penimbangan, pengeringan, penjernihan dan abrasi secara bergantian dan berulang. Hasil pengujian dinyatakan dalam *slake durability index* yang mencerminkan kualitas batuan tersebut memiliki kekuatan yang tinggi atau tidak.

Menurut SNI 3406 (2011) Persamaan rumus perhitungan untuk menghitung *slake durability index* siklus kedua (I_{d_2}) sebagai berikut :

$$I_{d_2} = \frac{(W_f - C)}{(B - C)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan :

B= berat silinder uji + butiran setelah dikeringkan sebelum siklus pertama(gr)

C= berat silinder (gr)

W_f = berat silinder uji + butiran setelah dikeringkan pada siklus kedua(gr)

siklus adalah putaran waktu yang di dalamnya terdapat rangkaian kejadian yang berulang-ulang secara tetap dan teratur.

Laporan hasil pengujian dibuat dalam bentuk formulir dan grafik yang didalamnya harus berisi (SNI 3406, 2011):

2.1 Deskripsi dari contoh uji dan lokasi pengambilan contohnya harus jelas

2.2 *index* ketahanan terhadap lejang (siklus ke II)

2.3 Kandungan air aslinya

2.4 Deskripsi visual dari fragmen-fragmen benda uji yang tertinggal dalam silinder uji

Menurut Fookes dkk., (1971) dalam Misbahudin dan Imam (2018) Pengujian diperoleh nilai *slake durability index* (Id), *Slake durability index* merepresentasikan ukuran ketahanan suatu batuan terhadap perilaku mekanik batuan akibat batuan mengalami kontak dengan air dan udara. Menurut *Franklin* dan Chandra (1972) dalam Misbahudin dan Imam (2018) membuat standar klasifikasi ketahanan batuan seperti ditampilkan dalam Tabel 6 Klasifikasi Ketahanan Batuan.

Tabel 6 Klasifikasi ketahanan *Franklin* dan Chandra (1972)

Id2 (%)	Klasifikasi <i>Durabilitas</i>
0 – 25	Sangat Rendah
25 – 50	Rendah
50 – 75	Menengah
75 – 90	Tinggi
90 – 95	Sangat Tinggi
95 – 100	Ekstrem Tinggi

Shale Rating System Franklin

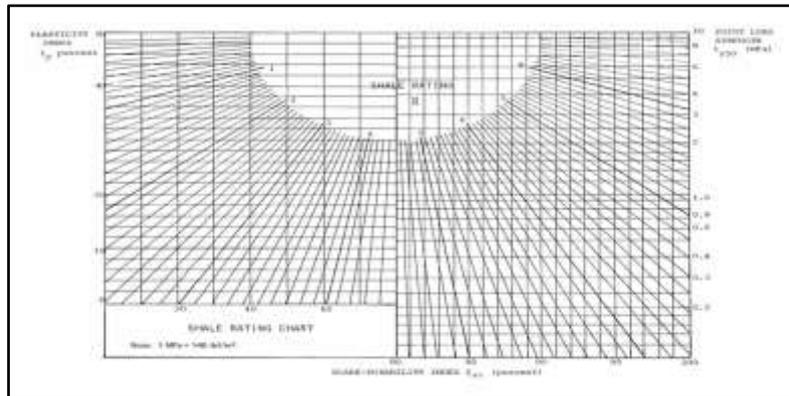
Sistem peringkat *shale* yang diusulkan digambarkan pada Gambar 4, "grafik peringkat *shale*". Contoh *shale* dinilai berdasarkan daya tahan slake dan kekuatannya. *Shale* yang memiliki karakteristik seperti batu memiliki indeks daya tahan slake lebih dari 80 persen, sedangkan *shale* dengan karakteristik seperti tanah memiliki indeks daya tahan *slake* kurang dari 80 persen (*Franklin*, 1982)

Bagan peringkat dibagi lagi dengan garis-garis yang memancar pada interval 2° dari pusat atas untuk memberikan nilai peringkat dalam rentang 0,0 - 9,0. Dengan menginterpolasi antara garis-garis ini, serpih dapat dinilai dengan akurasi hingga satu desimal (dan, jika perlu, dua desimal), memungkinkan penilaian yang berkelanjutan dan kuantitatif (*Franklin*, 1982).

Sampel awalnya menjalani uji *slake durability index* untuk menilai indeks *slake durability* (Id2) persen, sesuai dengan prosedur yang direkomendasikan ISRM. Jika indeks ini ditemukan melebihi 80 persen, sampel diuji lebih lanjut untuk mengukur indeks kekuatan beban titik. Jika indeks kurang dari 80 persen, maka fragmen yang melewati open mesh drum, digunakan untuk penentuan *Atterberg limits*, untuk mengevaluasi indeks plastisitas (*Franklin*, 1982)

Uji kekuatan beban titik telah ditemukan mempermudah klasifikasi kekuatan batuan secara umum, dan serpih khususnya. Uji ini tidak memerlukan persiapan khusus atau peralatan khusus dan dapat dilakukan di lapangan sebelum batuan mengering atau menjadi lepas. Indeks yang digunakan untuk tujuan peringkat adalah kekuatan yang diperoleh ketika beban

diterapkan tegak lurus terhadap bidang perlapisan. Pengukuran sampel dapat dilakukan dengan beban yang diletakkan sejajar dengan bidang perlapisan untuk mengukur kekuatan anisotropi dan plastisitas. Sampel diuji dalam kondisi alami mereka. Nilai kekuatan beban titik ditemukan berkorelasi erat dengan hasil uji kekuatan tekan uniaksial. Untuk tujuan klasifikasi, kekuatan uniaksial dapat diperoleh dengan menerapkan faktor lain ke nilai kekuatan (Franklin, 1982).



Gambar 4 Kurva Shale Rating Franklin (Franklin, 1982)

Sistem peringkat serpih berdasarkan tiga sifat, yaitu daya tahan, kekuatan, dan plastisitas. Sampel serpih diberi nilai peringkat, dengan mengukur *slake durability*. Batuserpih yang memiliki nilai daya tahan lebih besar dari 80 persen untuk indeks ini selanjutnya mengukur point load sampel tersebut. Serpih seperti tanah yang memiliki nilai *slake durability* kurang dari 80%, dilanjutkan dengan mengukur plastisitasnya. *Shale rating* memiliki variabel bilangan berkelanjutan dalam rentang 0,0 sampai 9,0. Nilai *shale rating* yang diusulkan dikaitkan dengan keteknikannya, seperti metode penggalian (menggali atau meledakkan), sifat pondasi, konstruksi tanggul (ketebalan dan metode pemadatan), dan stabilitas lereng (hubungan antara tinggi lereng dengan sudut). (Franklin, 1982)

Tabel 7 menentukan alat dan metode untuk penggalian berdasarkan *shale rating* batuserpih. Kemudahan penggalian ditentukan oleh jumlah karakteristik geologis, peralatan utama (tercermin oleh peringkatnya) dan batuan alaminya (ditentukan oleh jarak antar kekar dan bidang perlapisan). (Franklin, 1982)

Tabel 7 Metode penggalian atau jenis peralatan sesuai peringkat batuan (Franklin, 1982)

Metode atau Alat	Shale Rating
Backhoe atau Scrapper	0,0 – 5,5
Shovel	0,0 – 5,5
Medium Ripper	3,0 – 6,0
Heavy Ripper	3,0 – 7,0
Blasting	6,0 – 9,0

METODOLOGI PENELITIAN

Pengambilan sampel dilakukan di lokasi Penambangan PT Bintang Prima Energi Pratama. Dalam kegiatan penelitian ini akan dibagi menjadi tiga tahapan yaitu pertama tahap pra lapangan berupa *studi literatur*, perumusan masalah serta metodologi penelitian. Tahap

kedua adalah kegiatan tahap lapangan berupa pengambilan data. Data-data diambil dari lapangan dan uji laboratorium. Tahap ketiga berupa pasca lapangan yaitu mengolah data yang diperoleh dari tahap kedua, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan korelasi uji *slake durability* terhadap propertis batulanau, serta menentukan alat gali yang akan digunakan berdasarkan nilai *shale rating*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi Pengambilan Sample

Lokasi pengambilan sampel berada di PT Bintang Prima Energi Pratama, di daerah Teluk Dalam, Kecamatan Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Titik pengambilan sampel terletak pada koordinat 0513961 E dan 9913133 N. Sampel diambil di sekitar area penambangan dan kemudian dibawa ke Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara di Fakultas Teknik Universitas Mulawarman untuk diuji *Point Load Index*, Batas Cair, Batas Plastis, dan ketahanan *slake* (*Slake Durability Test*).



Gambar 5 Lokasi Pengambilan Sampel Batulanau PT Bintang Prima Energi Pratama

Uji Point Load Index

Menurut Zeim (2018), Uji indeks beban titik (PLI) adalah alternatif untuk evaluasi tidak langsung dari UCS melalui korelasi dengan indeks kekuatan $I_s(50)$. Uji indeks beban titik membutuhkan persiapan sampel yang lebih sedikit atau bahkan tidak memerlukan persiapan sama sekali, serta mudah dilakukan di laboratorium maupun di lapangan.

Syarif (2020) menyimpulkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi hasil uji beban titik dalam suatu penelitian meliputi preparasi sampel yang kurang hati-hati, yang dapat menyebabkan retakan kecil pada sampel dan mempengaruhi nilai kekuatannya. Selain itu, penempatan sampel pada bidang lemah selama pengujian juga dapat mempengaruhi nilai tekanan yang dihasilkan. Pemberian tekanan yang diterapkan akan mempengaruhi besar gaya yang diberikan dan, pada gilirannya, mempengaruhi nilai kekuatan sampel.

Hasil pengujian *point load index* pada sampel batulanau dari PT Bintang Prima Energi pratama pada Formasi Kampungbaru (Tabel 8) menunjukkan nilai rata-rata beban titik berkisar antara 0,42 MPa hingga 0,48 MPa. Nilai ini memberikan gambaran tentang kekuatan batulanau dalam formasi tersebut. Pengamatan juga menunjukkan bahwa persiapan sampel dan penempatannya selama pengujian sangat mempengaruhi hasil, terutama jika sampel

ditempatkan pada bidang lemah atau memiliki retakan kecil yang tidak terlihat. Secara keseluruhan, pengujian *point load index* memberikan informasi penting mengenai kekuatan relatif batulanau dalam Formasi Kampungbaru, yang memiliki implikasi dalam aplikasi geoteknik dan eksplorasi sumber daya mineral. Hasil lengkap pengujian dan perhitungan dapat ditemukan pada Lampiran A.

Tabel 8 Hasil Uji *Point load index* Batulanau PT Bintang Prima Energi Pratama

No	Kode Sampel	PLI (MPa)
1	KB1 BL1	0,48
2	KB1 BL2	0,46
3	KB1 BL3	0,48
4	KB1 BL4	0,42
5	KB1 BL5	0,43
6	KB1 BL6	0,46

Uji *Slake Durability Index*

Dalam penelitian ini, pengujian ketahanan dilakukan menggunakan sampel batulanau dari PT Bintang Prima Energi pratama yang berada pada Formasi Kampungbaru. Sampel yang diambil dari lokasi kemudian dibawa ke Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara Universitas Mulawarman untuk dipreparasi sesuai dengan standar SNI 3406:2011. Setelah preparasi, sampel batulanau diuji menggunakan mesin uji ketahanan (*durability*) dan mengalami siklus pengeringan dan perendaman. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut kemudian diolah menggunakan rumus yang telah ditentukan untuk mendapatkan nilai indeks ketahanan *slake*, guna menentukan klasifikasi ketahanan batulanau tersebut.

Pengujian dimulai dengan menghilangkan kandungan air pada sampel menggunakan oven selama minimal ± 16 jam pada suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$. Setelah itu, drum dimasukkan ke dalam kotak yang diisi air hingga mencapai poros putar drum, sehingga separuh bagian dari drum yang berisi sampel uji tergenang. Drum kemudian diputar dengan kecepatan konstan 20 rpm selama 10 menit. Hal ini menyebabkan kontak antara batuan dengan batuan, dan antara batuan dengan dinding drum, serta keberadaan air dalam proses perputaran mempercepat penghancuran sampel. Pengujian dilakukan dalam kondisi basah dan kering, hingga mencapai siklus ketiga.

Menurut Ridha (2020), Uji *slake durability* adalah pendekatan kuantitatif untuk mengetahui tingkat ketahanan suatu batuan dengan mempercepat proses pelapukan melalui perendaman, pemutaran, dan pengayakan. Uji ini memberikan gambaran tentang pengaruh air dan panas terhadap kekuatan batuan. Hal ini dapat dilihat dari nilai indeks ketahanan *slake* yang diperoleh. Nilai indeks ketahanan *slake* ini menunjukkan seberapa besar bagian dari batuan yang masih dapat bertahan setelah mengalami penggerusan dan pemanasan.

Berdasarkan hasil perhitungan *durability* batulanau dari Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama (Tabel 9 dan Lampiran B) menunjukkan variasi dalam

ketahanan material terhadap pelapukan yang diukur melalui indeks *slake durability* (I_{d2}). Data yang diperoleh mengindikasikan bahwa nilai I_{d2} berkisar antara 38,66% hingga 69,34%, dengan rata-rata nilai sebesar 53,02%, yang diklasifikasikan sebagai ketahanan menengah.

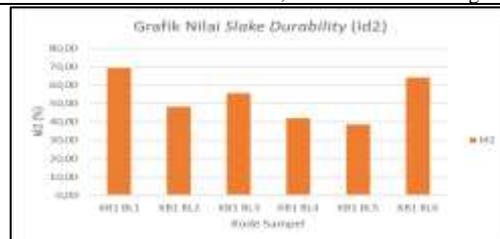
Sampel KB1 BL1 memiliki nilai I_{d2} tertinggi sebesar 69,34%, menunjukkan ketahanan yang cukup baik terhadap pelapukan dan diklasifikasikan sebagai ketahanan menengah. Sampel KB1 BL6 juga menunjukkan ketahanan menengah dengan nilai I_{d2} sebesar 64,16%. Sampel KB1 BL3, dengan nilai I_{d2} sebesar 55,69%, juga masuk dalam klasifikasi ketahanan menengah.

Sebaliknya, beberapa sampel menunjukkan ketahanan yang lebih rendah. Sampel KB1 BL2 memiliki nilai I_{d2} sebesar 48,22%, yang diklasifikasikan sebagai ketahanan rendah. Nilai serupa juga terlihat pada sampel KB1 BL4 dan KB1 BL5, dengan nilai I_{d2} masing-masing sebesar 42,04% dan 38,66%, yang juga diklasifikasikan sebagai ketahanan rendah.

Rata-rata nilai I_{d2} sebesar 53,02% menunjukkan bahwa secara umum, batulanau dari Formasi Kampungbaru memiliki ketahanan menengah terhadap pelapukan. Variasi dalam nilai I_{d2} ini mencerminkan perbedaan dalam sifat-sifat material tanah di berbagai lokasi pengambilan sampel. Pemahaman mengenai *durability* tanah ini penting dalam konteks rekayasa geoteknik, karena memberikan informasi tentang kestabilan material tanah ketika terkena air dan siklus pelapukan, yang esensial untuk perencanaan dan desain proyek konstruksi yang aman dan tahan lama di lokasi ini. Informasi lengkap mengenai hasil pengujian dan analisis dapat ditemukan dalam Tabel 9 pada lampiran B.

Tabel 9 Hasil Uji *Slake durability* (I_{d2}) PT Bintang Prima Energi Pratama

Kode Sampel	I_{d2} (%)	Klasifikasi
KB1 BL1	69,34	Menengah
KB1 BL2	48,22	Rendah
KB1 BL3	55,69	Menengah
KB1 BL4	42,04	Rendah
KB1 BL5	38,66	Rendah
KB1 BL6	64,16	Menengah
Rata-Rata	53,02	Menengah



Gambar 6 Grafik Nilai *Slake Durability* (I_{d2})

Batas Cair

Batas cair (*Liquid Limit*, LL) adalah persentase kadar air di mana tanah berpindah dari keadaan plastis menjadi cair. Ini merupakan parameter penting dalam klasifikasi dan penilaian sifat-sifat tanah, menunjukkan kadar air kritis di mana tanah kehilangan kekuatannya dan

mulai mengalir. Pengukuran batas cair dilakukan menggunakan alat *Casagrande*, di mana tanah diuji untuk melihat jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menutup alur di dalam tanah pada berbagai kadar air. Nilai ini membantu menentukan konsistensi dan perilaku mekanis tanah, yang esensial dalam perencanaan dan desain geoteknik.

Berdasarkan hasil perhitungan batas cair (*Liquid Limit, LL*) untuk batulanau dari Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama (Tabel 10 dan Lampiran C) menunjukkan variasi dalam jumlah pukulan yang diperlukan untuk mencapai batas cair. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa jumlah pukulan berkisar antara 16 hingga 29 kali dengan nilai kadar air yang berbeda.

Pada sampel KB1BL1, jumlah pukulan sebanyak 16 kali menghasilkan kadar air 38,00%, dengan nilai batas cair yang dihitung sebesar 36,00%. Sampel KB1BL2, dengan 23 pukulan, memiliki kadar air 33,86% dan batas cair sebesar 33,52%. Untuk sampel KB1BL3, yang membutuhkan 25 pukulan, kadar air tercatat 32,24%, yang sama dengan nilai batas cairnya. Sampel KB1BL4 membutuhkan jumlah pukulan terbanyak, yaitu 29 kali, dengan kadar air 26,40% dan nilai batas cair sebesar 26,88%. Sampel KB1BL5 menunjukkan nilai yang lebih rendah dengan 26 pukulan dan kadar air 22,10%, menghasilkan nilai batas cair sebesar 22,20%. Terakhir, sampel KB1BL6 dengan 20 pukulan memiliki kadar air 32,07% dan nilai batas cair sebesar 31,21%.

Tabel 10 Hasil Uji Batas Cair PT Bintang Prima Energi Pratama

Kode Sampel	Jumlah Pukulan (N)	W _n (%)	LL (%)
KB1 BL1	16	38,00	36,00
KB1 BL2	23	33,86	33,52
KB1 BL3	25	32,24	32,24
KB1 BL4	29	26,40	26,88
KB1 BL5	26	22,10	22,20
KB1 BL6	20	32,07	31,21
Rata-rata	23,17	30,78	30,35



Gambar 7 Grafik Hubungan Jumlah Pukulan Terhadap Nilai Kadar Air (W_n) dan Nilai Batas Cair (LL)

Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang konsisten antara jumlah pukulan dan kadar air yang menentukan nilai batas cair dari batulanau Formasi Kampungbaru. Secara umum, semakin tinggi jumlah pukulan, semakin rendah kadar air yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi batas cair. Variasi ini mencerminkan perbedaan dalam kekompakan dan konsistensi material tanah di lokasi tersebut. Nilai batas cair rata-rata yang diperoleh dari

berbagai sampel memberikan gambaran mengenai karakteristik plastisitas tanah di wilayah PT Bintang Prima Energi Pratama, yang penting untuk analisis dan perencanaan rekayasa geoteknik.

Batas Plastis

Batas plastis (*Plastic Limit*, PL) adalah persentase kadar air di mana tanah berpindah dari keadaan semi-padat menjadi plastis. Pada kadar air ini, tanah mulai menunjukkan sifat-sifat plastis, memungkinkan tanah untuk berubah bentuk tanpa retak atau pecah. Batas plastis merupakan parameter penting dalam klasifikasi tanah, karena membantu menentukan rentang kadar air di mana tanah dapat dipertahankan dalam keadaan plastis. Pengukuran batas plastis dilakukan dengan menggulung tanah hingga mencapai diameter 3 mm tanpa retak, menunjukkan kadar air minimum yang diperlukan agar tanah bersifat plastis.

Berdasarkan hasil perhitungan batas plastis (*Plastic Limit*, PL) untuk batulanau dari Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama (Tabel 11 dan Lampiran D) menunjukkan variasi yang cukup signifikan di antara sampel-sampel yang diuji. Nilai batas plastis yang diperoleh berkisar antara 13,53% hingga 28,89%, dengan rata-rata nilai batas plastis sebesar 20,74%.

Tabel 11 Hasil Uji Batas Plastis PT Bintang Prima Energi Pratama

Kode Sampel	PL (%)	PL Rata -Rata (%)
KB1 BL1	28,89	
KB1 BL2	23,36	
KB1 BL3	16,92	20,74
KB1 BL4	17,97	
KB1 BL5	13,53	
KB1 BL6	23,75	

Sampel KB1BL1 memiliki nilai batas plastis tertinggi yaitu 28,89%, yang menunjukkan bahwa tanah tersebut dapat mempertahankan konsistensi plastis hingga kadar air yang cukup tinggi. Sebaliknya, sampel KB1BL5 memiliki nilai batas plastis terendah yaitu 13,53%, menunjukkan bahwa tanah tersebut beralih dari keadaan semi-padat menjadi plastis pada kadar air yang lebih rendah. Nilai batas plastis untuk sampel lainnya adalah 23,36% untuk KB1BL2, 16,92% untuk KB1BL3, 17,97% untuk KB1BL4, dan 23,75% untuk KB1BL6.

Variasi dalam nilai batas plastis ini menunjukkan perbedaan dalam komposisi dan karakteristik butiran tanah di antara sampel-sampel tersebut. Nilai rata-rata batas plastis 20,74% memberikan gambaran umum tentang kondisi plastisitas tanah di wilayah PT Bintang Prima Energi Pratama. Pemahaman tentang nilai batas plastis ini penting dalam rekayasa geoteknik karena memberikan informasi mengenai kondisi kadar air di mana tanah mulai menunjukkan sifat-sifat plastis, yang esensial untuk perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi.

Indeks Plastisitas

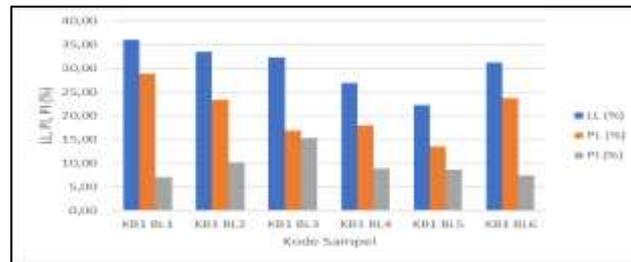
Indeks plastisitas (*Plasticity Index*, PI) adalah parameter penting dalam geoteknik yang digunakan untuk mengukur rentang kadar air di mana tanah menunjukkan sifat plastis. PI dihitung sebagai selisih antara Batas Cair (*Liquid Limit*, LL) dan Batas Plastis (*Plastic Limit*, PL). Nilai ini memberikan informasi tentang kemampuan tanah untuk berubah bentuk tanpa retak di bawah kondisi kadar air tertentu. Indeks plastisitas membantu dalam klasifikasi tanah dan penentuan sifat mekanisnya, yang sangat penting dalam perencanaan dan desain rekayasa. Tanah dengan nilai PI yang tinggi cenderung lebih plastis dan dapat menahan deformasi yang lebih besar tanpa kehilangan stabilitasnya, sementara tanah dengan nilai PI rendah menunjukkan rentang plastisitas yang lebih sempit dan cenderung lebih kaku.

Berdasarkan hasil perhitungan Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*, PI) untuk batulanau dari Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama (Tabel 12 dan Lampiran E) menunjukkan bahwa sifat keplastisan tanah umumnya berada pada kategori plastisitas rendah, dengan beberapa pengecualian. Indeks Plastisitas dihitung sebagai selisih antara Batas Cair (LL) dan Batas Plastis (PL), memberikan gambaran mengenai rentang kadar air di mana tanah bersifat plastis.

Tabel 12 Hasil Uji Indeks Plastisitas PT Bintang Prima Energi Pratama

Kode Sampel	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Sifat Keplastisan
KB1 BL1	36,00	28,89	7,11	Plastisitas Rendah
KB1 BL2	33,52	23,36	10,16	Plastisitas Rendah
KB1 BL3	32,24	16,92	15,32	Plastisitas Medium
KB1 BL4	26,88	17,97	8,91	Plastisitas Rendah
KB1 BL5	22,20	13,53	8,67	Plastisitas Rendah
KB1 BL6	31,21	23,75	7,46	Plastisitas Rendah
Rata-rata	30,35	20,74	9,61	Plastisitas Rendah

Sampel KB1 BL1 memiliki nilai LL sebesar 36,00%, PL sebesar 28,89%, dan PI sebesar 7,11%, yang masuk dalam kategori plastisitas rendah. Sampel KB1 BL2 memiliki nilai LL sebesar 33,52%, PL sebesar 23,36%, dan PI sebesar 10,16%, juga dikategorikan sebagai plastisitas rendah. Sampel KB1 BL3 memiliki nilai LL sebesar 32,24%, PL sebesar 16,92%, dan PI sebesar 15,32%, yang menunjukkan plastisitas medium, berbeda dari sampel lainnya. Sampel KB1 BL4 dengan nilai LL sebesar 26,88%, PL sebesar 17,97%, dan PI sebesar 8,91%, serta sampel KB1 BL5 dengan nilai LL sebesar 22,20%, PL sebesar 13,53%, dan PI sebesar 8,67%, keduanya menunjukkan plastisitas rendah. Sampel KB1 BL6 memiliki nilai LL sebesar 31,21%, PL sebesar 23,75%, dan PI sebesar 7,46%, yang juga masuk dalam kategori plastisitas rendah.

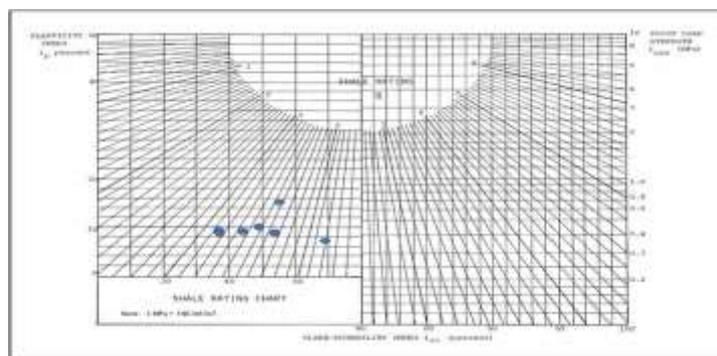


Gambar 8 Grafik Nilai Batas Cair (LL), Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastisitas (PI)

Rata-rata nilai LL sebesar 30,35%, PL sebesar 20,74%, dan PI sebesar 9,61% mengindikasikan bahwa secara keseluruhan, tanah dari Formasi Kampungbaru memiliki plastisitas rendah. Hanya satu sampel yang menunjukkan plastisitas medium, sementara sisanya berada dalam kategori plastisitas rendah. Ini menunjukkan bahwa tanah cenderung memiliki rentang kadar air yang sempit untuk tetap berada dalam keadaan plastis, yang penting dalam konteks rekayasa geoteknik. Pemahaman tentang sifat keplastisan ini esensial untuk perencanaan dan desain proyek konstruksi, karena menentukan perilaku tanah terhadap perubahan kadar air dan pengaruhnya terhadap stabilitas dan kekuatan struktur yang dibangun di atasnya.

Shale Rating Franklin

Berdasarkan perhitungan hasil uji *slake durability*, uji point load, dan Indeks Plastisitas yang dilakukan terhadap batulanau dari Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama, nilai *slake durability* yang diperoleh berada di bawah 80%. Oleh karena itu, nilai hasil uji *slake durability* dan Indeks Plastisitas digunakan untuk mendapatkan *shale rating* yang kemudian diplot pada grafik *shale rating Franklin*. Dengan informasi ini, kita dapat menentukan jenis alat yang akan digunakan untuk menggali batulanau dari Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama, sebagaimana terlihat pada Gambar 9 dan Tabel 13.



Gambar 9 Shale Rating Batulanau PT Bintang Prima Energi Pratama

Rata-rata *shale rating* sebesar 3,57 menunjukkan bahwa secara umum, batulanau dari Formasi Kampungbaru memiliki ketahanan sedang terhadap pelapukan. Penggunaan backhoe

dapat diterapkan secara umum, namun kondisi spesifik di lapangan mungkin memerlukan evaluasi lebih lanjut untuk sampel dengan ketahanan lebih rendah.

Dengan plotting grafik *shale rating Franklin*, kita dapat melihat distribusi ketahanan material secara lebih jelas dan menentukan jenis alat penggalian yang paling efektif. Hasil ini penting untuk memastikan efisiensi dan keamanan dalam proses penggalian di PT Bintang Prima Energi Pratama.

Tabel 13 Shale Rating Batulanau dan Alat Gali PT Bintang Prima Energi Pratama

Kode Sampel	Id2 (%)	PI (%)	Shale Rating	Alat
KB1 BL1	69,34	7,11	4,2	
KB1 BL2	48,22	10,16	3,5	
KB1 BL3	55,69	15,32	3,55	Backhoe
KB1 BL4	42,04	8,91	3,35	
KB1 BL5	38,66	8,67	3,15	
KB1 BL6	64,16	7,46	3,65	
Rata-Rata	53,02	9,61	3,57	Backhoe

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian dan pengolahan data pada pengujian kali ini diperoleh kesimpulan seperti berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan *slake durability* batulanau dari Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama, material tersebut menunjukkan variasi dalam ketahanan terhadap pelapukan yang diukur melalui indeks *slake durability* (Id_2). Data yang diperoleh mengindikasikan bahwa nilai Id_2 berkisar antara 38,66% hingga 69,34%, dengan rata-rata sebesar 53,02%, yang diklasifikasikan sebagai ketahanan menengah.
2. Shale rating (Franklin, 1982) Batulansu formasi Kampung Baru PT Bintang Prima Energi Pratama berdasarkan hasil uji *slake durability index* dan indeks plastisitas pada KB1BL1 memiliki peringkat 4,2 ; KB1BL2 : 3,5 ; KB1BL3 : 2,55 ; KB1BL4 : 3,35 ; KB1BL5 : 3,15 ; dan KB1BL6 : 3,65. Dengan rata-rata nilai *shale rating* berada dinilai 3,57.
3. Berdasarkan hasil perhitungan shale rating batulanau dari Formasi Kampungbaru di PT Bintang Prima Energi Pratama, yang berperingkat di bawah 5, alat yang digunakan untuk penggalian batuan tersebut adalah *backhoe*.

Saran

Berdasarkan hasil pengujian, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar lokasi dari setiap formasi lebih bervariasi untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif.
2. Disarankan agar pengambilan sampel lebih memperhatikan ketebalan lanau pada batulanau yang diuji.
3. Penulis menyarankan agar penelitian berikutnya membandingkan peringkat batulanau dengan batulempung.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Folk, R. L. (1980). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Texas: Hemphill Publishing Company.
- Franklin, J. A. (1982). A shale rating system and tentative applications to shale performance. Elsevier Ltd.
- Franklin, J. A., & Chandra, R. (1972). The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah 1 (6th ed.)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Misbahudin, & Sadisun, I. A. (2018). Analisis ketahanan (durability) batulempung formasi Subang di daerah Ujungjaya dan sekitarnya, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Geologi*, 2(1), 163-174.
- Noor Djauhari. (2009). *Pengantar Geologi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2014). *Mekanika Batuan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- Ridha, A. E., Farian, Y. R., Koesnaryo, S., & Dkk. (2020). Kajian pengaruh tingkat pelapukan terhadap kekuatan batuan pada batu andesit, Parangtritis, Kec. Kretek, Kab. Bantul, Prov. D.I. Yogyakarta. *Jurnal Geologi*, 2(1), 349-358.
- Sharma, P. K., & Singh, T. N. (2008). A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 17–22.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1966. (2008). Batas plastis dan indeks plastisitas.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1967. (2008). Batas cair.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 3406:2011. (2011). Cara uji sifat tahan legang batu.
- Tucker, M. E. (2001). *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. Canada: John Wiley & Sons.