

Penentuan optimum *stiffness ratio* untuk mencapai fragmentasi peledakan optimal

Determining the optimum stiffness ratio for achieving optimal rock fragmentation in blasting operations

Muhamad Athoriqui¹, Eko Santoso*, Annisa¹, Satrio Ramadhan¹, Muhammad Fajerin Dinata²

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

²Drill and Blast Section, PT Adaro Indonesia

e-mail: *eko@ulm.ac.id

ABSTRAK

PT Adaro Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara yang mana dalam proses pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*) salah satunya menggunakan metode peledakan. Ukuran keberhasilan peledakan dapat dilihat dari ketercapaian target produksi peledakan, efisiensi bahan peledak, fragmentasi yang dihasilkan dan pengaruhnya terhadap lingkungan. Untuk menghasilkan fragmentasi yang baik, perlu memperhatikan nilai *stiffness ratio* yang diterapkan. Menurut Kepmen ESDM nomor 1827 tahun 2018, *stiffness ratio* adalah perbandingan antara kedalaman lubang ledak dengan jarak *burden*. Secara teoritis, semakin besar *stiffness ratio* mengindikasikan fragmentasi yang dihasilkan semakin baik juga. Adapun penelitian dilakukan di wilayah PT Adaro Indonesia. Penelitian dilakukan dengan mengukur geometri aktual di lapangan. Pengamatan dilakukan terhadap 6 kali peledakan. Dari hasil penelitian didapatkan *stiffness ratio* yang menghasilkan fragmentasi > 85% yaitu 0,90, 0,98, 1,21, 1,05, dan 1,18. Dari hasil tersebut diketahui bahwa *stiffness ratio* yang menghasilkan fragmentasi paling optimal yaitu 1,21 dan 1,18.

Kata-kata kunci: *burden, fragmentasi, geometri, peledakan, stiffness ratio*

ABSTRACT

PT Adaro Indonesia is a coal mining company that utilizes blasting as one of the methods for overburden removal operations. The success of a blasting operation can be evaluated based on the achievement of production targets, explosive consumption efficiency, the resulting rock fragmentation, and its environmental impacts. To obtain desirable fragmentation, the stiffness ratio applied in the blasting design must be carefully considered. According to the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources (ESDM) No. 1827 of 2018, the stiffness ratio is defined as the ratio between blast hole depth and burden distance. Theoretically, a higher stiffness ratio indicates a greater potential for producing better rock fragmentation. This study was conducted at PT Adaro Indonesia by measuring the actual blasting geometry in the field. Observations were carried out on six blasting events. The results showed that stiffness ratios of 0.90, 0.98, 1.21, 1.05, and 1.18 produced rock fragmentation exceeding 85%. Among these values, stiffness ratios of 1.21 and 1.18 yielded the most optimal fragmentation performance. Therefore, these stiffness ratio values can be considered the optimum range for achieving effective blast fragmentation under the geological and operational conditions of the study area.

Key words: *blasting, burden, fragmentation, geometry, stiffness ratio*

PENDAHULUAN

PT Adaro Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara. Kegiatan penambangan batubara terdiri dari pembongkaran, pemuatan, dan pengangkutan. Salah satu kegiatan pembongkaran dioperasikan tambang terbuka adalah pengupasan lapisan tanah penutup. [1] Kegiatan ini didahului dengan proses pemberaian menggunakan pengeboran dan peledakan.

Peledakan adalah kegiatan pemecahan material dengan menggunakan bahan peledak. [2,3] Ukuran keberhasilan peledakan dapat dilihat dari ketercapaian target produksi peledakan, efisiensi bahan peledak, fragmentasi yang dihasilkan dan pengaruhnya terhadap lingkungan. [4,5] Salah satu cara untuk menghasilkan fragmentasi dan dampak lingkungan yang baik yaitu dengan menyesuaikan kedalaman lubang ledak dan *burden* terhadap skala *stiffness ratio*.

Menurut Kepmen ESDM nomor 1827 tahun 2018, *stiffness ratio* adalah perbandingan antara kedalaman lubang ledak dengan jarak *burden*. Perbandingan kedalaman lubang ledak terhadap *burden* (*stiffness ratio*) tidak boleh kurang dari 2 (dua) dan tidak boleh lebih dari 4 (empat) [7]. Secara teoritis, semakin besar nilai *stiffness ratio* maka fragmentasi dan dampak lingkungan yang dihasilkan seperti getaran peledakan, flyrock, dan air blast akan semakin baik [8].

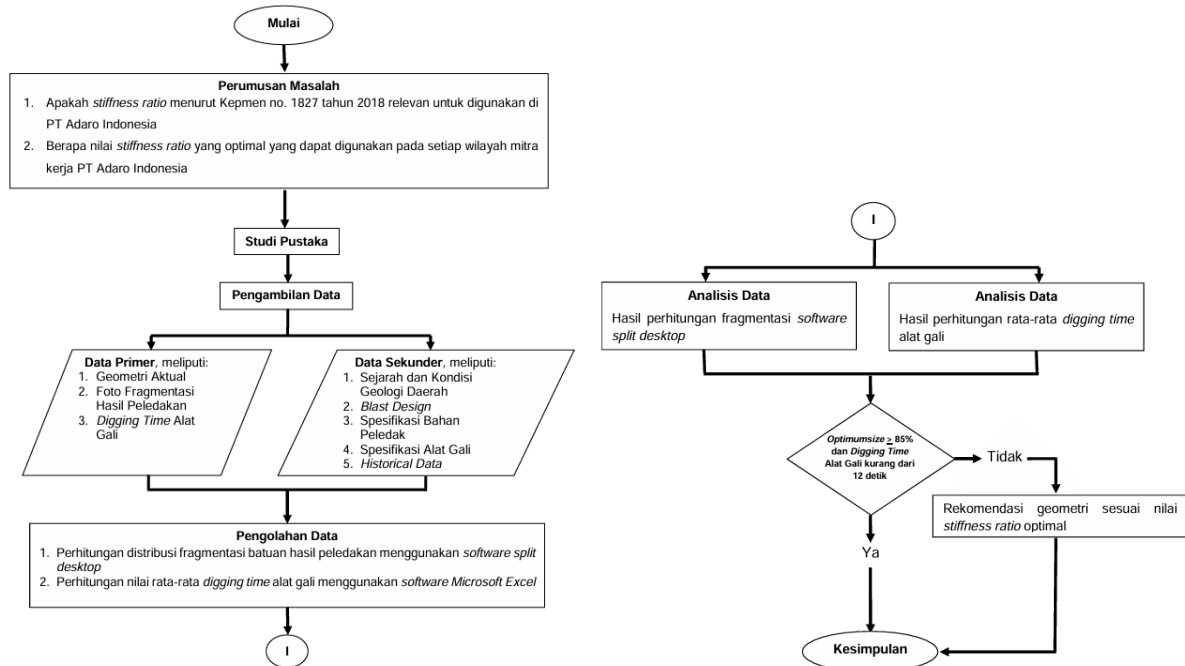
Namun untuk mencapai nilai *stiffness ratio* yang tinggi memerlukan kedalaman lubang ledak yang dalam dan *burden* yang sempit, sehingga kondisi tersebut akan berdampak pada penggunaan bahan peledak yang relatif banyak. Hal ini tentu sangat merugikan karena material *overburden* adalah material yang akan dibuang, sehingga tidak memerlukan treatment dalam mekanisme pembuangannya. Oleh karenanya diperlukan suatu penelitian mengenai *stiffness ratio* untuk mendapatkan nilai *stiffness ratio* yang optimal. Hal inilah yang melatarbelakangi saya untuk melakukan penelitian ini.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengambilan data dilaksanakan di Pit Paringin dan Pit Tutupan PT Adaro Indonesia. Pengambilan data yang dilakukan yaitu melakukan pengukuran geometri peledakan aktual (*burden*, spasi, dan *sounding* kedalaman lubang ledak) dan foto fragmentasi. Selain data pengukuran aktual di lapangan, diperoleh juga data sekunder dari perusahaan yang berupa historical data kegiatan peledakan, hasil uji kuat tekan uniaksial (UCS) material yang diledakkan, dan *blast design*.

1. Teknik Analisis Data

Foto fragmentasi yang diambil di lapangan diolah dengan metode image analysis menggunakan software *Split Desktop* [9] untuk mendapatkan distribusi fragmentasi dan *digging time* alat gali diolah menggunakan Microsoft office Excel untuk mendapatkan nilai rata-rata ukuran fragmen hasil peledakan. Tahapan penelitian lengkap diberikan pada Gambar-1.



Gambar-1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Dari pengolahan data foto fragmen dengan prosedur penggunaan image analysis [3] menggunakan software Split Desktop, dari 6 peledakan didapatkan hasil sebagai berikut (Tabel-1).

Tabel-1. Distribusi fragmen di lokasi pengamatan

Tanggal	Lokasi	Geometri aktual (meter)			Distribusi ukuran fragmen hasil peledakan (cm)					
		Burden	Spasi	Kedalaman	1 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	80 - 100	>100
13/12/18	LW Utara IB P721-722	8.09	8.85	7.26	23.9	34.01	22.26	13.69	6.14	0
15/12/18	LW Tengah P721-722	7.54	9.10	7.36	12.44	27.36	34.11	21.10	4.99	0
24/12/18	LW Toba	7.95	8.12	9.61	37.67	44.08	16.61	1.64	0	0
26/12/18	LW Irian	8.05	8.13	5.65	11.17	16.42	11.92	21.02	20.96	18.51
01/01/19	W2 IB T120	8.03	10.19	8.41	12.77	50.86	28.09	7.62	0.66	0
09/01/19	CT1 Roof T200	8.20	10.03	9.67	41.01	53.79	5.19	0	0	0

Setelah diketahui distribusi fragmentasi hasil image analysis menggunakan split desktop sebagaimana pada Tabel-1, maka dibuat pengelompokan fragmentasi sesuai dengan ukuran fragmentasi sebagaimana dapat dilihat pada Tabel-2.

Tabel-2. Pengelompokan distribusi fragmen

Tanggal	Lokasi	Kategori distribusi fragmen		Stiffness ratio
		Optimum Minimum 85% ukuran 1 – 80 cm	Oversize Maksimum 15% ukuran >80 cm	
13/12/18	LW Utara IB P721-722	93.86	6.14	0.9
15/12/18	LW Tengah P721-722	95.01	4.99	0.9
24/12/18	LW Toba	100	0	1.1
26/12/18	LW Irian	60.53	39.47	0.0
01/01/19	W2 IB T120	99.34	0.66	1.0
09/01/19	CT1 Roof T200	100	0	1.2

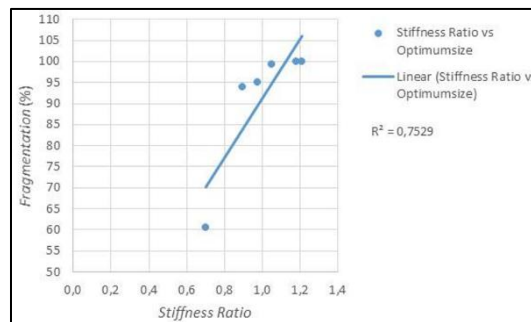
Data digging time alat gali yang diambil di lapangan berjumlah 50 data dari setiap lokasi peledakan yang diamati dan didapatkan nilai rata-rata sebagai berikut (Tabel-3).

Tabel-3. Digging time alat gali

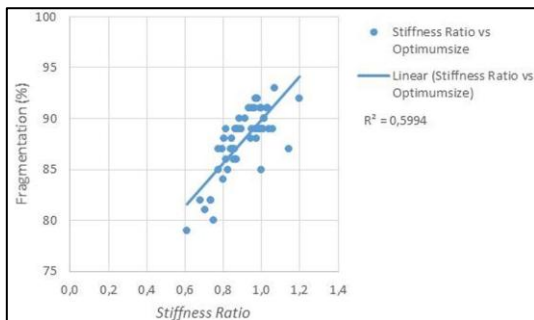
Tanggal	Lokasi	Digging time	
		Target	Aktual
13/12/18	LW Utara IB P721-722	12	11.94
15/12/18	LW Tengah P721-722	12	11.09
24/12/18	LW Toba	12	10.23
26/12/18	LW Irian	12	12.43
01/01/19	W2 IB T120	12	11.87
09/01/19	CT1 Roof T200	12	11.50

Pembahasan

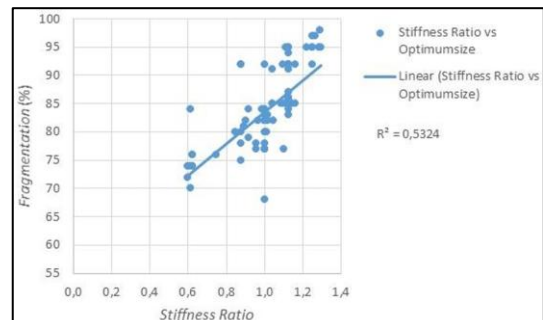
Dari Gambar-2 terlihat bahwa terjadi hubungan linear antara *stiffness ratio* terhadap distribusi fragmentasi dimana semakin besar nilai *stiffness ratio* maka semakin besar persentase distribusi fragmentasi optimum size yang dihasilkan dan semakin kecil nilai *stiffness ratio* maka semakin besar persentase distribusi fragmentasi oversize yang dihasilkan. Nilai R^2 yang dihasilkan sebesar 0,7529 yang artinya *stiffness ratio* memiliki pengaruh sebesar 75,29% terhadap distribusi fragmentasi optimumsize yang dihasilkan. Pada Gambar-7 dapat diketahui bahwa nilai R^2 yang dihasilkan sebesar 0,684 yang artinya *powder factor* memiliki pengaruh sebesar 68,40% terhadap distribusi fragmentasi optimumsize yang dihasilkan. Sehingga dibuatlah grafik hubungan *stiffness ratio* terhadap *powder factor* yang dapat dilihat pada Gambar-8.



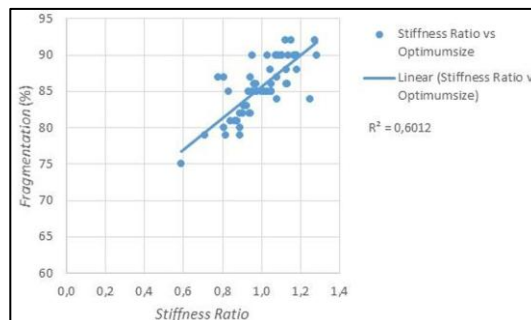
Gambar-2. Grafik hubungan *stiffness ratio* dengan fragmentasi pengamatan aktual



(a)

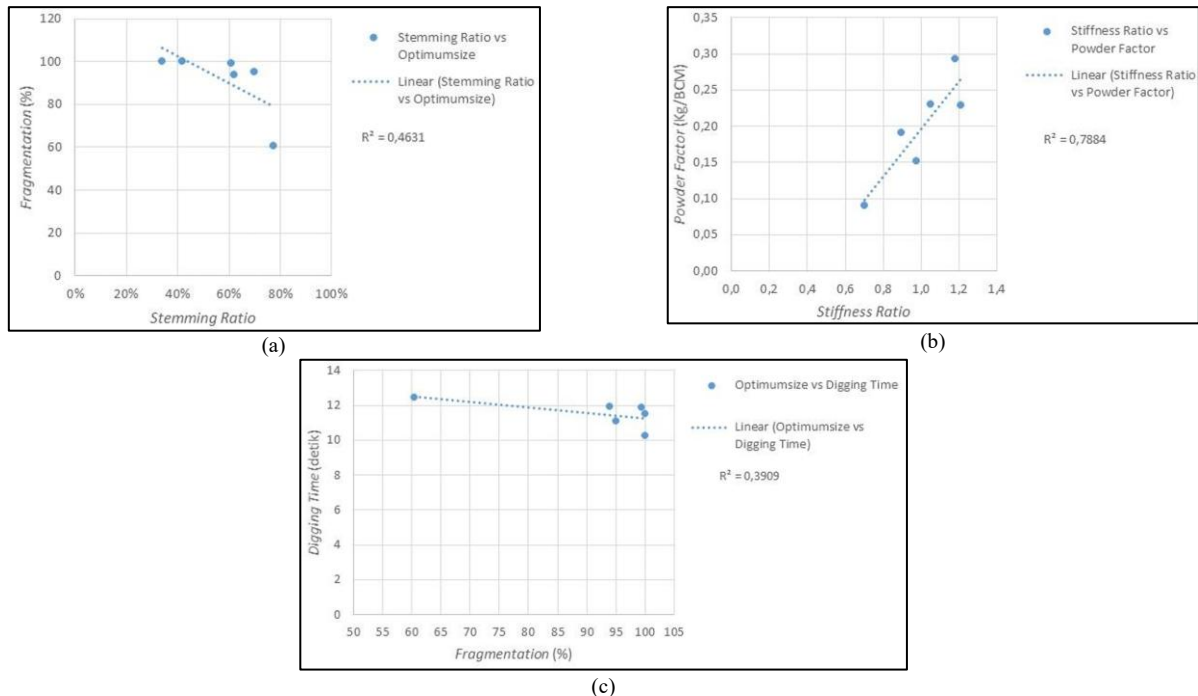


(b)



(c)

Gambar-2. Grafik hubungan *stiffness ratio* dengan fragmentasi bulan: (a) November 2018, (b) Desember 2018, (c) Januari 2019



Gambar-3. Grafik hubungan: (a) stemming ratio vs fragmentasi, (b) powder factor vs stiffness ratio, (c) digging time vs fragmentasi

Dari data pada Tabel-4 dapat diketahui bahwa terjadi deviasi antara plan titik bor dengan marking titik bor. Deviasi tersebut tentunya akan memberikan perubahan pada titik aktual bor. Hal ini tentunya akan memengaruhi nilai *stiffness ratio* aktual yang berbeda dari nilai *stiffness ratio* dengan geometri plan.

Tabel-4. Digging time alat gali

Tanggal	Lokasi	Geometri aktual (meter)								
		Burden			Spasi			Kedalaman		
		Plan	Aktual	Deviasi (%)	Plan	Aktual	Deviasi (%)	Plan	Aktual	Deviasi (%)
13/12/18	LW Utara IB P721-722	8	8.09	-1.15	9	8.85	1.67	7.57	7.26	-4.09
15/12/18	LW Tengah P721-722	8	7.54	5.75	9	9.10	-1.11	6.97	7.36	5.57
24/12/18	LW Toba	8	7.95	0.62	8	8.12	-1.50	8.50	9.61	13.10
26/12/18	LW Irian	8	8.05	-0.62	8	8.13	-1.56	7.50	5.65	24.71
01/01/19	W2 IB T120	8	8.03	-0.31	10	10.19	-1.91	8.13	8.41	3.50
09/01/19	CT1 Roof T200	8	8.20	-2.50	10	10.03	-0.29	9.6	9.67	0.68

Dari data pada Tabel-5 diketahui bahwa terjadi deviasi pada *burden*, spasi, dan kedalaman lubang ledak di setiap lokasi peledakan yang diamati di lapangan. Nilai minus (-) pada persentase deviasi *burden* plan terhadap aktual menunjukkan bahwa terjadi pelebaran pada *burden* aktual. Kondisi ini akan memberikan dampak negatif terhadap hasil peledakan. Nilai minus (-) pada persentase deviasi kedalaman lubang ledak plan terhadap aktual menunjukkan bahwa kedalaman lubang ledak aktual di lapangan di bor lebih dangkal daripada plan. Kondisi ini akan memberikan dampak negatif terhadap hasil fragmentasi yang dihasilkan. Kondisi sebaliknya akan memberikan dampak positif terhadap hasil fragmentasi yang dihasilkan. Nilai plus pada persentase deviasi *burden* plan terhadap aktual menunjukkan bahwa terjadinya penyempitan pada *burden* aktual. Nilai plus pada persentase deviasi kedalaman lubang ledak plan terhadap aktual menunjukkan bahwa kedalaman lubang ledak aktual di lapangan di bor lebih dalam daripada plan.

Dari data pada tabel-5 diketahui bahwa pada lokasi LW Irian terjadi persentase deviasi minus yang sangat besar. Hasil penjumlahan persentase deviasi plan terhadap aktual menghasilkan nilai -26,89%. Artinya geometri aktual akan memberikan hasil peledakan 26,89% lebih buruk daripada geometri aktual. Sedangkan pada lokasi LW Toba terjadi persentase deviasi plus yang cukup besar. Hasil penjumlahan persentase deviasi plan terhadap aktual menghasilkan nilai 12,23% yang artinya geometri aktual memberikan hasil peledakan 12,23% lebih baik daripada geometri aktual.

KESIMPULAN

1. Nilai *stiffness ratio* yang ditetapkan tidak ada yang mencapai 2 (dua) sesuai dengan standar minimum Kepmen No. 1827 Tahun 2018. Tetapi fragmentasi hasil peledakan yang didapatkan sudah baik dan memenuhi kriteria distribusi fragmen yang ditargetkan Perusahaan.
2. Berdasarkan hasil penelitian dari bulan Desember 2018 sampai Januari 2019 nilai *stiffness ratio* optimum PT Adaro Indonesia yaitu 0,9. Sedangkan berdasarkan historical data nilai *stiffness ratio* optimum untuk tiap mitra kerja PT Adaro Indonesia yaitu 0,8 untuk PT BUMA, 1,1 untuk PT PAMA, dan 1,0 untuk PT SIS. Sehingga nilai *stiffness ratio* optimum

berada pada range 0,8 sampai 1,1.

3. Terdapat satu lokasi dengan ketidaktercapaian hasil peledakan yaitu lokasi LW Irian pada wilayah kerja PT PAMA dengan fragmentasi batuan hasil peledakan 60,53% optimumsize, dan 39,47% oversize dan digging time alat gali sebesar 12,43 detik. Hal ini dipengaruhi oleh nilai *stiffness ratio* yang kecil, yaitu 0,7.
4. Faktor-faktor yang memengaruhi nilai *stiffness ratio* yaitu *burden* dan kedalaman lubang ledak. Adapun faktor yang memengaruhi *burden* yaitu keakuratan marking titik bor. Faktor yang memengaruhi kedalaman lubang ledak yaitu densitas bahan peledak. Faktor yang memengaruhi keduanya yaitu deviasi plan dan aktual pemboran.

SARAN

1. Sebaiknya akurasi pemboran lebih ditingkatkan lagi untuk menghindari deviasi yang terlalu jauh dari plan pemboran sehingga menghasilkan fragmentasi batuan hasil peledakan yang baik dan terprediksi dan digging time alat gali yang tidak melebihi target.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai *powder factor* dan derajat kekerasan batuan, sehingga penggunaan bahan peledak dapat lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widara, M.R., & Saputra, M.I. 2025. Pengaruh Karakteristik Litologi terhadap Efektivitas Fragmentasi Peledakan dan Digging Time Material *Overburden* pada Tambang Batubara Terbuka. Jurnal Teknik Pertambangan.
- [2] Hidayat, W., Hasyim, I., & Kurniawan, E. 2022. Pelaksanaan Kegiatan Peledakan dalam Upaya Pemberaian *Overburden* (OB). Jurnal Geologi Pertambangan.
- [3] Suardi, A.S., & Nawir, A. 2023. Studi Keberhasilan Geometri Peledakan terhadap Fly Rock Hasil Peledakan PT Kalimantan Prima Persada Site Rantau Kabupaten Tapin. Jurnal Aneka Tambang.
- [4] Herman, Widodo, S., & Nurwaskito, A. 2017. Analisis Pengaruh Kedalaman Lubang Ledak, *Burden* dan Spacing terhadap Perolehan Fragmentasi Batugamping. Jurnal Geomine.
- [5] Baskara, A., Adnyano, A.A.I.A., & Isjudarto. 2020. Analisis Geometri Peledakan terhadap Fragmentasi Batuan pada Tambang Batubara di PT Harmoni Panca Utama. Mining Insight.
- [6] Munawir, Samanlangi, A.I., & Anshariah. 2015. Analisis Geometri Peledakan terhadap Ukuran Fragmentasi *Overburden* pada Tambang Batubara PT Pamapersada Nusantara Jobsite Adaro Kalimantan Selatan. Jurnal Geomine.
- [7] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Manusia Nomor 1827K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.
- [8] Konya, C.J. dan Edward J.W. 1990. Surface Blast Design. Prentice Hall. Engle Wood Clifts. New Jersey.
- [9] Duna, B.I.S. 2010. Paduan Split Desktop. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.