

Analisis Metode Penggalian Batuan Berdasarkan Kriteria Indeks Kekuatan Batu (Franklin) di *Site* Penambangan Batu *Dolomite* PT. Bakapindo, Jorong Durian, Nagari Kamang Mudiak, Kecamatan Kamang Magek, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat

Wahyu Kurniawan^{1,*} and Bambang Heriyadi¹

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*wahyuekurniawan.smk@gmail.com

Abstract. PT. Bakapindo is engaged in dolomite mining. The mining method applied is the Open Pit quarry method. Currently the mining process is carried out by PT. Bakapindo applies the blasting method to release dolomite rock from its parent rock. In determining the right method for dismantling material, it is necessary to study rock capability. In this study, the method applied to determine the suitable excavation method is by Franklin's rock strength index criteria chart. The data used in the study are discontinuity field conditions taken with the scanline system and rock samples used to test rock strength by means of Point Load Index. Total data on discontinuity field conditions measured in rock mass is 201 data. The results of the point load index test obtained the Franklin (Is) average index value of 4.740MPa. Based on the results of the analysis of rock mass conditions at PT. Bakapindo found that rock mass rating (RMR) of 67 was classified as class II (Good rock), the fracture index value was 0.091m. Based on Franklin's rock strength index criteria graph, it can be concluded that suitable excavation methods are carried out at PT. Bakapindo is by blasting cracks.

Keywords: mining method, Index Franklin, rock mass rating (RMR) , Discontinuity, Point Load Index

1. Pendahuluan

PT. Bakapindo merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang penambangan batu kapur dengan sistem tambang terbuka. Perusahaan ini terletak di Nagari Kamang Magek, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Secara geografis berada diantara $00^{\circ} 10' 00''$ sampai $00^{\circ} 15' 00''$ Lintang Selatan dan $100^{\circ} 20' 00''$ sampai $100^{\circ} 25' 00''$ Bujur Timur.

Saat ini proses penambangan yang dilakukan oleh PT. Bakapindo menerapkan metode blasting untuk melepaskan batuan dolomit dari batuan induknya. Untuk melakukan kegiatan peledakan dibutuhkan pemboran lubang ledak serta bahan peledak dan perlengkapan lainnya. Hal ini tentunya menjadi tambahan biaya penambangan PT. Bakapindo.

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.^[1]

Kemampugalian merupakan suatu ukuran apakah material dapat digaru, dengan alat gali konvensional. Untuk menentukan tingkat kemampugalian suatu massa batuan, maka perlu studi atau investigasi lapangan seperti pengumpulan data struktur, tingkat pelapukan dan air tanah. Hal ini dilakukan guna mengklasifikasikan suatu massa batuan ke dalam kelas tertentu. Dari kelas-kelas tersebut, akan diketahui seberapa besar kemampugalian massa batuan tersebut. Selain itu, akan diperoleh rekomendasi metode penggalian dan alat yang sesuai untuk digunakan^[2]. Metode penggalian sangat dipengaruhi oleh sifat material terutama kekerasannya.

Selain tingkat kekerasan batuan dolomit yang berada dibawah batu gamping. Hasil pengamatan menunjukkan

bahwa berdasarkan kondisi geologi massa batuan di PT. Bakapindo banyak terdapat bidang lemah berupa kekar. Kehadiran bidang lemah dapat melemahkan massa batuan itu sendiri.

Karenanya proses penambangan yang dilakukan oleh PT. Bakapindo menerapkan metode blasting untuk melepaskan batuan dari batuan induknya perlu dikaji ulang. Klasifikasi massa batuan memiliki dua parameter, yaitu Fracture Index dan *Point Load Index* (PLI). Fracture Index dipakai sebagai ukuran karakteristik diskontinuiti dan didefinisikan sebagai jarak rata-rata Fracture dalam sepanjang bor inti atau massa batuan. Kedua parameter ini digambarkan dalam satu diagram untuk menduga kemampugalian suatu massa batuan dimana (*point load strength index*) Is untuk menyatakan *Point Load Index* (PLI).

Berdasarkan uraian di atas penulis mengangkat judul "Analisis Metode Penggalian Batuan Berdasarkan Kriteria Indeks kekuatan Batu (Franklin) di Site Penambangan Batu Dolomite PT. Bakapindo, Jorong Durian, Nagari Kamang Mudiak, Kecamatan Kamang Magek, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat" sebagai penelitian tugas akhir.

2. Lokasi Penelitian

2.1. Lokasi penambangan

PT. Bakapindo dilihat dari sisi geografis, Nagari Kamang Magek berada diantara 000 10' 00" sampai 000 15' 00" Lintang Selatan dan 1000 20' 0" sampai 1000 25' 0" Bujur Timur dengan ketinggian pada 900 m dari permukaan laut.

2.2. Kondisi Geologi

Dilihat dari sisi geografis, PT Bakapindo yang berada sejajar dengan bukit barisan formasi batuan yang dijumpai pada daerah Kamang Magek ini dapat digolongkan kepada Pratersier (berumur tua) yang terdiri dari batuan endapan permukaan, sedimen, metamorfik, vulkanik dan intrusi.

Penyebaran dolomite yang cukup besar terdapat di Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur dan Madura, dan Papua. Selain itu sebenarnya dolomite juga terbesar di daerah lain, namun jumlahnya relatif jauh lebih kecil dan hanya berupa lensa-lensa pada endapan batu gamping.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Kemampugalian

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 *directdigging*. Namun apabila material bersifat keras maka perlu pembongkaran terlebih dahulu sebelum dilakukan penggalian. Pembongkaran bisa dilakukan dengan penggalian langsung menggunakan alat mekanis maupun peledakan (blasting).

Penggalian 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. Pada umumnya penggalian dipengaruhi oleh 3 (tiga) kondisi sebagai berikut:

Kondisi I: Bila tanah biasa (normal), bisa langsung dilakukan penumpukan stock atau langsung dimuat (loading).

Kondisi II: Bila kondisi tanah keras harus dilakukan penggalian menggunakan alat mekanis terlebih dahulu, kemudian dilakukan stock pilling dan pemuatan (loading).

Kondisi III: Bila tanah terlalu keras dimana pekerjaan ripping tidak ekonomis (tidak mampu) maka harus dilakukan peledakan (blasting) guna memecah belahkan material terlebih dahulu sebelum dilakukan stock pilling kemudian dilakukan pemuatan (loading).

Para peneliti terdahulu telah menemukan banyak faktor yang mempengaruhi kemampugalian batuan seperti perilaku massa batuan, kekuatan massa batuan, ukuran dan kekuatan dari mesin yang digunakan dan faktor ekonomi. Ada peneliti yang menemukan bahwa yang termasuk dalam sifat massa batuan meliputi jenis batuan, kekuatan, derajat alterasi, struktur, abrasif, kadar air dan kecepatan gelombang seismik. Peneliti lain menyebutkan bahwa kemampugalian dipengaruhi oleh kekuatan dari batuan utuh dan perilaku kekar pada massa batuan. Dalam perkiraan kemampugalian, parameter batuan harus dimasukkan dan diuji untuk memperkirakan perilaku batuan tersebut. Dalam mekanika batuan sendiri, penentuan sifat fisik dan mekanik batuan merupakan inti dalam perkiraan perilaku massa batuan^[3].

Pemilihan alat gali yang sesuai tidak lepas dari studi lapangan dan uji laboratorium mengenai sifat-sifat material, terutama kekuatan batuan. Di lapangan selalu dijumpai material dengan ragam kekuatan. Oleh sebab itu, ada material yang sangat mudah digali, mudah digali, sulit digali, sangat sulit digali atau bahkan tidak dapat digali.

Kemampugalian merupakan suatu ukuran apakah material dapat digali, yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kemudahan penggalian. Kemampugalian didasarkan pada sifat-sifat material dan kondisi geologi, seperti kekerasan, kecepatan seismik, struktur, pelapukan dan air tanah, yang diperoleh dari studi lapangan dan uji laboratorium^[4].

Klasifikasi massa batuan untuk kepentingan penggaruan yang melibatkan parameter mesin penggaru dan sifat-sifat fisik, mekanik dan dinamik massa batuan diberikan oleh Klasifikasi Kemampugaran (*rippability chart*). Tabel 1 adalah klasifikasi penggaruan yang sudah sering dipakai oleh para kontraktor penggalian dan kriterianya didasarkan pada pembobotan total dari parameter pembentuknya bersamaan dengan daya bulldozer yang diperlukan. Parameter yang dipakai dalam klasifikasi ini adalah kecepatan seismik, kekerasan batuan, tingkat pelapukan, jarak kekar, kemenerusan kekar, jarak pemisahan kekar dan orientasi kekar terhadap penggalian^[5].

Penggalian langsung dapat dilakukan apabila nilai $RMR \leq 30$, penggaruan dilakukan apabila nilai $RMR > 30$ dan ≤ 60 dan apabila nilai $RMR > 60$ maka massa batuan harus diledakkan^[6].

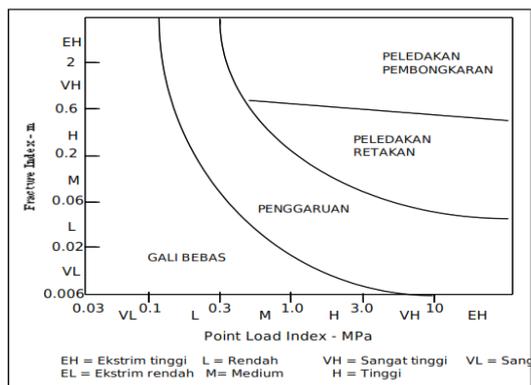
Tabel 1. Klasifikasi Massa Batuan untuk Penggaruan

Kelas batuan	I	II	III	IV	V
Dekripsi	Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
Kecepatan seismik (m/s)	> 2150	2150-1850	1850-1500	1500-1200	1200-450
Bobot	26	24	20	12	5
Kekerasan	Eks. keras	Sangat keras	Keras	Lunak	Sangat lunak
Bobot	10	5	2	1	0
Pelapukan	Tdk. lapuk	Agak lapuk	Lapuk	Sangat lapuk	Lapuk total
Bobot	9	7	5	3	1
Jarak kekar (mm)	> 3000	3000-1000	1000-300	300-50	< 50
Bobot	30	25	20	10	5
Kemenerusan kekar	Tdk. menerus	Agak menerus	Menerus - tdk ada gouge	Menerus-beberapa gouge	Menerus dgn. gouge
Bobot	5	5	3	0	0
Gouge kekar	Tdk ada pemisahan	Agak pemisahan	Pemisahan < 1mm	Gouge < 5 mm	Gouge > 5 mm
Bobot	5	5	4	3	1
Orientasi kekar	Sgt. menguntungkan	Tdk. menguntungkan	Agak tdk menguntungkan	Menguntungkan	Sgt. menguntungkan
Bobot	15	13	10	5	3
Bobot total	100-90	90-70	70-50	50-25	<25
Penaksiran kemampuan penggaruan	Peledakan	Eks. susah garu & ledak	Sangat susah garu	Susah garu	Mudah garu
Pemilihan traktor	-	D9G	D9 / D8	D8 / D7	D7
Horse power		770-385	385-270	270-180	180
Kilowatt		575-290	290-200	200-135	135

3.2. Kriteria Index Franklin

Klasifikasi massa batuan menurut dua parameter, yaitu Fracture Index dan *Point Load Index* (PLI). Fracture Index dipakai sebagai ukuran karakteristik diskontinuitas dan didefinisikan sebagai jarak rata-rata fraktur dalam sepanjang bor inti atau massa batuan. Kedua parameter ini digambarkan dalam satu diagram untuk menduga kemampuan suatu massa batuan dimana *If* dan *Is* masing-masing menyatakan *Fracture Index* dan *PLI*. Diagram klasifikasi dibagi kedalam tiga zona umum yaitu, penggalian bebas (*free digging*), penggalian langsung dan peledakan (*blasting*).

Massa batuan yang terkekarkan dan lemah masuk kedalam kategori bagian bawah kiri diagram, sedangkan massa batuan massif dan kuat di plot dibagian atas kanan. Yang pertama tentunya sangat mudah untuk digali dan yang terakhir sangat sulit digali dengan alat mekanis.



Gambar 1. Kriteria Indeks kekuatan batu

3.3. Massa Batuan dan *Discontinuitas*

Batuan selaku material penyusun lahan dalam geoteknik, khususnya dalam mekanika batuan dianggap sebagai satu kesatuan massa. Oleh karena itu sifatnya dianggap sebagai sifat massa, sifat massa ini berfungsi dan bekerja menyangga beban-beban yang terdapat di atasnya dan di dalamnya. Sehingga dalam desain dan pembuatan konstruksi harus memperhatikan kekuatan dan pola diskontinuitas pada massa batuan^[7].

Batuan sebagai material digunakan untuk membangun struktur, atau suatu struktur dibangun di atas atau dalam batuan (massa batuan).

Massa batuan merupakan material-material batuan yang mengalami proses kerusakan (*failure*) yang kompleks. Sifat massa batuan meliputi semua karakteristik suatu massa batuan yang berhubungan dengan rekayasa konstruksi.

Estimasi kekuatan dan deformasi massa batuan dibutuhkan untuk estimasi dukungan (*support*) dan berbagai analisis seperti desain lereng, fondasi dan penggalian bawah permukaan^[8], pekerjaan rekayasa pemotongan jalan dan bendungan.

Struktur massa batuan yang rumit dengan kekurangannya aplikasinya yang luas menyebabkan permasalahan dalam rekayasa batuan dan konstruksi. Sifat fisik batuan menentukan sifatnya sebagai material konstruksi dan sebagai struktur fondasi, sehingga kelas dan pengukurannya dapat berupa sifat material yang diukur menggunakan percontoh kecil di laboratorium, dan sebagai sifat massa batuan yang membutuhkan skala besar massa batuan untuk menentukan keseluruhan sifatnya. Tipikal sifat massa batuan adalah dikontrol oleh bidang-bidang lemah pada batuan daripada sifat padu materialnya^[9].

Batuan menjadi tidak ideal dalam sejumlah hal, dan batuan jarang benar-benar kontinyu, karena pori-pori atau celah biasanya hadir, seperti *microfissure* merupakan retakan planar kecil terjadi dalam batuan padu dan *fissure* sebagai retakan yang lebih luas.^[10]

Dengan demikian, massa batuan adalah batuan yang tersusun oleh sistem blok batuan dan fragmen-fragmen yang terpisahkan oleh *discontinuitas* membentuk material dimana semua elemen saling bergantung sebagai suatu satuan. Material tersebut dikarakteristiki oleh bentuk dan dimensi blok batuan dan fragmen-fragmen, oleh pengaturan bersama dalam massa batuan, serta oleh karakter kekar seperti kondisi bidang kekar dan pengisinya.

Discontinuitas dalam mekanika batuan, merupakan istilah umum yang digunakan sebagai istilah untuk batuan yang mengalami kerusakan. Istilah *diskontinuitas* secara umum dapat berbentuk *diskontinuitas* stratigrafi, seismik dan struktur geologi. atau dari banyaknya aspek fundamental kehadiran *diskontinuitas* adalah nilai rata-rata dan distribusi spasi antara *diskontinuitas*, indeks asosiasi frekuensi *diskontinuitas* dan *Rock Quality Designation* (RQD)^[11].

Penerapan analisis mekanika batuan membutuhkan model dan data geologi berdasarkan definisi tipe-tipe batuan, struktur *diskontinuitas* dan sifat material. Pengumpulan data *diskontinuitas* melalui investigasi geologi dengan melakukan pengkategorian

diskontinuitas, termasuk proses terbentuknya. Parameter-parameter yang perlu dicatat dalam investigasi geologi *diskontinuitas* seperti tipe batuan, tipe *diskontinuitas*, skala, orientasi, spasi, persistence, kekasaran, kekuatan (*wallstrength*), aperture, pengisi, seepage, jumlah set kekar, bentuk dan ukuran blok, serta tingkat pelapukan yang terjadi^[12].

3.4. Klasifikasi Massa Batuan

3.4.1. Rock Quality Designation (RQD)

Penentuan RQD dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. penentuan mutu batuan (RQD) secara langsung yang mengestimasi secara kuantitatif kualitas massa batuan melalui inti bor. Indeks RQD digunakan secara luas untuk mengidentifikasi zona kualitas rendah batuan, dan digunakan sebagai parameter standar pada log inti bor, serta elemen dasar sistem klasifikasi massa batuan RMR dan Q-system. RQD didefinisikan sebagai persentase potongan batuan yang lebih panjang dari 10 cm terhadap panjang total inti bor tersebut^[13].

Perhitungan nilai RQD berdasarkan data spasi *diskontinuitas*, sebagai berikut^[14]:

$$RQD = 100 e^{-0,1 \lambda} (0,1 \lambda + 1) \quad (1)$$

λ = frekuensi *diskontinuitas* per meter

3.4.2. Rock Mass Rating (RMR)

Klasifikasi geomekanika Rock Mass Rating (RMR) dikembangkan oleh Bieniawski, yang selanjutnya mengalami modifikasi beberapa kali. Pada tahap awal dimaksudkan untuk aplikasi pekerjaan terowongan dan pertambangan, namun kini telah dikembangkan untuk desain galian lereng dan fondasi. Pada aplikasi sistem klasifikasi ini, massa batuan dibagi menjadi sejumlah wilayah struktural dan setiap wilayah kurang lebih memiliki ciri yang seragam. Batas dari wilayah struktural biasanya serupa dengan ciri struktur utama seperti patahan, dike, zona shear, dan lain sebagainya. Dalam beberapa kondisi, yaitu karena perubahan signifikan pada spasi *diskontinuitas* atau karakter *diskontinuitas* untuk tipe batuan yang sama, mungkin mengharuskan pembagian massa batuan ke dalam sejumlah kecil wilayah struktural pada metode RMR.

Sistem klasifikasi massa batuan dengan RMR Menggunakan enam parameter dasar untuk pengklasifikasian dan evaluasi hasil uji. Keenam parameter tersebut membantu perkiraan lebih lanjut hasil analisis stabilitas sampai permasalahan khusus geomekanika batuan. Keenam parameter yang digunakan untuk menentukan nilai RMR meliputi kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive stress, UCS*), *rock quality designation (RQD)*, spasi *diskontinuitas*, keadaan *diskontinuitas*, keadaan air tanah dan orientasi *diskontinuitas*^[15].

3.4.3. Kuat tekan Point Load Index

Kuat tekan *point load index* dari material batuan utuh (intact rock Untuk penentuan peringkat kuat tekan dari material batuan padu dapat menggunakan klasifikasi dari Bieniawski^[16].

3.4.4. Spasi Diskontinuitas

Merupakan jarak antara bidang lemah dengan arah tegak lurus terhadap bidang lemah tersebut. Bentuknya bisa berupa kekar, zona shear, patahan minor atau permukaan bidang lemah lainnya.

3.4.5. Kondisi Diskontinuitas

Parameter lain yang berguna untuk mendapatkan peringkat massa batuan (RMR) yaitu parameter kondisi atau keadaan dari bidang *diskontinuitas* yang terdapat pada massa batuan tersebut. Meliputi kekasaran permukaan *diskontinuitas*, persistence, kemenerusan, pelapukan batuan dan bidang lemah tersebut, material pengisi. Ada lima karakteristik kekar yang masuk dalam pengertian kondisi kekar, meliputi kemenerusan (*persistence*), jarak antar permukaan kekar atau celah (*separation/aperture*), kekasaran kekar (*roughness*), material pengisi (*infilling/gouge*), dan tingkat kelapukan (*weathering*)^[17]. karakteristik tersebut adalah sebagai berikut:

3.4.5.1. Roughness

Roughness atau kekasaran permukaan bidang diskontinu merupakan parameter yang penting untuk menentukan kondisi bidang diskontinu. Suatu permukaan yang kasar akan dapat mencegah terjadinya pergeseran antara kedua permukaan bidang *diskontinuitas*.

3.4.5.2. Separation

Merupakan jarak antara kedua permukaan bidang diskontinu. Jarak ini biasanya diisi oleh material lainnya (*filling material*) atau bisa juga diisi oleh air. Makin besar jarak ini, semakin lemah bidang *diskontinuitas* tersebut.

3.4.5.3. Continuity

Continuity merupakan kemenerusan dari sebuah bidang *diskontinuitas*, atau juga merupakan panjang dari suatu bidang *diskontinuitas*.

3.4.5.4. Weathering

Weathering menunjukkan derajat kelapukan permukaan *diskontinuitas*.

3.4.5.5. Infilling (gouge)

Infilling atau material pengisi antara dua permukaan bidang diskontinu mempengaruhi stabilitas bidang diskontinu dipengaruhi oleh ketebalan, konsisten atau tidaknya dan sifat material pengisi tersebut. *Infilling* yang lebih tebal dan memiliki sifat mengembang bila terkena air dan berbutir sangat halus akan menyebabkan bidang diskontinu menjadi lemah.

3.4.6. Kondisi Air Tanah

Debit aliran air tanah atau tekanan air tanah akan mempengaruhi kekuatan massa batuan. Oleh sebab itu perlu diperhitungkan dalam klasifikasi massa batuan. Pengamatan terhadap kondisi air tanah ini dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu:

1. *Inflow per 10 m tunnel length*: menunjukkan banyak aliran air yang teramati setiap 10 m panjang terowongan. Semakin banyak aliran air mengalir maka nilai yang dihasilkan untuk RMR akan semakin kecil.
2. *Joint Water Pressure*: semakin besar nilai tekanan air yang terjebak dalam kekar (bidang diskontinu) maka nilai yang dihasilkan untuk RMR akan semakin kecil.
3. *General condition*: mengamati atap dan dinding terowongan secara visual sehingga secara umum dapat dinyatakan dengan keadaan umum dari permukaan seperti kering, lembab, menetes atau mengalir. Untuk penelitian ini, cara ketiga ini yang digunakan.

Kondisi air tanah yang ditemukan pada pengukuran kekar diidentifikasi sebagai salah satu kondisi berikut: kering (*completely dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), terdapat tetesan air (*dripping*), atau terdapat aliran air (*flowing*). Pada perhitungan nilai RMR.

3.4.7. Orientasi Diskontinuitas

Nilai *strike* dan *dip* merepresentasikan orientasi dan kemiringan dari bidang *diskontinuitas*, sebagaimana telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya di atas. Nilai *strike* dan *dip* pada pekerjaan rekayasa batuan berhubungan dengan prediksi stabilitas massa batuan dan arah penggalian, serta sangat berperan untuk memberikan penilaian kuantitatif bidang *diskontinuitas* yang kritis pada penggalian terowongan dan rekayasa lereng pada batuan. Nilai orientasi bidang *diskontinuitas* terhadap lereng memiliki variasi penilaian kualitatif dan kuantitatif yang sedikit berbeda antara satu dengan.

3.5. Uji Point Load Index

Point load index merupakan substansi pengujian dari faktor kehadiran bidang lemah yang mempengaruhi kecepatan rambat gelombang ultrasonik dari suatu batuan (spesimen batuan). Percontohan batuan dapat berbentuk silinder.

Peralatan yang digunakan mudah dibawa-bawa, tidak begitu besar dan cukup ringan. Pengujian cepat, sehingga dapat diketahui kekuatan Batuan dilapangan, sebelum pengujian dilaboratorium dilakukan.

Pengujian ini menggunakan mesin uji point load dengan pecontohan berupa silinder atau bentuk lain yang tidak beraturan. Pengujian *point load* ini merupakan pengujian yang dapat dilakukan langsung di lapangan, dengan

demikian dapat diketahui kekuatan batuan di lapangan sebelum pengujian di laboratorium dilakukan. Percontohan yang disarankan untuk pengujian ini adalah batuan berbentuk silinder dengan diameter kurang lebih 50 mm. Dari pengujian ini didapat:

$$I_s = F \cdot \frac{P}{D^2} \quad (2)$$

$$F = (D/50)^{0,45} \quad (3)$$

Dimana:

I_s = *Point load strength index (Index Franklin)*

P = Beban maksimum sampai percontohan pecah (Kg)

D = Diameter/Jarak antara dua konus penekan (mm)

F = Faktor koreksi

3.6. Data Diskontinuitas

Struktur bidang lemah pada massa batuan PT. Bakapindo yang ditemukan adalah Kekar. Kekar adalah struktur rekahan pada batuan dimana tidak ada atau relatif tanpa mengalami pergeseran pada bidang rekahannya.

Kekar dapat terjadi pada semua jenis batuan, dengan ukuran yang hanya beberapa millimeter (*kekar mikro*) hingga ratusan kilometer (*kekar mayor*) sedangkan yang berukuran beberapa meter disebut dengan kekar minor. Kekar dapat terjadi akibat proses tektonik maupun perlakuan juga perubahan temperature yang signifikan. Kekar merupakan jenis struktur batuan dalam bentuk bidang pecah. Karena sifat bidang ini memisahkan batuan menjadi bagian-bagian terpisah maka struktur kekar merupakan jalan atau rongga keserasan batuan untuk dilalui cairan dari luar beserta materi lain seperti air, gas dan unsur-unsur lain yang menyertainya.



Gambar 2. Persebaran Kekar di Lereng PT. Bakapindo

Dalam pengambilan data diskontinuitas digunakan metode *scanline* sampling. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui orientasi bidang diskontinuitas pada permukaan yang dianggap mewakili orientasi bidang diskontinuitas batuan secara keseluruhan. Peralatan yang dipakai berupa tali, kompas, clip board, dan penggaris. Cara pengambilan data dengan metode *scanline sampling* adalah dengan mencatat semua karakteristik bidang diskontinuitas yang memotong tali yang dibentangkan di sepanjang permukaan batuan dengan

batasan 30 cm ke atas dan 30cm ke bawah dari garis pengamatan.

Dalam pengambilan data diskontinuitas pada massa batuan di PT. Bakapindo dilakukan pada lokasi massa batuan yang akan ditambang. Lokasi berada disekitar koordinat S0°12,273' E100°23,227' dengan elevasi 882mdpl.

Area pengambilan data berada pada massa batuan seperti pada gambar 25. Dari lokasi tersebut massa batuan berada pada dua arah yaitu pertama pada N 166° E dan kedua berada pada N 74° E.

Pengambilan data kondisi *diskontinuitas* (struktur geologi) pada massa batuan mencakup:

- Strike, dip dan dip direction *diskontinuitas* pada lereng penelitian
- Spasi *diskontinuitas*
- Persistence *diskontinuitas*
- Tingkat kekasaran *diskontinuitas*
- Lebar rongga *diskontinuitas*
- Material pengisi bidang *diskontinuitas*
- Kondisi air *diskontinuitas*
- Arah *diskontinuitas* set



Gambar 3. Massa Batuan Pengambilan Data

Hasil pengambilan data *discontinuitas* PT. Bakapindo didapatkan 201 data kondisi kekar. Secara umum, kondisi *discontinuitas* tersebut dapat dilihat tabel 23 rata-rata nilai kondisi *discontinuitas*

Tabel 2. Kondisi Umum *Discontinuitas* PT. Bakapindo.

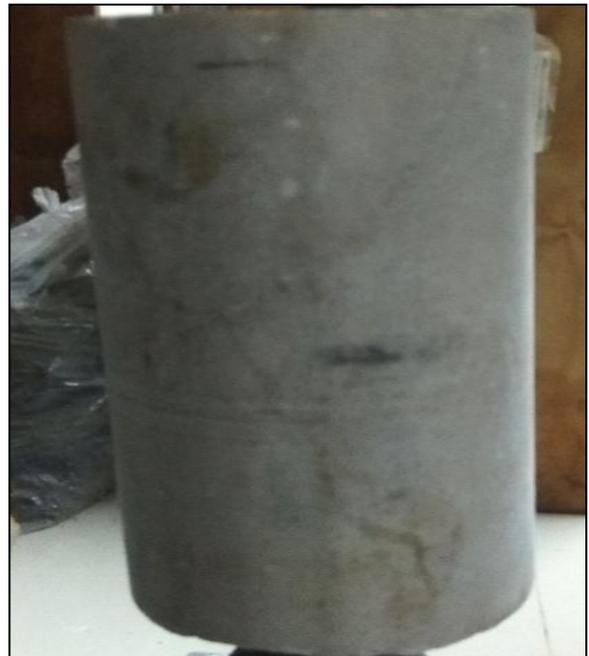
Parameter	Rata-Rata
<i>Strike Discontinuitas</i>	N 103,134 E
<i>Dip Discontinuitas</i>	63,637°
<i>Dip Direction Discontinuitas</i>	N 139,403 E
Spasi <i>diskontinuitas</i>	0,091m
<i>Persistence diskontinuitas</i>	0,349m
Tingkat kekasaran <i>diskontinuitas</i>	Fresh
Lebar rongga <i>diskontinuitas</i>	0,1-1mm
Material pengisi bidang <i>diskontinuitas</i>	Clay
Kondisi Air <i>Discontinuitas</i>	Kering

4. Pembahasan

4.1 Kekuatan Batuan

Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan batuan. Data kekuatan batuan digunakan sebagai data dalam klasifikasi massa batuan pada lereng PT. Bakapindo. Pengujian kuat tekan batuan dilakukan dengan menggunakan alat *Point Load Indeks* (PLI).

Sebelum dilakukan pengujian dilakukan preparasi sampel sesuai dengan standar pengujian *Point Load Index* (PLI). Dalam penelitian ini pengujian *point load index* menggunakan metode uji diametrikal karenanya sampel dibuat silinder dengan ukuran sesuai standar uji diametrikal test, yaitu L (Panjang sampel) $>$ 0,7D.



Gambar 4. Sampel PLI



Gambar 5. Pengujian PLI

Berdasarkan pengujian yang dilakukan diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian *Point Load Index*.

No.	Tinggi (cm)	Jarak Konus (mm)	Beban (Kg)
DL-01	10	5	1254,4
DL-02	10	5	914,7
DL-03	11	5	1258,7

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa nilai kuat tekan batuan dolomit PT. Bakapindo rata-rata adalah sebesar 109,027MPa. Berikut tabel kekuatan batuan berdasarkan hasil pengujian kuat tekan *point load index*.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan PLI.

No.	Faktor Pengkoreksi (F)	Index Franklin (Is) MPa	Kuat Tekan Bienawski (σ_c) Mpa
DL-01	1	4,917	113,097
DL-02	1	4,762	109,517
DL-03	1	4,542	104,468
Rata-Rata	1	4,740	109,027

4.2 Klasifikasi Massa Batuan

4.2.1. Rock Quality Designation (RQD)

Perhitungan *rock quality designation* (RQD) dilakukan dari perhitungan langsung dari singkapan batuan yang mengalami retakan-retakkan (baik lapisan batuan maupun kekar atau sesar). Berdasarkan data *diskontinuitas*, rata-rata spasi *diskontinuitas* adalah sebanyak 0,091m. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan di atas diperoleh nilai RQD per *scanline* pengamatan yang ditunjukkan pada tabel 22 sehingga didapatkan nilai rata-rata RQD 68,943%. Dengan demikian, berdasarkan nilai *rock quality designation* (RQD), batuan pada lereng penambangan PT. Bakapindo tergolong ke kelas III yaitu batuan sedang (*fair*).

4.2.2. Rock Mass Rating (RMR)

Nilai *rock mass rating* (RMR) adalah penjumlahan total dari bobot kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive stress*), *rock quality designation* (RQD), spasi *diskontinuitas*, keadaan *diskontinuitas*, keadaan air tanah dan orientasi *diskontinuitas*. Bobot masing-masing parameter RMR diperoleh dari tabel ringkasan *Rock Mass System*. Bobot yang digunakan adalah berdasarkan nilai ataupun kondisi parameter. Dalam menghitung nilai klasifikasi geomekanik RMR-sistem, diperlukan nilai bobot beberapa parameter.

4.2.2.1 Uji Kuat Tekan

Dari hasil pengujian sampel menggunakan *Point Load Indeks* (PLI) yang telah dilaksanakan pada tanggal Labor

Tambang Jurusan Teknik Pertambangan UNP diperoleh data *index franklin* (Is) sebesar 4,470MPa. Berdasarkan pembobotan *Rock Mass Rating* diperoleh bobot kuat tekan sebesar 12.

4.2.2.2 Nilai Rock Quality Designation (RQD)

Nilai RQD lokasi penelitian dihitung berdasarkan estimasi yang dilakukan. Dari hasil *mapping geoteknik* dan pengolahan data RQD yang telah dilakukan diperoleh nilai RQD rata-rata pada lokasi penelitian sebesar 68,889%. Berdasarkan pembobotan *Rock Mass Rating System* diperoleh bobot *rock quality designation* sebesar 13.

4.2.2.3 Data Spasi Bidang Diskontinu

Spasi bidang *diskontinuitas* menunjukkan jarak antara famili suatu bidang *diskontinuitas*. Dalam Hudson tahun 1989, spasi bidang *diskontinuitas* di suatu lokasi memiliki hubungan dengan nilai RQD dari massa batuan tersebut. Semakin besar nilai RQD maka nilai spasi bidang *diskontinuitas* akan semakin besar pula. Dari hasil *mapping geoteknik* dan pengolahan data spasi bidang *diskontinu* yang telah dilakukan diperoleh jarak rata-rata antar kekar sebesar 0,091m atau 9,1cm. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada lokasi penelitian tergolong rapat (0,06–0,2)m. Berdasarkan pembobotan *Rock Mass Rating System* diperoleh bobot spasi *diskontinuitas* sebesar 8.

4.2.2.4 Data Kondisi Bidang Diskontinu

Bidang *diskontinu* pada lokasi penelitian memiliki kondisi yang berbeda-beda, hal ini dapat berpengaruh pada kekuatan serta kestabilan lubang bukaan bawah tanah. Pengamatan kondisi bidang *diskontinu* meliputi panjang rata-rata kemenerusan, lebar rekahan, kekasaran, tebal material pengisi rekahan dan pelapukan pada bidang *diskontinu*.

Semakin panjang kemenerusan bidang *diskontinu* pada suatu lubang bukaan, maka kekuatan massa batuanya akan semakin berkurang. Begitu juga dengan kekasaran dari bidang *diskontinu*, dapat mempengaruhi kekuatan dari massa batuanya. Karena kekasaran berhubungan dengan bidang geser dari blok batuan. Semakin kasar kondisi bidang *diskontinu* yang ada, maka kemungkinan batuan untuk bergeser akan semakin kecil. Serta adanya keterdapat rekahan atau bukaan, material pengisi, dan tingkat pelapukan yang terjadi pada bidang *diskontinuitas*, juga dapat mengurangi kekuatan dari massa batuan tersebut. Berdasarkan pembobotan *Rock Mass Rating System* diperoleh bobot kondisi *diskontinuitas* sebesar 19.

4.2.2.5 Kondisi Air Tanah

Selain kondisi bidang *diskontinu*, kondisi air tanah juga dapat mempengaruhi kekuatan dari massa batuan. Adanya air tanah yang ditemukan pada bidang *diskontinu* akan menyebabkan terjadinya pelapukan, membawa mineral pengisi rekahan yang mudah larut, serta membuat licin suatu bidang *diskontinu*.

Pada penelitian ini kondisi air tanah ditentukan dengan cara mengamati atap dan dinding massa batuan. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan disetiap *scanline* pada lokasi penelitian kondisi air tanah digolongkan kedalam kondisi kering maka berdasarkan pembobotan *Rock Mass Rating System* diperoleh nilai pembobotan kondisi air tanah adalah sebesar 15.

4.2.2.6 Orientasi Bidang Diskontinu

Orientasi merefleksikan signifikansi variasi set *diskontinuitas* pada massa batuan. Bidang *diskontinuitas* memiliki *strike* dan *dip*, *strike* sebagai *azimuth*, yang diukur searah jarum jam antara sudut utara dan irisan bidang *diskontinuitas* terhadap bidang referensi horizontal. [19] Sedangkan *dip* merupakan sudut tercuram *diskontinuitas* terhadap horizontal. Hasil pengambilan data di lokasi penelitian, diketahui bahwa rata-rata *dip* *diskontinuitas* adalah sebesar 63,64°. Berdasarkan pembobotan *Rock Mass Rating System* diperoleh nilai pembobotan orientasi *diskontinuitas* sebesar 0. Dari hasil analisis masing-masing parameter pembobotan *rock mass rating* (RMR), maka dapat dirangkum total bobot masing-masing parameter yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pembobotan Parameter RMR.

Parameter	Nilai	Bobot
RQD (%)	68,25%	13
Kuat Tekan Point Load Index (Is)	4,740MPa	12
Spasi (mm)	60-200 mm	8
Kondisi Diskontinuitas		
1. Persistence (m)	<1m	6
2. Lebar Rongga (mm)	0,1-1,0	4
3. Kekasaran Kekar	Halus	1
4. Material Pengisi	Clay (Lunak <5mm)	2
5. Pelapukan	Fresh	6
Kondisi Air	Kering	15
Orientasi kekar	Menguntungkan	0
RMR		67

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *rock mass rating* (RMR) lereng tempat pengambilan data adalah sebesar 67 Berdasarkan Tabel *rock mass rating* (RMR) massa batuan dengan nilai *rock mass rating* (RMR) sebesar 67 tergolong ke kelas II (*Good rock*).

Berdasarkan hubungan nilai *rock mass rating* (RMR) dan metode penggalian, dengan nilai *rock mass rating* (RMR) sebesar 67 (*Good rock*) maka metode penggalian yang cocok adalah dengan peledakan (*blasting*).

4.2.3 Fracture Index

Fracture index adalah sebagai ukuran karakteristik diskontinu dan didefinisikan sebagai jarak rata-rata fraktur dalam sepanjang borinti atau pada massa batuan. Dalam penelitian ini, perhitungan *fracture index* berdasarkan hasil pengambilan data spasi

diskontinuitas pada massa batuan karena tidak adanya dilakukan pemboran.

Spasi *diskontinuitas* merupakan jarak antara bidang lemah dengan arah tegak lurus terhadap bidang lemah tersebut. Bentuknya bisa berupa kekar, zona shear, patahan minor atau permukaan bidang lemah lainnya. Dari masing-masing spasi *diskontinuitas* per *scanline* didapatkan nilai *racture index* massa batuan.

Tabel 6. Nilai *fracture index* pada massa batuan.

Orientasi Massa Batuan	Scanline	Rata-Rata Spasi (meter)
N 166° E	1	0,123
	2	0,134
	3	0,123
	4	0,062
	5	0,121
	6	0,066
	7	0,087
	8	0,067
	9	0,078
	10	0,068
	11	0,066
N 74° E	12	0,068
	13	0,087
	14	0,083
	15	0,140
	16	0,119
	17	0,055
Maksimum		0,140
Minimum		0,055
Jumlah		1,546
Rata-Rata		0,091

Berdasarkan hasil perhitungan *fracture index* massa batuan di lokasi penelitian PT. Bakapindo adalah sebesar 0,091m. Nilai *fracture index* ini termasuk ke bagian kelas medium dalam tabel indek Franklin.

4.3 Metode Penggalian

Kriteria penggalian di tentukan berdasarkan Indeks Kekuatan Batuan yang diusulkan oleh Franklin. Klasifikasi massa batuan berdasarkan dua parameter yaitu:

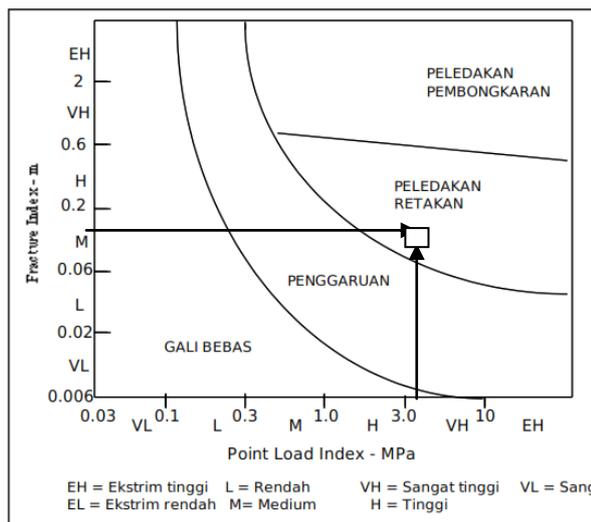
4.3.1 Index Fracture

Merupakan ukuran karakteristik diskontinuitas dan didefinisikan sebagai jarak rata-rata fraktur dalam sepanjang borinti atau massa batuan. Dari hasil perhitungan spasi massa batuan didapatkan nilai *fracture index* sebesar 0,091meter.

4.3.2 Index Franklin Pada Pengujian Point Load Index

Index franklin (Is) merupakan index kekuatan yang didapatkan dari hasil pengujian *point load index*. Dari

hasil pengujian didapatkan nilai Index franklin (Is) sebesar 4,740MPa.



Gambar 3. Kriteria Indeks Kekuatan Batuan

Berdasarkan grafik kriteria indeks kekuatan batuan di atas dapat disimpulkan bahwa metode penggalian yang cocok dilakukan pada PT. Bakapindo adalah metode peledakan retakan. Sedangkan berdasarkan hubungan nilai rock mass rating (RMR) dan metode penggalian, dengan nilai rock mass rating (RMR) sebesar 67 maka metode penggalian yang cocok adalah dengan peledakan (blasting).

Dengan demikian, untuk melakukan penggalian pada massa batuan di lokasi penelitian adalah dengan peledakan yaitu dengan peledakan retakan. Setelah diretakan, dapat dilanjutkan dengan menggunakan alat berat. Alat berat yang dapat digunakan untuk tipe peledakan retakan berdasarkan klasifikasi massa batuan untuk penggaruan adalah alat berat tipe D9G dengan horse power 770-385 dan kilowatt 575-290. Berikut rangkuman metode penggalian yang cocok pada lokasi penelitian.

Tabel 7. Rangkuman Metode Penggalian.

Spesifikasi	Jenis
Kemampugalian	Peledakan retakan
Pemilihan Alat Berat	D9G
Horse Power	770-385
Kilowatt	575-290

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

- Berdasarkan hasil pengujian *point load index* didapatkan rata-rata nilai index franklin (Is) sebesar 4,740MPa. Sedangkan kekuatan batuan PT. Bakapindo rata-rata sebesar 109,027MPa.
- Berdasarkan hasil klasifikasi massa batuan, diketahui bahwa bobot kuat tekan sebesar 12, bobot *rock quality designation* sebesar 13, bobot spasi *discontinuitas* sebesar 8, bobot kondisi

discontinuitas sebesar 19, bobot kondisi air tanah adalah sebesar 15 dan bobot orientasi *discontinuitas* sebesar 0 sehingga nilai rock mass rating (RMR) adalah sebesar 67 tergolong ke kelas II (Good rock).

- Nilai fracture index massa batuan PT. Bakapindo adalah 0,091m.
- Berdasarkan grafik kriteria indeks kekuatan batuan Franklin dapat disimpulkan bahwa metode penggalian yang cocok dilakukan pada PT. Bakapindo adalah dengan peledakan retakkan.

5.2 Saran

- Kepada pihak perusahaan PT. Bakapindo, untuk mempertimbangkan metode penggalian yang lebih efektif dengan mempertimbangkan kondisi massa batuan dan kekuatan batuan. Karena kehadiran *discontinuitas* dapat melemahkan kekuatan massa batuan sehingga akan lebih mudah untuk dibongkar.
- Pada area penelitian di sekitar koordinat S0°12,273' E100°23,227' dengan elevasi 882 Mdpl, pihak perusahaan PT. Bakapindo dapat menerapkan metode penggalian yaitu dengan peledakan retakkan untuk meretakkan massa batuan dan kemudian dapat dilanjutkan dengan menggunakan kombinasi alat berat dan ripper.

Referensi

- Tri .V. Gerry, dkk. Analisis Kemampugaruan Massa Batuan Berdasarkan Metode *Rock Mass Rating Pit s22gsb1* PT. kitadin embalut *site* Tenggaraong Seberang Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Teknologi Mineral UNMUL* 4. 1: 31-38. Tenggaraong (2016)
- Franklin, J.A. *Some Engineering Aspects of Rock Weathering with Field Examples form Dartmoor and Elsewhere. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hidrogeology* 4: 139-185. (1971)
- B, Ivan. Analisis Pendahuluan Kemampugaruan Dalam Menentukan Metoda Pembongkaran Berdasarkan Data Seismik, Sifat Fisik Batuan dan Kondisi Geologi Di Daerah Gunung Kerud Dan Gunung Walat Kecamatan Cicantayan Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat. *Universitas Islam Bandung*. (2009)
- K, Ashabul. Kajian Kemampugaruan Batuan Menggunakan Metode Seismic, Graphic dan Grading Pada Tambang Batupasir Formasi Balikpapan Kecamatan Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara. (2017)
- Thomson, D.J. and Weaver, J.T. *The complex image approximation for induction in a multilayere earth. Journal of Geophysical Research* 80: doi: 10.1029/JA080i001p00123. issn: 0148-0227. (1975)
- Abdullatif, OM. dan Cruden DM. *The relationship between rockmass quality and ease of excavation. Bull Eng Geol Environ* 28: 183-18. (1983)
- Bieniawski, ZT. *Engineering Rock Mass Classification*. John Wiley & Sons. (1989)

- [8] Hoek, E. *Practical Rock Engineering*. Balkema: Rotterdam. (2007)
- [9] Wirawan, IlhamPandu. *Analisis Kemampugalian dan Kemampugaruan Massa Batuan Di Tambang Batubara PT. Sebuku Tanjung Coal Kalimantan Selatan*. UPN "Veteran" Yogyakarta. (2011)
- [10] Goodman, R. E. *Introduction to Rock Mechanics: Second Edition*. New York, John Wiley & Sons. (1989)
- [11] Hudson, J.A., Harrison, J.P. *Engineering Rock Mechanics. An Introduction to The Principles*. London: Pergamon. (2000)
- [12] Astanto, Nur Widi. *Studi Rekomendasi Penggalian Ditinjau Dari Struktur Bidang Lemah dan Kekuatan Batuan Lava Andesit di Daerah Girimulyo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. (2016)
- [13] Bieniawski, Z. T. *Engineering Rock Mass Classifications*. A WileyInterscience Publicaion:Canada. (1989)
- [14] Priest, S. D., & Hudson, J. A. *Discontinuity spacings in rock*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* **13.5**: 135–148. (1976)
- [15] Bieniawski, ZT. *Engineering Classification of Jointed Rock Mass*. Transaction of the South African Institution of Civel Engineering. (1973)
- [16] Bieniawski, ZT. *The Geomechanics Classificationin Rock Engineering Application. Proceeding 4th International Congress of Rock Mechanics, ISRM, Momtreux* **2** :41-48. (1979)
- [17] K, Ashabul. *Analisis Kemampugaruan Berdasarkan Rock Mass Rating Pada Tambang Batupasir Formasi Pulaubalang Kecamatan Samarinda Seberang Kota Samarinda*. *Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda Kalimantan Timur*. (2017)