

STUDI TINGKAT KEKUATAN BATUAN TERHADAP KEMAMPUGARUAN SUATU ALAT GARU BERDASARKAN KECEPATAN GELOMBANG SEISMIC DI PIT BADAK PT. MULTI HARAPAN UTAMA KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

(Study of Class of Rock Toughness To Rippability of the Ripper Based on Seismic Wave Velocity in Pit Badak at PT. Multi Harapan Utama Kutai Kartanegara District East Kalimantan Province)

Lumban Tobing Bill Rexy, Harjuni Hasan, Tommy Trides

*Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda
Email :billrexytobing@gmail.com²*

Abstrak

Kemampugaruan merupakan suatu ukuran apakah suatu massa batuan mudah digaru, sulit digaru bahkan perlu dilakukan peledakan. Dalam suatu kegiatan penambangan selalu dijumpai kegiatan penggalian. Sebelum penggalian dilakukan maka dilakukan pembongkaran massa batuan. Penggaruan maupun peledakan tidak dilakukan serta merta begitu saja saat menjumpai material keras. Namun perlu ada analisis lebih lanjut untuk menentukan metode pembongkaran yang sesuai dengan sifat-sifat batuan maupun kondisi lapangan. Penelitian dilakukan dengan pengambilan nilai kuat tekan pada setiap lapisan batuan di *pit* Badak. Setelah didapatkan nilai kuat tekan dan kecepatan gelombang seismik dari setiap lapisan batuan tersebut maka penulis memberi *rating* berdasarkan dari tingkat kemampugaruan tersebut. Nilai kuat tekan yang berasal dari *pit* Badak adalah < 10 hingga 21,32MPa dengan kecepatan gelombang seismik 1533,463 hingga 1897,012 m/s. Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan metode Atkinson didapatkan bahwa pada masing – masing lapisan batuan pada area *pit* Badak merupakan material yang mudah digaru hingga yang sangat sulit untuk digaru, jadi apabila dilakukan suatu kegiatan pembongkaran batuan maka perlu dilakukan penggaruan dengan rekomendasi alat berdasarkan dari perusahaan Komatsu dan Caterpillar. Untuk *pit* Badak, penulis merekomendasikan alat *ripper* dengan tipe D155A, D355A dan D375A untuk Komatsu dan tipe CAT D8R, D9R dan D10R untuk Caterpillar.

Kata Kunci : Kemampugaruan, Penggaruan, Massa Batuan, Gelombang Seismik Batuan, Kekuatan Batuan

Abstract

Rippability is related to ease of breaking or ripping of a rock, that are easy to rip, hard to rip and even extremely hard to rip and for blasting. Excavation work is one of the most common work in mining. Before commencing excavation, decisions have to be made on the excavation method to be applied. Ripping or blasting cannot be done when the hard material is located. Therefore, it needs to do an analysis of the rock to find the most effective rock excavation method in accordance with the properties of the rock and the actual condition of pit Badak. The research was conducted by taking the compressive strength value each layer of rock in pit Badak. After the values of the compressive strength along with seismic wave velocity each layer of rock samples were obtained, the author gives ratings based on rippability of the pit. The value of the compressive strength test on the pit Badak is < 10 to 21,32MPa and seismic wave velocity is 1533,463 to 1897,012 m/s. Based on the result of the research using the Atkinson method that each layer of rock from the area of pit Badak are easy to rip and extremely hard to rip, therefore, the excavation work is needed, it is necessary to ripping with recommended ripper from Komatsu and Caterpillar company. The author gives a ripper recommendation on pit Badak by using the D155A, D355A and D375A type for Komatsu and CAT D8R, D9R and D10R type for Caterpillar.

Keywords : Rippability, Ripping, Rock Mass, Seismic Wave Rock, Rock Strength

PENDAHULUAN

Kemampugaruan merupakan suatu ukuran apakah suatu massa batuan mudah digaru atau sulit digaru. Dalam suatu kegiatan penambangan selalu dijumpai kegiatan penggalian. Sebelum penggalian dilakukan maka dilakukan pembongkaran massa batuan. Penggalian bisa dilakukan secara langsung tanpa pembongkaran apabila material bersifat lunak atau *soft*,

metode penggalian ini biasa disebut *direct digging*. Namun apabila material bersifat keras maka perlu pembongkaran terlebih dahulu sebelum dilakukan penggalian. Pembongkaran bisa dilakukan dengan penggaruan (*ripping*) maupun peledakan (*blasting*). Penggaruan maupun peledakan tidak dilakukan serta merta begitu saja saat menjumpai material keras. Namun perlu ada analisis lebih lanjut untuk menentukan metode pembongkaran yang sesuai

dengan sifat-sifat batuan maupun kondisi lapangan.

Metode penggalian sangat dipengaruhi oleh sifat material terutama kekerasannya. Oleh sebab itu dalam suatu penggaruan (*ripping*), suatu massa batuan memiliki tingkat kemampugaruan (*rippability*) tertentu, dari *easy ripping* sampai *very hard ripping*. Untuk menentukan tingkat kemampugaruan suatu massa batuan, menurut Bozdog (1988) maka perlu studi atau investigasi lapangan seperti pengumpulan data struktur, tingkat pelapukan, air tanah, kekuatan dan jenis batuan, dan kecepatan gelombang seismiknya. Hal ini dilakukan guna mengklasifikasikan suatu massa batuan kedalam kelas tertentu. Pentingnya mengetahui pemilihan metode pembongkaran material, maka perlu dilakukan analisis terhadap batuan sehingga dapat diketahui sistem pembongkaran yang paling efektif dan ekonomis. Analisis yang dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan nilai kuat tekan batuan yang kemudian dikonversikan menjadi nilai kecepatan gelombang seismik tersebut akan menjadi parameter utama dalam penentuan metode pembongkaran batuan yang paling efektif.

METODOLOGI

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu berupa data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara pengambilan nilai kuat tekan batuan secara langsung di lapangan dan melakukan pengamatan kondisi situasi aktual *pit* Badak, sedangkan untuk data sekunder diperoleh dari perusahaan.

Metode Pengumpulan Data

Data primer yang diperoleh dari observasi lapangan yaitu berupa nilai kuat tekan batuan dan pengamatan kondisi situasi aktual *pit* Badak dan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan berupa desain *final pit* Badak, data konsesi wilayah, data topografi dan data *log* bor geotek.

Data-data yang telah diperoleh dari lapangan akan dikumpulkan, dan diolah dan dianalisis dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Adapun prosedur kerja dalam pengolahan dan analisis data yaitu perhitungan konversi dari nilai kuat tekan pada batuan yang telah diambil dari hasil pengujian menggunakan alat *Schmidt Hammer* di lapangan.



Gambar 1. Pengamatan Kondisi Aktual *Pit* Badak



Gambar 2. Pengambilan Nilai Kuat Tekan



Gambar 3. Pengolahan Data Menggunakan *Microsoft Excel*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan

Untuk hasil pengambilan data dari pengujian kuat tekan batuan menggunakan alat *Schmidt Hammer* dengan banyaknya 10 kali pengujian untuk 1 lapisan batuan dan jika lapisan batuan tidak bisa diuji dengan *Schmidt Hammer* maka lapisan tersebut bisa dilakukan dengan *Penetrometer* dengan banyaknya 10 kali pengujian untuk 1 lapisan batuan yang hasilnya langsung berupa kohesi lapisan batuan tersebut lalu dirata-ratakan. Berikut adalah hasil beberapa dari pengambilan data nilai kuat tekan.

Tabel 1. Hasil Rata – Rata Nilai *Rebound* Pengujian Kuat Tekan

Lokasi Koordinat	Batuan	Strike & Dip	Posisi	Rata – rata nilai rebound
0493249 9923160 17	<i>Carbonaceous shale-mudstone</i>	N183° E/14°	B	16,0
0493213 9923156 17	<i>Shale-claystone (I)</i>	N183° E/14°	A	20,4
0493188 9923131 27	<i>Shale-siltstone (I)</i>	N°182 E/13°	A	20,0
0493146 9923154 16	<i>Shale-claystone (II)</i>	N182° E/14°	A	16,0
0493146 9923154 16	<i>Carbonasius clay</i>	N182° E/14°	P	2,1
0493169 9923146 25	<i>Siltstone (I)</i>	N183° E/13°	A	18,6

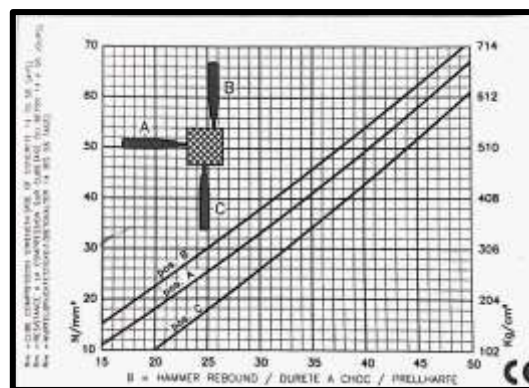
Lokasi Koordinat	Batuan	Strike & Dip	Posisi	Rata – rata nilai rebound
0493105 9923500 11	Claystone (I)	N123° E/6°	A	15,2
0493083 9923436 11	Mudstone (I)	N123° E/7°	B	19,8
0492997 9923536 23	Siltstone (II)	N118° E/10°	B	15,2
0492927 9923426 17	Mudstone (II)	N118° E/11°	A	15,5
0492901 9923453 19	Siltstone (III)	N119° E/10°	A	15,5
0492834 9923303 4	Mudstone (III)	N190° E/10°	B	15,3
0492790 9923145 26	Shale-claystone (III)	N190° E/11°	P	2,2
0492790 9923145 26	Carbonasius clay	N191° E/11°	P	1,7
0492769 9923141 27	Claystone (II)	N190° E/10°	A	16,5
0492756 9923150 27	Batupasir (I)	N190° E/10°	A	16,2
0492839 9923678 32	Shale-siltstone (II)	N191° E/12°	A	22,0
0492725 9923150 27	Mudstone (IV)	N189° E/10°	P	1,7
0492708 9923151 28	Shale-claystone (IV)	N190° E/10°	A	16,4
0492708 9923151 28	Shale-siltstone (III)	N190° E/10°	A	19,9
0492703 9923156 28	Batupasir (II)	N190° E/11°	A	17,9
0492697 9923161 29	Carbonasius clay	N190° E/10°	P	1,5
0492697 9923161 29	Claystone (III)	N190° E/10°	A	16,7
049284 9923160 27	Batupasir (III)	N191° E/11°	A	17,7
0492681 9923154 32	Siltstone (IV)	N190° E/10°	A	17,1
0492669 9923198 32	Batupasir (IV)	N261° E/10°	A	24,3
0492656 9923227 25	Batupasir (V)	N261° E/10°	A	24,6
0492649 9923244 26	Batupasir (VI)	N260° E/11°	A	25,8
0492643 9923263 27	Shale-claystone (V)	N261° E/11°	P	2,5
0492643 9923263 27	Shale-claystone (VI)	N262° E/11°	A	18,0
0492630 9923281 36	Siltstone (V)	N261° E/11°	A	18,0
0492629 9923319 26	Siltstone (VI)	N260° E/10°	A	16,3
0492629 9923319 26	Siltstone (VII)	N259° E/10°	A	16,2

Pengkonversian nilai kuat tekan dalam bentuk kubus ke silinder menggunakan grafik rock models

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan pada masing – masing batuan sebanyak 10 kali uji maka hasil nilai rebound schmidt hammer bisa didapatkan. Nilai rebound yang sudah didapatkan dari pengujian, selanjutnya dapat diubah ke nilai kuat tekan (kubus) dengan cara dipilih hasil nilai rata – rata rebound pada masing – masing batuan ke dalam grafik yang sudah tersedia di buku manual penggunaan Schmidt Hammer dengan

grafik yang digunakan adalah grafik *Rocks Model*.

Dalam menggunakan grafik *Rocks Model* ditentukan dulu nilai rebound yang ingin diubah ke kuat tekan (kubus) lalu tarik garis vertikal dari nilai rebound yang dibaca pada grafik, yaitu hubungan antara nilai rebound dengan kuat tekan batuan yang terdapat pada alat *schmidt hammer* sehingga memotong kurva yang sesuai dengan sudut tembak *schmidt hammer*. Besar kekuatan tekan batu yang diuji dapat dibaca pada sumbu vertikal yaitu hasil perpotongan garis horizontal dengan sumbu vertikal. Untuk contoh penggunaan grafik *Rocks Model* dapat dilihat pada



Gambar 4. Grafik *Rock Models* Untuk Konversi Nilai Kuat Tekan Kubus ke Silinder

Berikut adalah hasil penentuan dari nilai rata – rata *Rebound Value* dari uji *Schmidt Hammer* ke nilai kuat tekan batuan (kubus).

Tabel 2. Penentuan Nilai *Rebound* ke Kuat Tekan (Kubus) Menggunakan Grafik *Rocks Model*

Batuan	Nilai Rata-rata <i>Rebound Value</i>	Kubus
Carbonaceous shale-mudstone	16,0	16,3
Shale-claystone (I)	20,4	18,1
Shale-siltstone (I)	20,0	18
Shale-claystone (II)	16,0	10,1
Carbonasius clay	2,1	
Siltstone (I)	18,6	16
Claystone (I)	15,2	11,2
Mudstone (I)	19,8	22
Siltstone (II)	15,2	16
Mudstone (II)	15,5	12
Siltstone (III)	15,5	12
Mudstone (III)	15,3	15,8
Shale-claystone (III)	2,2	
Carbonasius clay	1,7	
Claystone (II)	16,5	13
Batupasir (I)	16,2	12,8
Shale-siltstone (II)	22,0	21
Mudstone (IV)	1,7	
Shale-claystone (IV)	16,4	13
Shale-siltstone (III)	19,9	18
Batupasir (II)	17,9	14,8
Carbonasius clay	1,5	

Batuan	Nilai Rata-rata Rebound Value	Kubus
Claystone (III)	16,7	13,2
Batupasir (III)	17,7	15
Siltstone (IV)	17,1	14
Batupasir (IV)	24,3	24
Batupasir (V)	24,6	24,2
Batupasir (VI)	25,8	26
Shale-claystone (V)	2,5	
Shale-claystone (VI)	18,0	15
Siltstone (V)	18,0	15
Siltstone (VI)	16,3	12,2
Siltstone (VII)	16,2	12,1

Nilai rebound schmidt hammer yang sudah ditentukan ke nilai kuat tekan masih dalam bentuk kubus sedangkan data yang dibutuhkan seharusnya dalam bentuk silinder, dikonversi ke silinder karena mengacu pada standar yang dibuat Amerika (ASTM) maka bentuk sampel harus berbentuk silinder, begitu juga menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 3.33 bahwa pengujian kuat tekan sampel berbentuk silinder dan dinyatakan dalam satuan MPa. Maka nilai kuat tekan tersebut dikonversi ke silinder dengan rumus:

$$\sigma_c (\text{Silinder}) = \sigma_c (\text{Kubus}) \times 0,82$$

Berikut adalah hasil konversi seluruh nilai kuat tekan kubus pada setiap lapisan batuan ke nilai kuat tekan silinder.

Tabel 3. Hasil Konversi Nilai Kuat Tekan Kubus Ke Silinder

Batuan	Kubus (N/mm ²)	Silinder (MPa)
Carbonaceous shale-mudstone	16,3	13,529
Shale-claystone (I)	18,1	15,02
Shale-siltstone (I)	18	14,94
Shale-claystone (II)	10,1	8,38
Carbonaceous clay (I)		
Siltstone (I)	16	13,28
Claystone (I)	11,2	9,30
Mudstone (I)	22	18,26
Siltstone (II)	16	13,28
Mudstone (II)	12	9,96
Siltstone (III)	12	9,96
Mudstone (III)	15,8	13,11
Shale-claystone (III)		
Carbonaceous clay (II)		
Claystone (II)	13	10,79
Batupasir (I)	12,8	10,62
Shale-siltstone (II)	21	17,43
Mudstone (IV)		
Shale-claystone (IV)	13	10,79
Shale-siltstone (III)	18	14,94
Batupasir (II)	14,8	12,28
Carbonaceous clay (III)		
Claystone (III)	13,2	10,96
Batupasir (III)	15	12,45
Siltstone (IV)	14	11,62

Batupasir (IV)	24	19,92
Batupasir (V)	24,2	20,09
Batupasir (VI)	26	21,58
Shale-claystone (V)		
Shale-claystone (VI)	15	12,45
Siltstone (V)	15	12,45
Siltstone (VI)	12,2	10,13
Siltstone (VII)	12,1	10,04

Pengkonversian nilai kuat tekan ke kecepatan gelombang seismik

Berdasarkan hasil pengujian nilai kuat tekan yang telah diambil di Pit Badak pada setiap lapisan – lapisan batuanya memiliki nilai kuat tekan yang berbeda, yang kemudian dapat diketahui nilai kecepatan gelombang seismik yang dikonversi menggunakan persamaan Karpuz dan selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan metode penggaruan batuan yang efektif.

Nilai kecepatan gelombang seismik pada Pit Badak yang didapat dari hasil konversi nilai kuat tekan batuan memiliki nilai yang berbeda di setiap lapisan batuanya. Pada Pit Badak data nilai kuat tekan batuan yang diambil terdapat beberapa lapisan batuan yang diantaranya adalah mudstone, siltstone, claystone, batupasir, shale-claystone, shale-siltstone, carbonaceous shale-mudstone dan carbonaceous claystone.

Perhitungan konversi nilai kuat tekan batuan hasil pengujian Schmidt Hammer menjadi kecepatan gelombang seismik batuan menggunakan persamaan Karpuz di Pit Badak. Berikut rumus persamaan Karpuz:

$$V_f = 953 \sigma_c^{0.225}$$

Keterangan:

- V_f = Kecepatan Gelombang Seismik
- σ_c = Kuat Tekan (Mpa)

- Lapisan carbonaceous shale-mud

Diketahui: $\sigma_c = 13,366$ Mpa
 $V_f = 953 (13,366)^{0.225}$
 $V_f = 1707,824$ m/s

Tabel 4. Konversi Nilai Kuat Tekan ke Kecepatan Gelombang Seismik

Batuan	Nilai Kuat Tekan (Mpa)	Kecepatan Gelombang Seismik (m/s)
Carbonaceous shale-mudstone	13,529	1712,489
Shale-claystone (I)	15,02	1753,328
Shale-siltstone (I)	14,94	1751,144
Shale-claystone (II)	8,38	1537,651
Carbonaceous clay (I)		
Siltstone (I)	13,28	1705,346
Claystone (I)	9,30	1573,836
Mudstone (I)	18,26	1832,022

Batuan	Nilai Kuat Tekan (Mpa)	Kecepatan Gelombang Seismik (m/s)
Siltstone (II)	13,28	1705,346
Mudstone (II)	9,96	1598,458
Siltstone (III)	9,96	1598,458
Mudstone (III)	13,11	1700,526
Shale-claystone (III)		
Carbonaceous clay (II)		
Claystone (II)	10,79	1627,506
Batupasir (I)	10,62	1621,839
Shale-siltstone (II)	17,43	1812,946
Mudstone (IV)		
Shale-claystone (IV)	10,79	1627,506
Shale-siltstone (III)	14,94	1751,144
Batupasir (II)	12,28	1675,693
Carbonaceous clay (III)		
Claystone (III)	10,96	1633,107
Batupasir (III)	12,45	1680,761
Siltstone (IV)	11,62	1654,872
Batupasir (IV)	19,92	1868,241
Batupasir (V)	20,09	1871,733
Batupasir (VI)	21,58	1902,193
Shale-claystone (V)		
Shale-claystone (VI)	12,45	1680,761
Siltstone (V)	12,45	1680,761
Siltstone (VI)	10,13	1604,414
Siltstone (VII)	10,04	1601,446

Dari hasil perhitungan konversi nilai kuat tekan batuan hasil pengujian *Schmidt Hammer* menjadi kecepatan gelombang seismik batuan menggunakan persamaan Karpuz. Berikut adalah hasil pengklasifikasian metode penggaruan di setiap lapisan batuan berdasarkan nilai kecepatan gelombang seismik menurut usulan Atkinson, 1971.

Tabel 5. Penentuan Metode Penggaruan Dengan Kecepatan Gelombang Seismik

Batuan	Kecepatan Gelombang Seismik (m/s)	Excavation Characteristics
Carbonaceous Shale-mudstone	1712,489	Very Hard Ripping
Shale-claystone (I)	1753,328	Very Hard Ripping
Shale-siltstone (I)	1751,144	Very Hard Ripping
Shale-claystone (II)	1537,651	Very Hard Ripping
Carbonaceous Clay (I)		Free Digging
Siltstone (I)	1705,346	Very Hard Ripping
Claystone (I)	1573,836	Very Hard Ripping
Mudstone (I)	1832,022	Very Hard Ripping
Siltstone (II)	1705,346	Very Hard Ripping
Mudstone (II)	1598,458	Very Hard Ripping
Siltstone (III)	1598,458	Very Hard Ripping
Mudstone (III)	1700,526	Very Hard Ripping
Shale-claystone (III)		Free Digging

Batuan	Kecepatan Gelombang Seismik (m/s)	Excavation Characteristics
Carbonaceous Clay (II)		Free Digging
Claystone (II)	1627,506	Very Hard Ripping
Batupasir (I)	1621,839	Very Hard Ripping
Shale-siltstone (II)	1812,946	Very Hard Ripping
Mudstone (IV)		Free Digging
Shale-claystone (IV)	1627,506	Very Hard Ripping
Shale-siltstone (III)	1751,144	Very Hard Ripping
Batupasir (II)	1675,693	Very Hard Ripping
Carbonaceous Clay (III)		Free Digging
Claystone (III)	1633,107	Very Hard Ripping
Batupasir (III)	1680,761	Very Hard Ripping
Siltstone (IV)	1654,872	Very Hard Ripping
Batupasir (IV)	1868,241	Extremely Hard Ripping
Batupasir (V)	1871,733	Extremely Hard Ripping
Batupasir (VI)	1902,193	Extremely Hard Ripping
Shale-claystone (V)		Free Digging
Shale-claystone (VI)	1680,761	Very Hard Ripping
Siltstone (V)	1680,761	Very Hard Ripping
Siltstone (VI)	1604,414	Very Hard Ripping
Siltstone (VII)	1601,446	Very Hard Ripping

Dari hasil penentuan metode penggaruan menggunakan kecepatan gelombang seismik maka bisa diklasifikasikan metode penggaruan batuan pada setiap elevasi per 10 meter. Berikut adalah hasil metode penggaruan setiap elevasi per 10 meter.

Tabel 6. Pengklasifikasian Metode Penggaruan Per Elevasi 10 Meter

Elevasi (MSL)	Litologi	Elevasi Batuan (Z)	Metode Penggaruan
40 – 30	Shale-siltstone (II)	32	Very Hard Ripping
30 – 20	Shale-siltstone (I)	27	Very Hard Ripping
	Siltstone (I)	25	Very Hard Ripping
	Siltstone (II)	23	Very Hard Ripping
	Shale-claystone (III)	26	Free Digging
	Carbonaceous Clay (II)	26	Free Digging
	Claystone (II)	27	Very Hard Ripping
	Batupasir (I)	27	Very Hard Ripping

Elevasi (MSL)	Litologi	Elevasi Batuan (Z)	Metode Penggaruan
20 – 10	Mudstone (IV)	27	Free Digging
	Shale-claystone (IV)	28	Very Hard Ripping
	Shale-siltstone (III)	28	Very Hard Ripping
	Batupasir (II)	29	Very Hard Ripping
	Carbonaceous Clay (III)	29	Free Digging
	Claystone (III)	27	Very Hard Ripping
	Batupasir (III)	25	Very Hard Ripping
	Batupasir (IV)	25	Extremely Hard Ripping
	Batupasir (V)	26	Extremely Hard Ripping
	Batupasir (VI)	27	Extremely Hard Ripping
	Shale-claystone (V)	27	Free Digging
	Shale-claystone (VI)	27	Very Hard Ripping
	Siltstone (VI)	26	Very Hard Ripping
Siltstone (VII)	26	Very Hard Ripping	
20 – 10	Carbonaceous Shale-mudstone	17	Very Hard Ripping
	Shale-claystone (I)	17	Very Hard Ripping
	Shale-claystone (II)	16	Very Hard Ripping
	Carbonaceous Clay (I)	16	Free Digging
	Claystone (I)	11	Very Hard Ripping
	Mudstone (I)	11	Very Hard Ripping
	Mudstone (II)	17	Very Hard Ripping
	Siltstone (III)	19	Very Hard Ripping
10 – 0	Mudstone (III)	4	Very Hard Ripping

Berikut adalah hasil penyebaran metode penggaruan pada setiap elevasi per 10 meter, yaitu seperti:

- Elevasi 40 s/d 30 MSL
Pada elevasi 40 s/d 30 MSL ini metode penggaruan untuk lapisan batuanya adalah dengan *very hard ripping*.
- Elevasi 30 s/d 20 MSL
Berbeda dari elevasi sebelumnya, di elevasi 30 s/d 20 MSL metode penggaruannya sangat bervariasi yaitu *free digging*, *very hard ripping* dan *extremely hard ripping*.
- Elevasi 20 s/d 10 MSL
Di elevasi 20 s/d 10 MSL metode penggaruannya *free digging* dengan *very hard ripping*.
- Elevasi 10 s/d 0 MSL
Di elevasi 10 s/d 0 MSL ini metode penggaruan untuk lapisan batuanya adalah dengan *very hard ripping*.

Penentuan alat garu sesuai metode penggaruan

Pada penelitian ini menentukan jenis alat penggaruan yang sesuai dengan macam – macam jenis batuan yang berada pada daerah penelitian di *Pit Badak* yaitu batuan sedimen dan nilai kecepatan gelombang seismik yang mengklasifikasi metode penggaruan berdasarkan metode penggaruan oleh Atkinson, 1971. Penentuan alat penggaruan dilihat dari *Handbook of Ripping, 12th Edition* yang diterbitkan dari pabrikan perusahaan Caterpillar, yang mana untuk menentukan alat penggaruan berdasarkan grafik yang tersedia di setiap tipe alat dan terdapat kemampuan alat membongkar suatu massa batuan berdasarkan nilai kecepatan gelombang seismik batuan.

Tabel 7. Penentuan alat pembongkaran merk Caterpillar

Alat Dozer		Nilai Kecepatan Gelombang Seismik (m/s)	Metode Penggaruan
Komatsu	Caterpillar		
D155A	D8R	450-1200	Easy Ripping
D155A	D9R	1200-1500	Hard Ripping
D355A/D375A	D9R/D10R	1500-1850	Very Hard Ripping
D375A	D10R	1850-2150	Extremely Hard Ripping

Setelah dilakukannya penentuan alat penggaruan maka dapat diketahui alat penggaruan yang sesuai dan efektif adalah untuk pabrikan dari Komatsu menggunakan alat garu dengan tipe D155A, D355A dan D375A lalu untuk pabrikan dari Caterpillar menggunakan alat garu dengan tipe CAT D8R, D9R dan D10R.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan di *Pit Badak* mengenai studi kemampugaruan berdasarkan nilai kecepatan gelombang seismik batuan maka dapat disimpulkan:

1. Nilai kuat tekan setiap lapisan batuan di *Pit Badak* berdasarkan uji *Schmidt Hammer* memiliki nilai dari < 10 hingga 58 MPa, dan nilai kecepatan gelombang seismik batuan diperoleh dari konversi nilai kuat tekan dengan persamaan Karpuz di *Pit Badak* adalah 1537,651 hingga 1902,193 m/s.
2. Rekomendasi untuk metode penggaruan di *Pit Badak* pada masing – masing batuan adalah sebagai berikut:

- *Mudstone* : Lapisan *mudstone* memiliki nilai kecepatan gelombang seismik dari 1598,458 hingga 1832,022 m/s dan dari usulan Atkinson (1971) bahwa lapisan ini memiliki metode penggaruan adalah *Very Hard Ripping*
 - *Siltstone* : Lapisan *siltstone* memiliki nilai kecepatan gelombang seismik dari 1598,458 hingga 1705,346 m/s dan dari usulan Atkinson (1971) bahwa lapisan ini memiliki metode penggaruan adalah *Very Hard Ripping*
 - *Claystone* : Lapisan *claystone* memiliki nilai kecepatan gelombang seismik dari 1573,836 hingga 1633,107 m/s dan dari usulan Atkinson (1971) bahwa lapisan ini memiliki metode penggaruan adalah *Very Hard Ripping*.
 - Batupasir : Lapisan Batupasir memiliki nilai kecepatan gelombang seismik dari 1621,839 hingga 1902,193 m/s dan dari usulan Atkinson (1971) bahwa lapisan ini memiliki metode penggaruan adalah *Very Hard Ripping* dan *Extremely Hard Ripping*.
 - *Shale-claystone* : Lapisan *shale-claystone* memiliki nilai kecepatan gelombang seismik dari 1537,651 hingga 1753,328 m/s dan dari usulan Atkinson (1971) bahwa lapisan ini memiliki metode penggaruan adalah *Very Hard Ripping*.
 - *Shale-siltstone* : Lapisan *shale-siltstone* memiliki nilai kecepatan gelombang seismik dari 1751,144 hingga 1812,946 m/s dan dari usulan Atkinson (1971) bahwa lapisan ini memiliki metode penggaruan adalah *Very Hard Ripping*.
 - *Carbonaceous Shale-mudstone* : Lapisan *carbonaceous shale-mudstone* memiliki nilai kecepatan gelombang seismik 1712,489 m/s dan dari usulan Atkinson (1971) bahwa lapisan ini memiliki metode penggaruan adalah *Very Hard Ripping*.
 - *Carbonaceous Clay*: Lapisan *carbonaceous clay* tidak memiliki nilai kecepatan gelombang seismik karena materialnya yang terlalu lunak untuk dilakukannya pengujian *Schmidt Hammer* maka bisa dilakukan dengan *Free Digging*.
3. Rekomendasi alat garu yang sesuai dengan metode penggaruannya untuk di *Pit Badak* adalah:
- *Easy Ripping*: Komatsu D155A, Caterpillar D8R
 - *Hard Ripping*: Komatsu D155A, Caterpillar D8R
 - *Very Hard Ripping*: Komatsu D355A/D375A, Caterpillar D9R/D10R
 - *Extremely Hard Ripping*: Komatsu D375A, Caterpillar D10R

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1998. *for the Tropical Engineering Field*. Universitas Teknologi Malaysia.
- Aydin, A., 2008. *ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt hammer Rebound Hardness: Revised Version. The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization*. Elsevier Ltd, pp. 24-33.
- Aydin, A., and Basu, A. 2005. *The Schmidt hammer In Rock Material Characterization. Engineering Geology*, 81, pp. 1-14.
- Balfas, M.D., 2015. *Geologi Untuk Pertambangan Umum*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Farah, D.M. 2016. *Analisis Kemampugaruan Massa Batuan Berdasarkan Kecepatan Gelombang Seismik Empiris Batuan Pada PT. Kitadin Kalimantan Timur*. Jurnal Pertambangan.
- ISRM, 2013. *Rippability Assessment of A Limestone Deposit Vol. 2 No. 2*. Department of Mining Engineering, National Institute of Technology Karnataka: India.
- Goudie, A.S. 2006. *The Schmidt hammer in Geomorphological Research. Progress in Physical Geography*, 30, pp. 703–718.
- Kramadibrata, S., 1996. *The Influence of Rock Mass And Intact Rock Properties On The Design Of Surface Mine With Particular Reference To The Excavability Of Rock*. Curtin University: Australia.
- Krynine, Dimitri P. dan Judd, William R., 1998. *Principles of Engineering Geology and Geotechnics*. Asia Printograph: Delhi.
- Santoso, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Departemen Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral ITB: Bandung.
- Singh, R.N., 1983. *Testing of Rocks Samples from Underwater Trenching Operations of Folkstone for the Central Electricity Generating Board*. Dec. Report: Unpublished.
- Soetoto, S.U., 2013. *Geologi Dasar*. Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT) Ombak: Yogyakarta.
- Susilawati, 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Universitas Sumatra Utara: Sumatra Utara.
- Sulistiyana, W., 2011. *Perencanaan Tambang 2*. Jurusan Teknik Pertambangan UPN. Anugerah Print: Yogyakarta.
- Yilmaz, I., and Sendir, H. 2002. *Correlation of Schmidt Hardness with Uniaksial Compressive Strength and Young's Modulus in Gypsum from Sivas*. *Engineering Geology*, 66, pp. 211– 219.

Nazir, R., Momeni, E., Armaghani, D.J., and Amin, M.F.M. 2013. *Prediction of Uniaksial Compressive Strength of Limestone Rock Samples Using L-Type Schmidt hammer. Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, pp. 1767-1775.