



KAJIAN KEMAMPUGARUAN BATUAN MENGGUNAKAN METODE *SEISMIC*, *GRAPHIC* DAN *GRADING* PADA TAMBANG BATUPASIR FORMASI BALIKPAPAN KEC. LOA JANAN KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA

Ashabul Kahfi

Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman,
Jl.Sambaliung No.09 Kampus Unmul Gn.Kelua Samarinda 75119 Kalimantan Timur
Email : Kahfilang@gmail.com

Abstrak

Pemilihan metode pembongkaran batuan dalam operasi penambangan mutlak akan mempengaruhi efisiensi dan efektifitas pekerjaan, perencanaan dan biaya operasional. Dalam menentukan metode pembongkaran material, perlu adanya kajian kemampugaruan. Kemampugaruan merupakan suatu ukuran apakah material dapat digaru dengan alat gali konvensional. Penelitian ini menggunakan metode tidak langsung (*Indirect method*) yaitu metode *seismic* (*seismik*), *graphic* (*grafik*) dan *grading* (*Pembobotan*) untuk mengkaji kemampugaruan batuan pada tambang Batupasir Formasi Balikpapan di Kec. Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara. Metode penelitian yang digunakan adalah metode deduktif yang terdiri dari tahapan pra lapangan, lapangan dan pasca lapangan. Hasil kemampugaruan menggunakan metode *seismic* menunjukkan *Rippability Assesment Moderate Ripping-Hard Ripping* dengan *Machine Selection D8- Heavy Ripper*. Hasil kemampugaruan menggunakan metode *Graphic* menunjukkan *Rippability Assesment Ripping-Hard Ripping* dengan *Machine Selection Dozer D8*. Hasil kemampugaruan menggunakan metode *Grading* menunjukkan *Rippability Assesment Easy Ripping-Hard Ripping* dengan *Machine Selection Dozer D7-D10*. Hasil secara umum massa batuan perlu dilakukan penggaruan (*Ripping*) dengan rata-rata rekomendasi alat yaitu *Dozer D8*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dalam melakukan kajian kemampugaruan pada suatu massa batuan yang sama, hasil yang didapatkan ketika menggunakan metode satu belum tentu akan sama dengan hasil dengan metode lain.

Kata Kunci : Kemampugaruan, Metode *Seismic*, *graphic* dan *grading*, Pembongkaran Batuan

1. PENDAHULUAN

Kegiatan Pertambangan dikenal dengan kegiatan yang mempunyai resiko kerugian tinggi. Selain resiko kerugian yang tinggi, kegiatan pertambangan juga merupakan kegiatan yang padat modal, padat teknologi sehingga kegiatan pertambangan dianggap sebagai hal yang unik dan membutuhkan usaha yang lebih untuk dapat menghasilkan keuntungan.

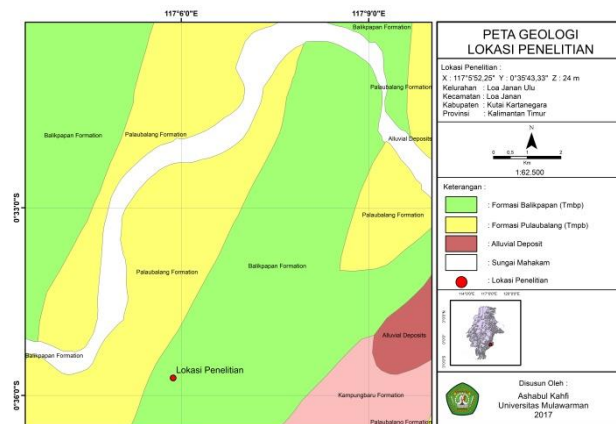
Pemilihan metode dalam operasi penambangan mutlak akan mempengaruhi efisiensi dan efektifitas pekerjaan serta perencanaan dan biaya operasional. Penggalian langsung (*Direct Digging*), Penggaruan (*Ripping*) dan peledakan (*Blasting*) adalah tiga metode utama yang digunakan dalam pembongkaran dan pemberaian massa batuan.

Dalam menentukan metode yang tepat dalam pembongkaran material, perlu adanya kajian kemampugaruan atau kemampugalian batuan. Ada 2 metode dalam kajian kemampugaruan yaitu metode langsung (*Direct method*) dan metode tak langsung (*Indirect method*).

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kemampugaruan batuan menggunakan dengan tidak langsung yaitu metode seismik (usulan Caterpillar (1958), Atkinson (1971), Bailey (1975) dan Church (1981)), grafis (usulan Franklin et al. (1971), Bozdog (1988) dan Pettifier & Fookes (1994)), dan *grading* (usulan Weaver (1975), Muftuoglu (1983), Smith (1986), Abdullatif & Cruden (1983), Singh et al. (1987), Karpuz (1990) dan Basarir & Karpuz (2004)). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kemampugaruan batuan di lokasi penelitian berdasarkan metode yang digunakan dengan rekomendasi alat yang perlu digunakan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Lokasi Penelitian



Gambar 1. Peta geologi lokasi penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Samarinda Kalimantan, Provinsi Kalimantan Timur terdiri dari beberapa formasi batuan, yaitu Formasi Kampungbaru, Formasi Balikpapan, Formasi Pulauabang, Formasi Bebuluh, Formasi Pamaluan, dan Alluvium. Lokasi penelitian berada pada formasi Balikpapan (Gambar 1). Formasi Balikpapan tersusun dari perselingan batupasir kuarsa, batulempung lanauan dan serpih dengan sisipan napal, batugamping dan batubara (Supriatna dan Rustandi, 1995).

2.2 Kajian Kemampugaran Batuan

Kemampugaran merupakan suatu ukuran apakah material dapat digaru, dengan alat gali konvensional (Hadjigeorgiou dan Poulin, 1998). Kemampugaran didasarkan pada sifat-sifat material dan kondisi geologi. Metode-metode ini banyak digunakan oleh para peneliti dalam menentukan kemampugaran batuan yang dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

- Metode langsung
- Metode tidak langsung

Metode langsung dilakukan dengan cara uji coba di lapangan untuk estimasi hasil produksi penggaruan dari suatu alat. Sebuah alat garu dihitung bobot dan *horse power*-nya, lalu dibandingkan dengan tingkat produksi. Jika uji coba di lapangan tidak memungkinkan, maka metode tidak langsung menjadi pilihan untuk estimasi kemampugaran. Metode tidak langsung terbagi menjadi tiga, yaitu:

- Metode aproksimasi berdasarkan kecepatan seismik, antara lain diusulkan oleh :
 - Caterpillar (1958)
 - Atkinson (1971)
 - Bailey (1975)
 - Church (1981)
- Metode grafis, antara lain diusulkan oleh :
 - Franklin, Broch dan Walton (1971)
 - Bozdog (1988)
 - Pettifer dan Fookes (1994)

c. Metode *grading* (penilaian terhadap parameter batuan yang diukur), antara lain diusulkan oleh :

- Weaver (1975)
- Kirsten (1982)
- Muftuoglu (1983)
- Abdullatif dan Cruden (1983)
- Smith (1986)
- Singh, Denby dan Egretli (1987)
- Karpuz (1990)
- MacGregor dkk (1994)
- Kramadibrata (1996)
- Basarir dan Karpuz (2004)

(Anonim,1998)

Berikut ini adalah beberapa peneliti yang mengusulkan metode dalam kajian kemampugaran batuan beserta parameter-parameter yang digunakan.

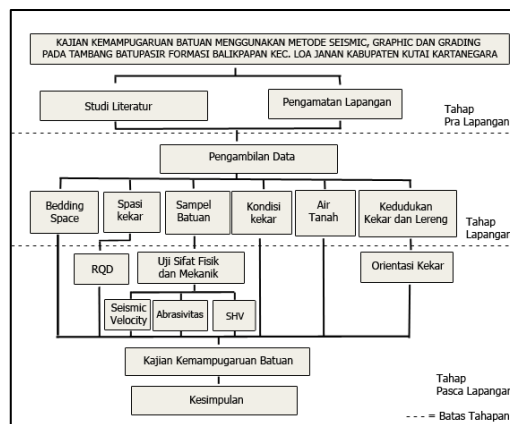
Tabel 1. Parameter-parameter yang digunakan pada penentuan penggalian dari beberapa peneliti

Parameters	SV	Grain size	Strength				RQD	Joint/Discontinuity								BedS	A	W
			UCS	Point Load Test	SH	TS		No of joint sets	Volumetric joint count	Joint roughness	Joint alteration	Joint orientation	Joint spacing	Joint continuity	Joint gouge			
Caterpillar (2004)	X																	
Atkinson (1971)	X																	
Franklin (1971)			X	X									X					X
Bailey (1975)	X																	
Weaver (1975)	X		X									X	X		X			X
Church (1981)	X																	
Kirsten (1982)			X				X	X	X	X	X	X	X					
Muftuoglu (1983)			X	X									X			X		X
Abdul Latif et al. (1983)				X									X					
Smith (1986)			X									X	X	X	X			X
Komatsu (1987)	X																	
Singh (1987)	X			X		X (PLT)							X			X		X
Bozdog (1988)				X									X					
Karpuz (1990)	X		X		X								X					X
MacGregor et al. (1993)	X	X	X				X		X			X			X			X
Petifer and Fookes (1994)				X							X	X						X
Kramadibrata (1998)			X	X			X		X				X		X		X	
Hadjigeorgiou and Poulis. 1998)				X			X	X										X
Basarir and Karpuz (2004)	X		X	X	X							X						
Popularity (no)	10	1	9	9	2	1	2	3	2	3	1	4	13	1	3	2	2	9

Remarks: SV-seismic velocity; UCS-uniaxial compressive strength; PLT-point load test; SH-Schmidt hammer; TS-tensile strength; RQD -rock quality designation; BedS-bedding spacing; A-abrasiveness; W-weathering.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan adalah Metode Deduktif. Metode tersebut dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu tahap pra lapangan, tahap lapangan, dan tahap pasca lapangan. Untuk alur penelitian dan data yang diambil serta diuji dijelaskan pada Gambar 2.

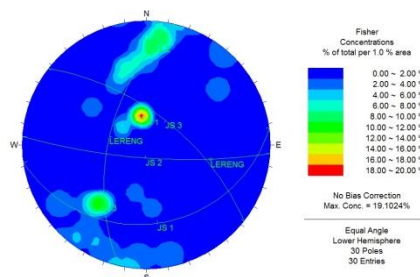


Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBASAN

4.1 Hasil Proyeksi Kekar dan Uji Sifat Fisik Batuan

Dari hasil pengukuran kekar dengan panjang *Scanline* 12 meter, didapatkan 30 kekar dan kedudukan lereng N 193°E/56°. Kekar tersebut berada pada 3 *Joint Set* seperti pada Gambar 3. Dari massa batuan yang diteliti, diambil 3 sampel batuan untuk digunakan dalam uji sifat fisik. Berikut ini adalah hasil uji sifat fisik batuan (Tabel 2).



Gambar 3. Proyeksi Stereografis Kekar

Tabel 2. Hasil Uji Sifat Fisik Batuan

Kode	Jenis Batuan	γ_n gr/cm ³	γ_d gr/cm ³	γ_w gr/cm ³	SG	ω_n %	ω_s %	S %	n %	e
SS1	Sandstone	2,05	1,85	2,09	2,4	10,35	12,81	80,85	23,74	0,31
SS2	Sandstone	2,07	1,88	2,12	2,5	9,81	12,81	76,6	24,1	0,32
SS3	Sandstone	2,04	1,87	2,11	2,5	8,92	12,7	70,2	23,74	0,31
Rata-rata		2,053	1,867	2,107	2,5	9,693	12,77	75,88	23,86	0,31

4.2 Kajian Kemampugaran

a. Metode Seismik (*Seismic Method*)

Kecepatan gelombang seismik didapatkan dengan secara empiris menggunakan persamaan karpuz sebagai berikut.

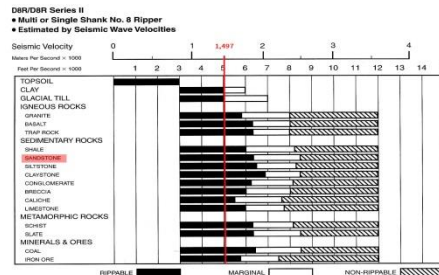
Nilai UCS (σ_c) : 8,0 MPa

$$V_f = 953 \sigma_c^{0,225}$$

$$= 953 (8,0)^{0,225} = 1497,824 \text{ m/s}$$

1) Caterpillar

Dari grafik di atas, menyatakan bahwa massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) dengan menggunakan Dozer D8R.



Gambar 4. Kemampuan Caterpillar

2) Atkinson

Berdasarkan nilai kecepatan gelombang seismik secara empiris yaitu 1497,824 m/s, sesuai usulan Atkinson (1971) maka massa batuan tersebut bersifat *Rippable* (dapat digaru) dengan *Excavability Assesment* yaitu *Hard Ripping*.

3) Bailey

Berdasarkan nilai kecepatan gelombang seismik secara empiris yaitu 1497,824 m/s, sesuai usulan Bailey (1975) maka massa batuan tersebut bersifat *Rippable* (dapat digaru) dengan *Diggability Class* yaitu *Moderate Ripping*.

4) Church

Berdasarkan nilai kecepatan gelombang seismik secara empiris yaitu 1497,824 m/s, sesuai usulan Church (1981) maka massa batuan tersebut bersifat *Rippable* (dapat digaru) dimana *Diggability Class* dengan *medium weight ripper* yaitu *Hard Ripping* dan dengan *Heavy weight ripper* yaitu *Medium Ripping*.

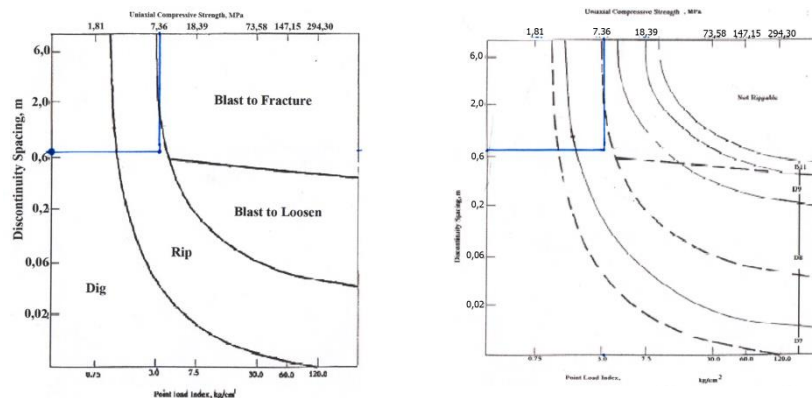
b. Metode Grafis (*Graphic Method*)

1) Franklin, Broch dan Walton

Berdasarkan hasil penelitian, nilai UCS yaitu 8,0 MPa dan spasi kekar yaitu 0,74 meter sehingga massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) (Gambar 4 (a)).

2) Bozdog

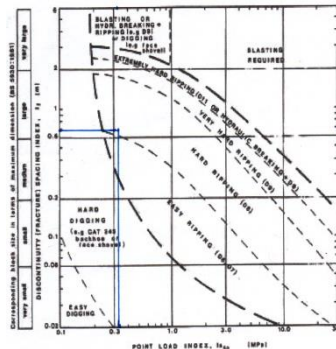
Berdasarkan hasil penelitian, nilai UCS yaitu 8,0 MPa dan spasi kekar yaitu 0,74 meter sehingga massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) dan *Machine Selection* yaitu Dozer D8 (Gambar 4 (b)).



Gambar 5. (a) Usulan Franklin dkk; (b) Usulan Bozdog

3) Pettifier dan Fookes

Berdasarkan hasil penelitian, nilai UCS yaitu 8,0 MPa sehingga secara empiris nilai Point Load Index yaitu 0,347 MPa dan spasi kekar yaitu 0,74 meter sehingga massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) dimana *Excavability Assesment Hard Ripping* dan *Machine Selection* yaitu Dozer D8 (Gambar 6).



Gambar 6. Kemampugaruan Pettifier dan Fookes

c. Metode Pembobotan (*Grading Method*)

1) Weaver

Berdasarkan hasil pembobotan usulan weaver (1975), didapatkan nilai 34,3 sehingga massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) dimana *Excavability Assesment Hard Ripping* dan *Tractor Selection* Dozer D7/D8 (Tabel 3).

2) Muftuoglu

Hasil pembobotan dengan usulan Muftuoglu (1983), didapatkan nilai 69,67 sehingga massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) dengan *Ease Digging Difficult* dan *Excavation Method* berupa *Ripping* dengan *Ripper* CAT D10 dan *Shovel Ripping* dengan *Shovel* CAT 245 atau O&K RH240 (Tabel 4).

Tabel 3. Kemampugaruan Weaver

Parameter	Value/Condition	Rating
Seismic Velocity (m/s)	1497,824	12
Rock Hardness (MPa)	8	1
Rock Weathering	Weathered-Highly weathered	3,93
Discontinuity Spacing (mm)	740	10
Discontinuity Continuity	Continous some gouge	0
Joint gouge	No Separation, slighty separation and gouge<5 mm	4,37
Strike/Dip Orientation	Very Favourable	3
	Total Rating	34,3
Rippability Assesment	Hard Ripping	
Tractor Selection	D7/D8	



Tabel 4. Kemampugaruan Muftuoglu

Parameter	Value/Conditions	Rating	Class	IV
Weathering	Moderately-Highly	9,67	Ease Digging	Difficult
Strength (UCS)(MPa)	8	0		Ripping Ripper CAT D10
Joint Spacing (m)	0,74	30	Excavation Method	Hydarulic Shovel
Bedding Spacing (m)	>1,5	30		CAT 245 or O&K RH240
Total		69,67		

3) Abdullatif dan Cruden

Hasil pembobotan *Rock Mass Rating* (RMR) menunjukkan nilai 65,13 sehingga menurut usulan Abdullatif dan Cruden (1983) massa batuan tersebut bersifat *Rippable* (dapat digaru) dengan *Excavability Assesment Ripping* (Tabel 5).

4) Smith

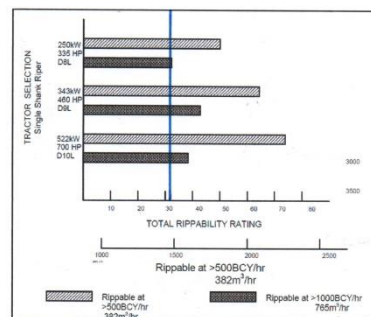
Hasil pembobotan menurut usulan Smith (1986) menunjukkan bobot 32,3 sehingga mendeskripsikan massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) dan *Machine Selection Dozer D8L* (Tabel 6 dan Gambar 7).

Tabel 5. Pembobotan *Rock Mass Rating*

Parameter	Nilai Kekar	Bobot
Kuat Tekan (UCS)	8	2
RQD	99,16%	20
Kondisi Airtanah	Lembab-Kering	14,17
Jarak Kekar	0,74 m	15
Kondisi Kekar	Persistensi Kekar	3,8
	Kekasaran	3,27
	Jarak <i>aperture</i> kekar	0,83
	Material Pengisi	4,13
Orientasi Kekar	Pelapukan	1,93
	Sangan Untung	N 151,4°E/58,8°
Jumlah Bobot		65,13
Kelas Massa Batuan		II

Tabel 6. Kemampugaruan Smith

Parameter	<i>Rock Hardness</i> (MPa)	<i>Rock Weathering</i>	<i>Joint Spacing</i> (mm)	<i>Joint Continuity</i>	<i>Joint gouge</i> (mm)	<i>Strike/Dip orientation</i>	Total
<i>Value/Condition</i>	8,0	<i>Highly-Completely</i>	740	<i>Continous some gouge</i>	<i>No Separation, slighty separation and gouge<5 mm</i>	<i>Very Favourable</i>	32,3
<i>Rating</i>	1	3,93	20	0	4,37	3	



Gambar 7. Machine Selection

5) Singh, Denby dan Egretli

Hasil Pembobotan menurut usulan Singh et al (1987) menunjukkan nilai 63,45 sehingga mendeskripsikan massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) dengan *Rippability Assesment Difficult* dengan *Recommended Dozer Heavy Duty* (Tabel 7 dan Tabel 8).

Tabel 7. Kemampugaruan Singh et al.

Parameter	UCS (MPa)	Weathering	Seismic Vel.(m/s)	Abrasivness	Disc. Spacing (m)	Total
Value/ Conditions	8	Moderately-Highly	1497,824 m/s	Extremely	0,74	63,45
Rating	9	5,87	9,18	20	19,4	

Tabel 8. Recommendation Dozer

Rippability Asst.	Recom. Dozer	Output (kW)	Weight (t)
Difficult	Class 3/ Heavy Duty	250-350	35-55t

6) Karpuz

Hasil pembobotan menurut usulan Karpuz (1990) menunjukkan nilai 32,33 sehingga mendeskripsikan massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) yang termasuk *Excavability Classification Class 2 (Medium)* (Tabel 9 dan Tabel 10).

Tabel 9. Kemampugaruan Karpuz

Parameters	UCS (MPa)	Joint Spacing (cm)	P wave velocity (m/s)	Weathering	Hardness (SHV)	Total
Value/ Condition	8	74	1497,824 m/s	Moderately-Highly	10,15	32,33
Rating	5	15	5	4,33	3	

Tabel 10. Machine Selection

Rating	Class	Description	Power Shovel	Hyd. Excv.	Ripping	Drill rate(m/min)	Spes. Energy (kg/m3)
32,33	2	Medium	Blast Required	Direct Digging	D8/D9	1,48	130-220

7) Basarir dan Karpuz

Hasil pembobotan menurut usulan Basarir dan Karpuz (2004) menunjukkan nilai 34,75 sehingga mendeskripsikan massa batuan bersifat *Rippable* (dapat digaru) yang termasuk *Excavability Classification Class 2 (Easy)* (Tabel 11 dan Tabel 12).

Tabel 11. Kemampugaruan Basarir dan Karpuz

Parameters	UCS (MPa)	Joint Spacing (m)	P wave velocity (m/s)	Hardness (SHV)	Total
Value	8	0,74 m	1497,824 m/s	10,15	34,75
Rating	8,9	6,36	17,49	2	

Tabel 12. *Rippability* Description

Class	Description	Rating	Production for D8 (m ³ /h)	Penetration (%)
2	Easy	32,95	900-1300	75-90

4.3 Pembahasan

Berikut ini adalah tabel hasil kajian kemampugaruan dengan beberapa metode pada tambang Batupasir Formasi Balikpapan di Kec. Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara (Tabel 13). Hasil kemampugaruan menggunakan metode *seismic* menunjukkan *Rippability Assesment Moderate Ripping-Hard Ripping* dengan *Machine Selection* Dozer D8- *Heavy Ripper*. Hasil kemampugaruan menggunakan metode *Graphic* menunjukkan *Rippability Assesment Ripping- Hard Ripping* dengan *Machine Selection* Dozer D8. Hasil kemampugaruan menggunakan metode *Grading* menunjukkan *Rippability Assesment Easy Ripping-Hard Ripping* dengan *Machine Selection* Dozer D7-D10. Hasil penelitian menunjukkan pada massa batuan tersebut perlu dilakukan penggaruan (*Ripping*) dengan alat yang garu yang paling banyak direkomendasikan yaitu Dozer D8. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa apabila dilakukan kajian kemampugaruan batuan pada massa batuan yang sama dengan beberapa metode yang digunakan, maka akan berpotensi mendapatkan hasil kemampugaruan dan rekomendasi alat yang bermacam-macam. Hal ini dikarenakan setiap usulan mempunyai parameter dengan bobot dan tingkat kemampugaruan masing-masing sehingga dalam melakukan kajian kemampugaruan, hasil yang didapatkan ketika menggunakan salah satu metode belum tentu sama akan mendapatkan hasil yang sama ketika dengan metode lainnya.

Tabel 13. Hasil Kajian Kemampugaruan

Methods	Researcher of method	Value/ Rating	Excavability Asst.	Machine Selection/ Description
<i>Seismic</i>	Caterpillar (1958)	1497,824 m/s	<i>Ripping</i>	Dozer D8R
	Atkinson (1971)		<i>Hard Ripping</i>	-
	Bailey (1975)		<i>Moderate Ripping</i>	-
	Church (1981)		<i>Hard Ripping</i> dan <i>Medium Ripping</i>	HR untuk <i>Medium Ripper</i> dan MR untuk <i>Heavy Ripper</i>
<i>Graphic</i>	Franklin et al. (1971)	-	<i>Ripping</i>	-
	Bozdag (1988)	-	<i>Ripping</i>	Dozer D8
	Pettifier dan Fookes (1994)	-	<i>Hard Ripping</i>	Dozer D8
<i>Grading</i>	Weaver (1975)	34,3	<i>Hard Ripping</i>	Dozer D7/D8
	Muftuoglu (1983)	69,67	<i>Difficult Ripping</i>	Dozer D10, Shovel CAT 245 atau O&K RH240
	Abdullatif dan Cruden (1983)	65,13	<i>Ripping</i>	-
	Smith (1986)	38,3	<i>Ripping</i>	Dozer D8L
	Singh et al. (1987)	63,45	<i>Difficult Ripping</i>	<i>Heavy Duty</i> (output 250-350 kW/ Weight 35-55)
	Karpuz (1990)	32,33	<i>Medium Ripping</i>	Dozer D8/D9
	Basarir dan Karpuz (2004)	34,75	<i>Easy Ripping</i>	Dozer D8 (Production 900-1300 m ³ /h)



5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

- Kajian kemampuan menggunakan seismik dengan kecepatan 1497,824 m/s menunjukkan hasil *Rippability Assesment Moderate Ripping- Hard Ripping* dengan *Machine Selection Dozer D8- Heavy Ripper*.
- Kajian kemampuan menggunakan metode grafik menunjukkan *Rippability Assesment Ripping- Hard Ripping* dengan *Machine Selection Dozer D8*.
- Kajian Kemampuan menggunakan metode pembobotan mendapatkan hasil *Rippability Assesment Easy Ripping –Hard Ripping* dengan *Machine Selection Dozer D7-D10*.
- Secara umum massa batuan yang dikaji perlu dilakukan penggaruan (*Ripping*) dengan alat yang garu yang paling banyak direkomendasikan yaitu Dozer D8.
- Hasil kajian kemampuan menggunakan salah satu metode belum tentu akan mendapatkan hasil yang sama ketika menggunakan metode yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1998, *For The Tropical Rock Engineering Field*, Universiti Teknologi Malaysia, Johor.
- Anonim, 2008, Lecture 13 : Earth Materials , <http://www.ucl.ac.uk/EarthSci/people/sammonds/13%20Earth%20Materials.pdf>, diakses pada 16 Juni 2017.
- Abdullatif, O.M., dan Cruden, D.M., 1983, The relationship between rock mass quality and ease of excavation, *Bulletin International Association of Engineering Geology*, Vol. 28:183-187.
- Basarir, H. dan Karpuz, C., 2004, A rippability classification system for marls in lignite mines, *Journal of Engineering Geology*, Vol. 74, Issues 3-4: 303-318.
- Bineawski, Z.T., 1973, *Engineering Rock Mass Classification : a Complete Manua for Engineers and Geologist in Mining, Civil and Petroleum Engineering*, Jhon Wiley & Sons, Inc, Canada.
- Caterpillar, T.C., 2001, *Caterpillar Performance Handbook*, Illinois, Pretoria.
- Hadjigeorgiou, J. dan Poulin, R., 1998, Assessment of ease of excavation of surface mines, *Journal of Terramechanics*, Pergamon, vol. 35 :137-153.
- Hu, Wang., Lin, Hang dan Ping, Cao, 2016, Correlation of UCS rating with Schmidt Hammer Surface Hardness for Rock Mass Classification, *Article in Rock Mechanics and Rock Engineering* , <http://www.researchgate.net/publication/304997106> , diakses pada 3 Agustus 2017.
- Hudson, J. A., 1993, *Comprehensive Rock Engineering*, Pergamon Press Ltd, UK.
- Kramadibrata, Suseno, 1996, The Influence of Rock Mass and Intact Rock Properties on The Design of Surface Mines with Particular Reference to the Excavability of Rock, *PhD Thesis*, Curtin University of Technology, Australia.
- Muftuoglu, Y.V., 1983, A study of factors affecting diggability in British surface coal mines, *PhD Thesis*, University of Nottingham, England.
- Pettifer, G.S., dan Fookes, P.G., 1994, A Revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, vol. 27 : 145-164.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., dan Watimena, R. K., 2013, *Mekanika Batuan*, ITB Press, Bandung.
- Supriatna, Sukardi., dan Rustandi, E., 1995, *Peta Geologi Regional Samarinda, Kalimantan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Weaver, J.M., 1975, Geological factors significant in the assessment of rippability, *Civil Engineering In South Africa*, Vol. 17, 12: 313-316.