

**STUDI PENCAPAIAN TARGET FRAGMENTASI DAN *DIGGING TIME*
ALAT GALI MUAT *SHOVEL* PC 3000 MELALUI OPTIMALISASI
GEOMETRI PELEDAKAN PADA KEGIATAN PEMBERAIAN
OVERBURDEN DI PIT 3 TIMUR BANKO TENGAH
PT BUKIT ASAM TBK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana
pada Program Studi Teknik Pertambangan



**RIFQI OKTARIANDA
F1D119008**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK KEBUMIHAN**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI
2023**

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya ataupun pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang baik dan benar.

Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, 21 Desember 2023

menyatakan,



Rifqi Oktarianda

NIM F1D119008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **STUDI PENCAPAIAN TARGET FRAGMENTASI DAN DIGGING TIME ALAT GALI MUAT SHOVEL PC 3000 MELALUI OPTIMALISASI GEOMETRI PELEDAKAN PADA KEGIATAN PEMBERAIAN OVERBURDEN DI PIT 3 TIMUR BANKO TENGAH, PT BUKIT ASAM TBK** yang disusun oleh **RIFQI OKTARIANDA, NIM. F1D119008** telah dipertahankan di depan tim penguji pada tanggal 21 Desember 2023 dan dinyatakan lulus.

Susunan Tim Penguji :

Ketua	: Muhammad Ikrar Lagowa, S.T., M.Eng.Sc.
Sekretaris	: Muhammad El Hakim, S.T., M.T.
Anggota	: 1. Ir. Aditya Denny Prabawa, S.T., M.T. 2. Yosa Megasukma, S.T., M.T. 3. Yudi Arista Yulanda, S.T., M.T.

Disetujui :

Pembimbing I



Muhammad Ikrar Lagowa, S.T., M.Eng.Sc.
NIP. 198902142019031011

Pembimbing II



Muhammad El Hakim, S.T., M.T.
NIP. 199306252022031012

Diketahui :

Dekan Fakultas
Sains dan Teknologi



Prof. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T.
NIP. 196806021993031004

Ketua Jurusan
Teknik Kebumihan



Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T.
NIP. 197907062008122002

SUMMARY

PT Bukit Asam, Tbk carried out overburden dispersing activities in the Pit 3 East Banko Barat area which was blasted using a non-electric detonator. The parameter for the success of a blasting activity is rock fragmentation. Rock fragmentation plays a role in achieving excavator production targets, therefore the distribution of fragmentation is related to the blasting geometry and the length of digging time as well as the blasting planning that will be carried out. From observations in the field, there is still boulder-sized rock fragmentation (1/3 of the bucket width, namely 121 cm) in 10 blastings with a boulder target of no more than 20% and the company's digging time is 12 seconds. The aim of this research is to see the suitability between the designed blasting geometry and the actual blasting geometry, to find out the effect of blasting geometry on fragmentation, and to know the effect of fragmentation size on digging time. The method used to determine boulder size is the kuz-ram method and wipfrag software and also uses cycle time calculations which focus on digging time which then produces boulder size results of 30.53%, and digging time of 15-17 seconds. This target was not achieved due to a mismatch between the designed blasting geometry and the actual blasting geometry which caused the loading digging equipment to not work optimally, then it is necessary to calculate the recommended geometry of the R.L.Ash equation with a burden value of 5.4 m, spacing 8.1 m, stemming 3.8 m, powder column 4.2 m, blast hole depth 8 m, powder factor 0.3 kg/m³, with an average fragmentation size of 31 cm, and predictions obtained through Kuz-ram calculations, the percentage retained at a size of 121 cm is 9.13% and the predicted digging time is 12.74 seconds, which means it has met the company's targets or standards.

Keywords: Blasting, Boulder, Geometry, Fragmentation, Wipfrag, Kuz-Ram, Digging Time

RINGKASAN

PT Bukit Asam, Tbk melakukan kegiatan pemberaian *overburden* di wilayah Pit 3 Timur Banko Barat yang peledakannya menggunakan nonelektrik detonator. Parameter keberhasilan dari suatu kegiatan peledakan adalah fragmentasi batuan. Fragmentasi batuan berperan dalam pencapaian target produksi *excavator*, oleh karena itu distribusi fragmentasi berkaitan dengan geometri peledakan dan lamanya waktu penggalian (*digging*) serta perencanaan peledakan yang akan dilakukan. Dari pengamatan dilapangan masih terdapat fragmentasi batuan yang berukuran *boulder* 121 cm pada 10 kali peledakan dengan target *boulder* tidak lebih dari 20% dan ketetapan waktu *digging* dari perusahaan yaitu 12 detik. Tujuan penelitian ini adalah melihat kesesuaian antara geometri peledakan rancangan dengan geometri peledakan aktual, mengetahui pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi, dan mengetahui pengaruh dari ukuran fragmentasi terhadap *digging time*. Metode yang digunakan untuk menentukan ukuran *boulder* adalah metode *kuz-ram* dan *software wipfrag* dan juga menggunakan perhitungan *cycle time* yang difokuskan pada waktu penggalian (*digging*). Hasil perhitungan metode *kuz-ram* mendapatkan persentase ukuran *boulder* sebesar 30,53%, dan *digging time* 15-17 detik. Tidak tercapainya target fragmentasi dan *digging time* disebabkan karena adanya ketidaksesuaian antara geometri peledakan rancangan dan geometri peledakan aktual yang menyebabkan alat gali muat tidak bekerja secara optimal, maka perlu nya perhitungan geometri rekomendasi persamaan R.L.Ash dengan nilai *burden* 5,4 m, *spacing* 8,1 m, *stemming* 3,8 m, *powder column* 4,2 m, kedalaman lubang ledak 8 m, *powder factor* 0,3 kg/m³, dengan ukuran rata-rata fragmentasi 31 cm, dan didapatkan prediksi melalui perhitungan *kuz-ram* persentase tertahan pada ukuran 121 cm yaitu 9,13% dan prediksi waktu *digging* 12,74 detik, yang artinya telah memenuhi target atau standar dari perusahaan.

Kata Kunci : *Peledakan, Boulder, Geometri, Fragmentasi, Wipfrag, Kuz-Ram, Waktu Penggalian*

RIWAYAT HIDUP



Penulis Bernama Rifqi Oktarianda, lahir pada tanggal 22 Oktober 2001 di Kota Lubuklinggau, Provinsi Sumatera Selatan, Penulis merupakan anak kelima dari pasangan suami istri Bapak Jaya Wardani S.Pd dan Ibu Rusna A.Ma.Pd. Alamat rumah penulis yaitu Jalan Waringin Lintas, Kecamatan Lubuklinggau Utara II, Kota Lubuklinggau, Provinsi Sumatera Selatan. Penulis telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 49 Kota Lubuklinggau pada tahun 2013. Menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP N 3 Lubuklinggau pada tahun 2016 dan telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA N 3 Lubuklinggau pada tahun 2019. Kemudian pada tahun 2019 penulis melanjutkan Pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri tepatnya di Universitas Jambi (UNJA), khususnya di Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Pertambangan. Demikian Riwayat hidup penulis untuk diketahui.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Proposal Penelitian yang berjudul “ **Studi Pencapaian Target Fragmentasi Dan *Digging time* Alat Gali Muat *Shovel Pc 3000* Melalui Optimalisasi Geometri Peledakan Pada Kegiatan Pembersihan *Overburden* Di Pit 3 Timur Banko Tengah PT Bukit Asam Tbk**”.

Penulis memahami bahwa tanpa bantuan, doa, dan bimbingan dari semua orang akan sangat sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dan kontribusi kepada :

1. Bapak Jaya Wardani dan Ibu Rusna, selaku Orang Tua yang sangat saya sayangi dan saya cintai karena telah memberikan support berupa doa dan kebutuhan biaya.
2. Bapak M. Ikrar Lagowa, S.T., M.Eng.sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan dan juga selaku pembimbing pertama yang telah memberikan arahan dan masukan selama penyusunan proposal penelitian tugas akhir ini.
3. Bapak Muhammad El Hakim, S.T., M.T., selaku Pembimbing kedua yang telah memberikan arahan dan masukan selama penyusunan proposal penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Robbi Hidayat, S.T. selaku AVP Satuan Kerja Penunjang Tambang PT Bukit Asam,Tbk.
5. Bapak Muhammad Nuh Muharmy, S.T., selaku Assisten Manager Pemboran dan peledakan.
6. Kak Romi, selaku Supervisor Pemboran dan Peledakan yang sekaligus menjadi pembimbing lapangan selama melakukan penelitian yang telah memberikan masukan dan nasehat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir.
7. Kak Riky, selaku Juru Ledak sekaligus pembimbing lapangan selama melakukan penelitian yang telah memberikan masukan dan nasehat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir.
8. Bapak Subandi, Kak Riski, Mbak Rossa, Mbak Eva, Kak Reza dan seluruh jajaran staff Satuan Kerja Penunjang Tambang, Pemboran dan Peledakan PT Bukit Asam, Tbk .

9. PT Dahana yang turut membantu dalam pengambilan data penelitian.
10. Wardani Squad, selaku keluarga saya yang telah memberikan dukungan berupa nasihat dan kebutuhan biaya.
11. Nola Septia yang telah memberikan support, masukan, saran serta nasihat kepada saya.
12. Seluruh mahasiswa Teknik Pertambangan Universitas Jambi Angkatan 2019 sebagai Teman Satu Korsa saya ; dan
13. Pihak lainnya yang tidak dapat saya disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan bagi penulis demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca sebagai acuan dalam pembelajaran.

Jambi, 21 Desember 2023

Penulis,



Rifqi Oktarianda

(F1D119008)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SUMMARY	iii
RINGKASAN	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Sejarah Perusahaan.....	4
II.2 Keadaan Geologi Regional	5
II.2.1 Keadaan Statigrafi Pit 3 Timur Banko Tengah	7
II.3 Batubara	10
II.4 <i>Overburden</i>	11
II.5 Pola Pemboran.....	12
II.6 Peledakan.....	14
II.6.1 Tahapan Kegiatan Peledakan	15
II.6.2 Peralatan dan Perlengkapan Peledakan.....	23
II.7 Pola Peledakan	28
II.7.1 Pola Peledakan Corner Cut (Echelon)	28
II.7.2 Pola Peledakan <i>Box Cut</i>	29
II.7.3 Pola Peledakan <i>V Cut</i>	29
II.8 Jenis dan Tipe Bahan Peledak	29
II.9 Sifat Fisik Bahan Peledak	30
II.10 Karakter Detonasi Peledak	31

II.11 Geometri Peledakan Menurut R.L.Ash	32
II.12 Fragmentasi Batuan	35
II.13 <i>Digging Time Material Blasting</i>	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
III.1 Tempat dan Waktu	40
III.1.1 Lokasi Wilayah Izin Usaha Pertambangan	41
III.1.2 Struktur Organisasi PT Bukit Asam, Tbk	42
III.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	42
III.3 Metode Penelitian	43
III.4 Pelaksanaan Penelitian	43
III.4.1 Studi Literatur	43
III.4.2 Pengambilan Data	43
III.4.3 Pengolahan Data	45
III.5 Bagan Alir Penelitian	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
IV.1 Kesesuaian Geometri Peledakan di Pit 3 Timur Banko Tengah	48
IV.1.1 Geometri Peledakan Rancangan	49
IV.1.2 Geometri Peledakan Aktual	49
IV.2 Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Batuan	52
IV.3 Pengaruh ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan terhadap <i>digging time</i>	54
IV.4 Rekomendasi Geometri Peledakan Berdasarkan Perhitungan R.L.Ash	55
BAB V PENUTUP	58
V.1 Kesimpulan	58
V.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Statigrafi Pit 3 Timur Banko Tengah	10
Gambar 2. Pola Pemboran	14
Gambar 3. Rambu Area Pemboran	15
Gambar 4. Alat Bor RTD55	16
Gambar 5. Papan Informasi Lokasi Peledakan	17
Gambar 6. Form Rencana Peledakan.....	17
Gambar 7. Pengambilan Bahan Peledak.....	18
Gambar 8. Pengawasan Bahan Peledak.....	19
Gambar 9. Kegiatan Premming.....	19
Gambar 10. Pengisian Bahan Peledak Utama	20
Gambar 11. Kegiatan Stemming.....	20
Gambar 12. Tie Up	21
Gambar 13. Roal Blocker	21
Gambar 14. Pelaksanaan Peledakan	22
Gambar 15. Hasil Peledakan.....	22
Gambar 16. ANFO Truck	23
Gambar 17. Mobil Box.....	23
Gambar 18. Nonel Starter	24
Gambar 19. Blasting Machine.....	24
Gambar 20. ANFO	25
Gambar 21. Power Gel	26
Gambar 22. Inhole Delay	26
Gambar 23. Surface Delay	27
Gambar 24. Lead In Line	27
Gambar 25. Lead Wire	28
Gambar 26. Pola Peledakan Corner Cut (Echelon)	28
Gambar 27. Pola Peledakan Box Cut	29
Gambar 28. Pola Peledakan V Cut	29
Gambar 29. Geometri Peledakan Menurut Teori R.L.Ash (1967)	32
Gambar 30. Contoh Output Dari Software Wipfrag	36
Gambar 31. Peta Kesampaian Daerah	40
Gambar 32. Struktur Perusahaan.....	42
Gambar 33. Prediksi Geometri Peledakan Rancangan.....	49
Gambar 34. Prediksi Fragmentasi Geometri Aktual	50

Gambar 35. Grafik Koefisien Determinasi Pengaruh Burden Terhadap Fragmentasi	53
Gambar 36. Grafik Koefisien Determinasi Pengaruh Fragmentasi - Digging time ..	54
Gambar 37. Prediksi Fragmentasi Aktual	56
Gambar 38. Prediksi Fragmentasi Menggunakan Persamaan R.L.Ash	56
Tabel 3. Standar Deviasi	51
Tabel 4. Hasil Dari Grafik Koefisien Determinasi Berdasarkan Geometri Prediksi Aktual	52
Tabel 7. Analisis Fragmentasi Peralatan Terhadap Digging Time	54
Tabel 8. Perbandingan Geometri Aktual dengan Geometri Usulan	55
Tabel 9. Spesifikasi Mat Gali Must Showl PC 3000	77
Tabel 10. Spesifikasi Alat Angkut Rigid Truck BEL42-75135	78

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Faktor Batuan	38
Tabel 2. Jadwal Kegiatan Pelaksanaan Penelitian	41
Tabel 3. Geometri Peledakan Pit 3 Timur Banko Tengah	49
Tabel 4. Fragmentasi Peledakan Aktual	51
Tabel 5. Standar Deviasi	51
Tabel 6. Hasil Dari Grafik Koefisien Determinasi Berdasarkan Geometri Peledakan Aktual.....	52
Tabel 7. Analisis Fragmentasi Peledakan Terhadap Digging Time.....	54
Tabel 8. Perbandingan Geometri Aktual dengan Geometri Usulan	55
Tabel 9. Spesifikasi Alat Gali Muat Shovel PC 3000	77
Tabel 10. Spesifikasi Alat Angkut Rigid Truck BELAZ-75135	78
Lampiran 12. Perbandingan Nilai-rata Geometri Peledakan Aktual	91
Lampiran 13. Perbandingan Koefisien Fragmentasi Dengan Metode Kur-Tam	92
Lampiran 14. Perbandingan Geometri Peledakan Usulan Dengan Metode S.I. Ash	97
Lampiran 15. Rych Factor	102
Lampiran 16. Pitt Factor	103
Lampiran 17. Cycle Time Alat Gali Muat Shovel PC 3000	104

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Lokasi Penelitian Pit 3 Timur Banko Tengah.....	69
Lampiran 2. Peta Geologi Pit 3 Timur Banko Tengah.....	71
Lampiran 3. Peta Blastmap Pit 3 Timur Banko Tengah.....	73
Lampiran 4. Nilai Faktor Batuan Pit 3 Timur Banko Tengah	75
Lampiran 5. Perhitungan Karakteristik Detonasi Bahan Peledak	76
Lampiran 6. Spesifikasi Alat Gali Muat Shovel PC 3000	77
Lampiran 7. Spesifikasi Alat Angkut Rigid Truck BELAZ-75135.....	78
Lampiran 8. Spesifikasi Alat Bor RTD55.....	79
Lampiran 9. Peralatan Peledakan	80
Lampiran 10. Perlengkapan Peledakan	81
Lampiran 11. Hasil Pengolahan Fragmentasi Aktual Menggunakan Software Wipfrag 3.3	82
Lampiran 12. Perhitungan Rata-rata Geometri Peledakan Aktual	91
Lampiran 13. Perhitungan Teoritis Fragmentasi Dengan Metode Kuz-Ram	92
Lampiran 14. Perhitungan Geometri Peledakan Usulan Metode R.L.Ash	97
Lampiran 15. Swell Factor	102
Lampiran 16. Fill Factor	103
Lampiran 17. Cycle Time Alat Gali Muat Shovel PC 3000.....	104

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

PT Bukit Asam Tbk merupakan salah satu perusahaan di Indonesia yang bergerak pada bidang pertambangan. Perusahaan yang terfokus pada bahan galian batubara ini merupakan salah satu perusahaan terbesar dan terlengkap dari mulai proses maupun teknologi yang digunakannya. PT Bukit Asam, Tbk berlokasi di Jalan Parigi, Tanjung Enim, Provinsi Sumatera Selatan ini adalah contoh standar acuan untuk menjalankan bisnis di Indonesia dan serta terus bertumbuh dengan tetap mengutamakan keselamatan kerja, kelestarian lingkungan dan pengembangan masyarakat yang dapat dijadikan patokan bagi perusahaan lain yang bergerak di bidang pertambangan.

Batubara adalah batuan organik yang terbentuk dari fosil tumbuh-tumbuhan, berwarna gelap dan sedikit terasosiasi oleh kandungan mineral. Struktur kimianya diperkirakan berbentuk polimer padat yang tersusun dari grup aromatik dan grup polisiklik yang dihubungkan oleh struktur alifatik dan gugus fungsional oksigen. Proses pembentukan batubara terdiri dari dua tahap yakni proses biokimia dan proses dinamokimia. Secara keseluruhan proses ini dipengaruhi oleh tipe lingkungan pengendapan (*insitu* atau *drift*), temperature, tekanan, dan skala waktu geologi (Pasymi, 2008).

Kegiatan pemberaian *overburden* merupakan salah satu hal sangat penting sebelum melakukan kegiatan pengambilan batubara. Pemberaian *overburden* dilakukan bertujuan agar batubara yang berada di bawah lapisan tanah penutup menjadi terekspos dan juga memudahkan alat gali muat untuk dapat menggali batubara. Salah satu cara untuk memudahkan dalam pemberaian *overburden* ialah dengan melakukan aktivitas peledakan. Peledakan adalah salah satu aktivitas utama yang sering digunakan dalam pemberaian material lapisan tanah penutup pada batubara. Tujuan dari aktivitas peledakan di lapisan tanah penutup ialah untuk memberai material sehingga dapat mengefesiensi waktu kerja alat agar tercapai target produksi *overburden* yang diinginkan.

PT Bukit Asam, Tbk perlu dilakukan peledakan (*blasting*) yang bertujuan untuk memberaikan batuan dalam jumlah banyak dengan waktu yang singkat, sehingga dapat mempermudah kegiatan penggalian (*digging*). Kegiatan peledakan ini bertujuan untuk memberai batuan dengan harapan menghasilkan ukuran

fragmentasi yang sesuai sehingga dapat memudahkan kegiatan selanjutnya yaitu penggalian (*digging*). (Toha, 2017)

Ketercapaian hasil fragmentasi peledakan dapat dipengaruhi oleh geometri peledakan. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan geometri ialah *burden*, *spacing*, *powder column*, *stemming*, dan kedalaman lubang ledak. Semakin besar nilai geometri tersebut, maka menghasilkan ukuran fragmentasi yang semakin besar pula (Safarudin, dkk , 2016).

Parameter yang menentukan *digging time* adalah fragmentasi batuan hasil peledakan. Menurut Nurditia (2018) Salah satu dampak negatif dari hasil kegiatan peledakan adalah timbulnya suatu *boulder* yang mempengaruhi proses penggalian (*digging*). Hal ini disebabkan karena jumlah *boulder* (ukuran 121 cm) lebih dari 20% sehingga kinerja alat gali muat terkhusus pada proses penggalian (*digging*) cukup lama yaitu 15-17 detik dengan ketetapan waktu *digging time* dari perusahaan yaitu 12 detik. Mengacu pada beberapa hal diatas yang melatarbelakangi untuk melakukan pengamatan dan penelitian dengan judul **"STUDI PENCAPAIAN TARGET FRAGMENTASI DAN DIGGING TIME ALAT GALI MUAT SHOVEL PC 3000 MELALUI OPTIMALISASI GEOMETRI PELEDAKAN PADA KEGIATAN PEMBERAIAN OVERBURDEN DI PIT 3 TIMUR BANKO TENGAH PT BUKIT ASAM TBK"**.

I.2 Rumusan Masalah

Dalam kegiatan peledakan fragmentasi batuan hasil peledakan merupakan salah satu indikasi keberhasilan peledakan, peledakan dikatakan berhasil apabila menghasilkan ukuran fragmentasi yang seragam artinya tidak ada *boulder* . Dalam mendapatkan fragmentasi yang sesuai dan mengurangi *boulder*, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kesesuaian penerapan rancangan geometri peledakan yang direncanakan pada saat diterapkan secara aktual di lapangan ?
2. Bagaimana pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi hasil peledakan pada Pit 3 Timur Banko Tengah PT Bukit Asam,Tbk ?
3. Bagaimana pengaruh hasil fragmentasi peledakan terhadap *digging time* alat gali muat *Shovel* PC 3000 ?
4. Bagaimana geometri peledakan usulan berdasarkan perhitungan secara teoritis?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui realisasi geometri peledakan aktual terhadap rancangan geometri peledakan yang diterapkan di PT Bukit Asam, Tbk.
2. Mengetahui pengaruh antara geometri peledakan terhadap fragmentasi hasil peledakan pada Pit 3 Timur Banko Tengah PT Bukit Asam, Tbk.
3. Mengetahui pengaruh dari hubungan antara hasil fragmentasi peledakan terhadap *digging time* alat gali muat *Shovel* PC 3000.
4. Memberikan rekomendasi geometri peledakan usulan berdasarkan perhitungan teoritis.

I.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini tidak membahas biaya peledakan.
2. Penelitian ini tidak membahas *flyrock* dan getaran tanah akibat peledakan.
3. Perencanaan geometri hanya menggunakan perhitungan teoritis menurut R.L.Ash.
4. Tidak mengkaji tentang kemampuan alat angkut dalam proses pengangkutan material.
5. Tidak mengkaji tentang produktivitas alat gali muat

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah ilmu pengetahuan seorang penulis tentang geometri peledakan dan fragmentasi hasil peledakan.
2. Sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Jambi.
3. Sebagai informasi kepada pihak perusahaan PT Bukit Asam, Tbk.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sejarah Perusahaan

Sejarah penambangan batubara di Tanjung Enim Sumatera Selatan dimulai sejak zaman colonial Belanda tahun 1919 dengan menggunakan penambangan terbuka (*surface mining*) dan juga penambangan bawah tanah (*underground mining*) di beberapa lokasi operasi tambang dalam wilayah kuasa pertambangan yaitu di sisi barat Sungai Enim dengan luasan wilayah sekitar 3.000 Ha. Penambangan bawah tanah (*underground mining*) beroperasi sampai dengan tahun 1938 dan setelah itu tidak diteruskan. Tambang Air Laya dibuka pada tahun 1942 dan telah mengalami beberapa kali perubahan peralatan mesin diantaranya penggunaan unit mesin *Bucket Well Excavator* (BWE) di tahun 1956. Pengembangan tambang dilakukan pertama kali oleh bangsa Belanda, kemudian oleh bangsa Jepang dan akhirnya diambil alih oleh pemerintah belanda.

Produksi batubara uap (*steam coal*) mencapai puncak nya di tahun 1956 sebesar 680.000 ton. Dalam perjalanan waktu nya sejak tahun 1958 pengembangan tambang dilakukan oleh BUPTAN (*Bureau of the Government Mining Companies Affairs*/ Biro Urusan Perusahaan-Perusahaan Tambang Negara. BPU bertanggung jawab terhadap beberapa perusahaan, yaitu sebagai berikut :

1. PN. Tambang Batubara Bukit Asam di Sumatera Selatan
2. PN. Batubara Ombilin di Sumatera Barat
3. PN. Tambang Batubara Mahakan di Kalimantan Timur

Di akhir tahun 1960, prospek batubara mencapai titik kritis akibat meningkatnya penggunakn bahan bakar minyak dikarenakan harganya lebih murah dari harga batubara. Dan ini berdampak hamper dihentikannnya penambangan batubara di Bukit Asam. Namun, mulai tahun 1973 dunia mengalami krisis energi dengan berakhirnya masa harga minyak murah sehingga membuat batubara menjadi salah satu prospek pilihan energi untuk masa mendatang.

Pada tahun 1976, dengan Instruksi Presiden Republik Indonesia ditetapkan suatu kebijaksanaan nasional diverifikasi energi antara lain menyangkut pengembangan kembali pertambangan batubara Indonesia secara besar-besaran sebagai sumber energi PLTU dan pabrik semen khususnya tambang Bukit Asam. Dari tahun 1976 sampai dengan tahun 1977 Pemerintah Indonesia bekerja sama dengan Bank Dunia melakukan studi pendahuluan pengembangan Tambang Air

Laya. Dari hasil studi kelayakan pengembangan tambang batubara Bukit Asam, akhirnya pemerintah Indonesia melalui KP5BA (Kelompok Pelaksana Proyek Pengembangan dan Pengangkatan Batubara Bukit Asam) memutuskan penambangan batubara di Bukit Asam yaitu Tambang Air Laya menggunakan *Bucket Well Excavator (BWE) system*.

Berdasarkan PP NO. 42 tanggal 15 Desember 1980, pemerintah menetapkan penyertaan modal dengan mendirikan PT Tambang Batubara Bukit Asam disingkat PTBA pada tanggal 2 Maret 1981. Kemudian melalui PP No. 56/1990, pemerintah menggabungkan Perum Tambang Batubara (yang mengelola tambang Ombilin, Sumatera Barat) ke PT BA. Dan pada tanggal 23 Desember 2022 PT BA menjadi perusahaan public dengan mencatatkan di Bursa Efek Jakarta (BEJ) dan Bursa Efek Surabaya (BES).

Pada tahun 2003, PT Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) berubah status menjadi Perseroan Terbuka, dan namanya berubah menjadi PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero), Tbk. Pada tahun 2008 PT Tambang Batubara Bukit Asam (Persero), Tbk berubah menjadi PT. Bukit Asam (Persero). PT Bukit Asam mendapatkan predikat sebagai perusahaan energi kelas dunia yang peduli terhadap lingkungan pada tahun 2013 akibat perubahan visa. PT Bukit Asam bergabung dalam *holding* BUMN Pertambangan pada bulan November tahun 2017, dengan PT Inalum sebagai induk perusahaan serta PT Bukit Asam berubah status dari persero menjadi non persero dan namanya berubah menjadi PT Bukit Asam, Tbk

II.2 Keadaan Geologi Regional

Pada **lampiran 2** geologi regional daerah PT Bukit Asam, Tbk termasuk ke sub cekungan Palembang yang merupakan bagian dari cekungan Sumatera Selatan dan terbentuk pada zaman tersier. Sub cekungan Sumatera Selatan yang diendapkan selama zaman kenozoikum terdapat urutan litologi yang terdiri dari 2 kelompok, yaitu kelompok Telisa dan kelompok Palembang. Kelompok Telisa terdiri dari Formasi Lahat, Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja dan Formasi Gumai. Kelompok Palembang terdiri dari Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim dan Formasi Kasai. Endapan Tersier pada Cekungan Sumatera Selatan dari yang tua sampai dengan yang muda dapat dipisahkan menjadi beberapa formasi, antara lain sebagai berikut :

a. Formasi Muara Enim

Merupakan indikasi yang mengandung batubara (*coal*) dicirikan dengan adanya batu lempung, batu lanau dan batu pasir yang dominan. Di daerah

Tambang Air Laya, Formasi Muara Enim tertindih oleh endapan sungai tua secara tidak selaras. Endapan sungai yang berumur kuartar ini belum mengalami pemadatan secara sempurna. Formasi Muara Enim dibedakan menjadi 4 anggota yaitu M1, M2, M3 dan M4 yang masing-masing anggota mengandung lapisan batubara sebagai berikut :

- Anggota M1 Formasi Muara Enim mengandung 2 lapisan batubara, yakni batubara Kladi (5-10 m), dan Merapi (0,2-1 m).
- Anggota M2 Formasi Muara Enim mengandung mayoritas lapisan batubara yang terdapat di Tanjung Enim. Lapisan batubara tersebut dinamakan lapisan batubara C (Petai) dengan ketebalan 5-9 m, lapisan batubara B (Suban) dengan ketebalan 10-18 m dan lapisan batubara A (Mangus), dengan ketebalan 8-12 m.
- Anggota M3 Formasi Muara Enim mengandung beberapa lapisan batubara dengan ketebalan kurang dari 2m, hanya ada 1 lapisan batubara yang cukup tebal yaitu lapisan batubara Benuang dengan ketebalan 1-2m.
- Anggota M4 Formasi Muara Enim mengandung beberapa lapisan batubara dengan ketebalan mencapai 20 m, lapisan batubara tersebut antara lain : lapisan batubara Kebon, Enim, Jelawatan, dan Niru.

b. Formasi Kasai

Formasi Kasai ini dicirikan dengan tufa yang berwarna putih, seperti yang tersingkap di daerah Suban maupun Klawas dengan banyak ditemukan sisa tumbuhan dan lapisan tipis lignit serta kayu yang terkarsikan. Terdiri dari *interbed buff*, batu pasir tuffan, batu lempung tuffan dan batubara tipis. Lingkungan pengendapannya dari darat hingga transisi dengan ketebalan 500-1000 meter. Formasi Kasai berumur dari Pliosen akhir atau Plistosen awal, Fasies pengendapannya adalah fluvial dan alluvial fan.

c. Formasi Air Benakat

Formasi ini diendapkan selaras di atas Formasi Gumai yang berumur miosen tengah tersusun oleh batu lempung pasir dan batu pasir glaukonit. Formasi Air Benakat diendapkan pada lingkungan laut neritik dan berangsur menjadi laut dangkal, dengan ketebalan antar 100-800 meter.

d. Formasi Baturaja

Formasi ini terdiri dari batu gamping terumbu dan batu gamping detritus, ke arah cekungan berubah fasies menjadi serpih, napal dengan sisipan tipis batu gamping dari Formasi Gumai. Formasi terletak tidak selaras di atas batuan pra tersier. Ketebalan formasi ini pada daerah paparan adalah 60-75 meter, tetapi apabila terletak diatas batuan dasar variasinya akan lebih besar antara 60-120 meter, bahkan pada singkapan bukit Gerbah mencapai 520 meter, dan formasi ini berumur miosen awal.

e. Formasi Gumai

Formasi ini diendapkan selaras di atas Formasi Baturaja dan anggota transisi foraminifera dengan sisipan batu pasir gampingan pada bagian bawah dan sisipan batu gamping pada bagian tengah dan atasnya. Ketebalan formasi ini mencapai 200-500 meter.

f. Formasi Talang Akar

Formasi ini diendapkan pada talikungan netritik yang berangsur-angsur menjadi laut dangkal dan prodelta. Diendapkan selaras di atas Formasi Gumai pada miosen tengah hingga miosen akhir dengan ketebalan kurang dari 600 meter.

g. Formasi Lahat

Formasi Lahat diendapkan tidak selaras di atas batuan pra tersier pada lingkungan darat. Formasi ini berumur Oligosen Bawah, tersusun oleh *tuff* breksi, lempung tufaan, breksi dan konglomerat. Pada tempat yang lebih dalam fasiesnya berubah menjadi serpih, serpih *tuff*-an, batu lanau dan batu pasir dengan sisipan batubara. Ketebalan formasi ini berkisar antara 0-300 meter.

II.2.1 Keadaan Stratigrafi Pit 3 Timur Banko Tengah

Stratigrafi batuan lapisan yang ada di daerah pit 3 banko tengah terdapat pada gambar 2 adalah sebagai berikut :

1. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Lapisan *overburden* ini terdiri batu lempung dengan warna abu-abu.

2. *Seam A1*

Lapisan ini terdiri dari 3 pita pengotor dengan batu lempung lanauan membentuk layer dan terdapat batupack (*silicified coal*) yang sangat keras dengan ukuran bervariasi. Dengan tebal *seam A1* 1-15 cm.

3. Lapisan antara (*Interburden*) A1 dan A2

Lapisan *interburden* antara A1 dan A2 ini berupa batu tufaan dengan warna kuning gelap keputih-putihan yang mempunyai tebal 4-6 meter.

4. *Seam A2*

Lapisan ini terdiri batupack (*silicified coal*) yang sangat keras, layer menerus pada bagian *roof* dan beberapa melensa pada bagian *middle* dengan tebal ± 20 cm dan tebal *seam* ± 13 meter

5. Lapisan antara (*Interburden*) A2 dan B1

Lapisan ini terdiri dari batubara sisipan diantara *seam A2* dan B1 dengan tebal 0,5-0,7 meter dan tebal lapisan 15-18 meter

6. *Seam B1*

Lapisan terdiri dari 4 pita pengotor berupa batulempung lanauan, menerus membentuk layer mengikuti lapisan batubara dengan tebal 1-15 cm, dan tebal lapisan ini ± 12 meter.

7. Lapisan antara (*Interburden*) B1 dan B2

Lapisan *interburden* terdiri dari batu lanau yang mempunyai tebal 13-16 meter.

8. *Seam B2*

Lapisan ini terdiri dari 1 pita pengotor berupa batu lempung lanauan dengan tebal 1-15 cm.

9. Lapisan antara (*Interburden*) B2 dan C

Lapisan *interburden* ini berupa batupasir, kandungan mineral berupa glaukonit, struktur laminasi, dan batu lempung, dengan tebal 35-38 meter.

10. *Seam C*

Lapisan ini memiliki 3 pita pengotor berupa batulempung lanauan, menerus membentuk layer mengikuti lapisan batubara dengan tebal *seam C* ± 13 meter.

11. Lapisan antara (*Interburden*) C dan D

Lapisan ini terdiri dari batu lanau, batu pasir dan beberapa kandungan mineral glaukonit sehingga berwarna hijau keabu-abuan dengan tebal 80-90 meter.

12. *Seam D*

Lapisan ini mempunyai tebal ± 4 meter.

13. Lapisan antara (*Interburden*) D dan E

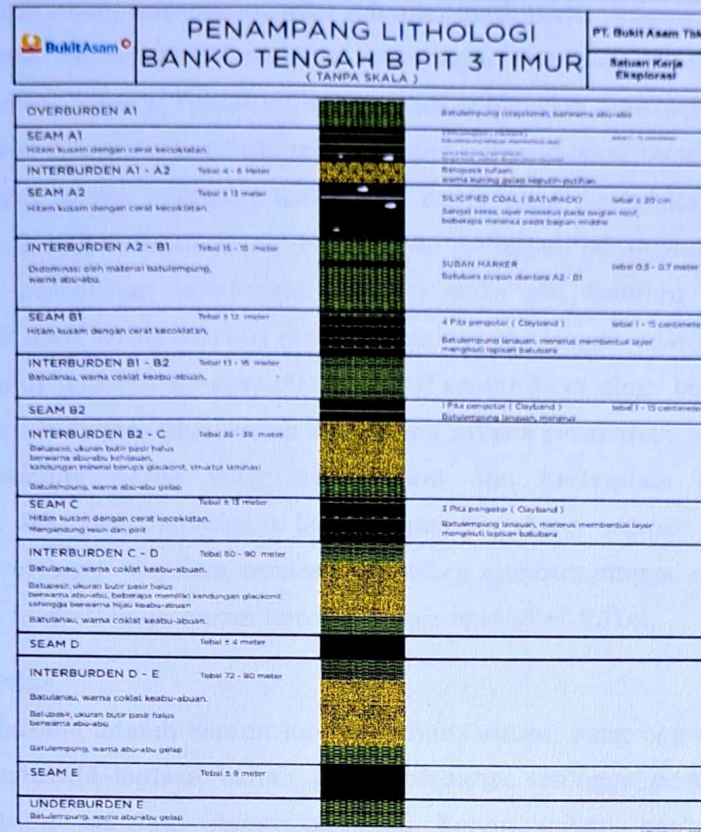
Lapisan ini terdiri dari batu lanau, batu pasir, dan batu lempung dengan tebal 72-80 meter.

14. *Seam E*

Lapisan ini mempunyai tebal ± 9 meter.

15. Lapisan *Underburden* E

Lapisan ini terdiri dari batu lempung.



Gambar 1. Statigrafi Pit 3 Timur Banko Tengah

(Sumber : Satker Penunjang Tambang PT Bukit Asam, Tbk, 2023)

II.3 Batubara

Batubara merupakan salah satu sumber energi di dunia. Batubara adalah campuran yang sangat kompleks dari zat kimia organik yang mengandung karbon, oksigen, dan hidrogen dalam sebuah rantai karbon. Menurut undang-undang no 4 tahun 2009 tentang mineral dan batubara, batubara ialah endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara ilmiah dari sisa tumbuh-tumbuhan dan bisa terbakar. Dalam pengertian lain, batubara adalah batuan sedimen(padatan) yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan, serta berwarna coklat sampai hitam, yang sejak pengendapannya terkena proses fisika dan kimia yang menjadikan kandungan karbonnya kaya (Arif, 2014).

Dalam pembentukannya, banyak faktor yang mempengaruhi proses pembentukan batubara. Tahap awal proses pembentukan batubara adalah gambut. Dalam proses penggabutan harus terdapat kesetimbangan *biotektonik* yang tidak terganggu agar bisa terbentuk kondisi lingkungan untuk pembentukan batubara.

Setelah gambut terbentuk, dibutuhkan tahapan berikutnya yang mengubah bahan baku batubara ini menjadi batubara seutuhnya. Tahapan ini dikenal dengan tahapan pembatubaraan. Tahap ini merupakan diagenesis atau perubahan pada gambut akibat adanya pengaruh tekanan dan peningkatan temperatur sebagai hasil gabungan proses biokimia, fisik, serta kimia yang disebabkan pembebanan sedimen dalam kurun waktu lama. Pada tahap ini terjadi peningkatan kandungan karbon dan penurunan kandungan oksigen serta air. Gambut akan berubah menjadi *lignit* atau sering disebut dengan *brown coal*. Dengan adanya peningkatan temperatur dan tekanan terus-menerus, *lignit* selanjutnya akan berubah menjadi *sub-bituminus*. Batubara akan terus mengalami proses perubahan fisika dan kimia sehingga memiliki warna yang lebih hitam dan bertambah keras menjadi *bituminous*, lalu bisa meningkat lagi menjadi batubara *antrasit* yang memiliki kandungan tertinggi. Capaian proses perubahan gambut hingga *antrasit* dikenal juga sebagai tingkat kematangan batubara atau *rank* (Arif, 2014).

II.4 Overburden

Overburden adalah semua lapisan tanah/batuan yang berada di atas dan langsung menutupi lapisan bahan galian berharga sehingga perlu disingkirkan terlebih dahulu sebelum dapat menggali bahan galian berharga tersebut. Pemberaian lapisan tanah penutup (*overburden*) yang diawali dengan penggalian dan pengangkutan menuju are penimbunan (*disposal*). Pemindahan lapisan tanah penutup ini dilakukan dengan alat mekanis berupa alat gali muat yaitu *Excavator* dan alat angkut berupa *Dump Truck*. Pemberaian lapisan tanah penutup merupakan salah satu pekerjaan awal dalam suatu operasi pertambangan. Adapun dalam pekerjaan pemberaian lapisan tanah penutup ini sangat penting agar di dapat *stripping ratio* yang baik dan *recovery* batubara yang tinggi (Oemiati, dkk, 2020).

Pada proses peledakan *overburden* dapat dilakukan apabila pada *front* terdapat material *overburden* dengan parameter klasifikasi kemampugaruan (*ripping clant*) yang meliputi tingkat kekerasan tinggi, tingkat pelapukan yang rendah, serta pengaruh dari batas dan bidang diskontinuitas seperti jarak kekar, kemenerusan kekar, jarak pemisah kekar dan orientasi kekar berpengaruh terhadap penggalian yang menggunakan *Excavator*. Pada kondisi tertentu dapat mengakibatkan *bucket* alat gali mengalami kerusakan akibat lapisan material OB yang masif pada kondisi lain juga pemberaian *overburden* ini dilakukan karena

ketebalannya, pada kondisi dilapangan ketebalan *overburden* mencapai 4-16 meter, jadi dengan menggunakan kegiatan peledakan dapat mempercepat produksi.

II.5 Pola Pemboran

Pola pemboran merupakan pengaturan jarak antara lubang dalam satu baris (*spacing*) maupun jarak antara lubang tembak dengan bidang bebas (*burden*). Pengujian ini dengan menggunakan pola bujur sangkar dengan satu dinding bidang bebas. dimaksudkan untuk mendapatkan bongkaran hasil ledakan yang lebih banyak (Herman, dkk, 2015).

Kegiatan pemboran di pit 3 banko barat PT Bukit Asam dilakukan menggunakan mesin bor RTD55 dengan diameter 200 mm (7,875 inch). Bor ini menggunakan jenis bor *tricone bit*. Pola pengeboran untuk lubang ledak yang diterapkan adalah *staggered pattern (zig-zag)* dengan lubang bor tegak.

Pengeboran dan peledakan merupakan metode yang dominan dalam penggalian batuan penutup demi pencapaian target produksi. Pola pemboran dan pola peledakan yang baik sesuai geometri dapat menghasilkan hasil peledakan sesuai yang diharapkan. Salah satunya berupa fragmentasi batuan yang baik sehingga mendukung kinerja alat gali muat guna proses selanjutnya. Fragmentasi yang baik bersifat tidak terlalu halus atau kasar (*boulder*), melainkan optimal sesuai alat yang beroperasi (Munawir, dkk, 2015). Geometri pengeboran meliputi sebagai berikut :

a. Diameter Lubang Ledak

Ukuran diameter lubang ledak merupakan faktor yang penting dalam merancang suatu peledakan, karena akan mempengaruhi dalam penentuan jarak *burden* dan jumlah bahan ledak yang akan digunakan pada setiap lubangnya. Untuk lubang ledak kecil, energi yang dihasilkan akan kecil, sehingga jarak antara lubang bor (*spasi*) dan jarak ke bidang bebas (*burden*) haruslah kecil juga, dengan maksud agar energi ledakan cukup kuat untuk menghancurkan batuan, begitu pula sebaliknya. Penentuan lubang ledak yang ideal tergantung pada beberapa faktor, seperti : Volume massa batuan yang akan dibongkar, tinggi jenjang dan konfigurasi isian, tingkat fragmentasi yang diinginkan, alat bor yang tersedia dan kapasitas alat muat yang akan menangani material hasil peledakan.

b. Kedalaman Lubang Ledak

Kedalaman lubang ledak disesuaikan dengan ketinggian jenjang yang direncanakan. Pada prinsipnya kedalaman lubang ledak harus lebih besar dari tinggi jenjang. Adanya kelebihan lubang ledak (*subdrilling*) dimaksudkan untuk mendapatkan lantai jenjang yang relative rata.

c. Kemiringan Lubang Ledak

Arah pemboran secara teoritis ada dua, yaitu arah pemboran tegak dan arah pemboran miring. Pada peledakan jenjang posisi dari suatu lubang ledak dapat memberikan keuntungan dan kerugian dalam memperoleh hasil peledakan yang baik. Biasanya perusahaan tambang yang menggunakan alat bor dengan jenis putar-tumbuk (*rotary percussive*) akan menerapkan sistem pemboran miring, tetapi pada perusahaan terbuka yang mempunyai daerah operasi penambangan yang besar mempunyai kecenderungan menggunakan sistem tegak. Adapun keuntungan dan kerugian dari penggunaan kedua sistem tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pengeboran Tegak

- Keuntungan :

- Pada ketinggian jenjang yang sama, kedalaman lubang bor tegak lebih pendek dibandingkan dengan lubang ledak yang dibuat miring sehingga waktu yang diperlukan untuk pemboran lebih cepat.
- Pemboran dapat dilakukan dengan lebih akurat.
- Dapat dilakukan pemboran lebih dekat dengan dinding jenjang.

- Kerugian :

- Jenjang yang diperoleh kurang stabil dan mudah terjadi longsor.
- Kemungkinan timbulnya tonjolan (*toe*) pada lantai jenjang lebih besar.

2. Pengeboran Miring

- Keuntungan :

- Memperkecil bahaya longsoran pada jenjang.
- Lantai jenjang yang dihasilkan relatif rata.
- Fragmentasi hasil peledakan lebih baik.

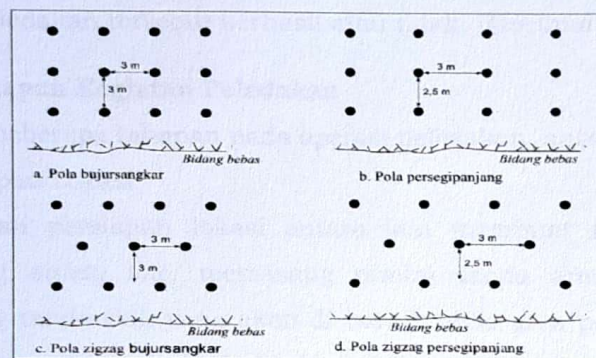
- Kerugian :

- Pada ketinggian jenjang yang sama, kedalaman lubang ledak yang sama dibuat lebih panjang dibandingkan lubang ledak tegak sehingga waktu yang diperlukan untuk pemboran lebih lama.
- Perlu pengawasan yang relatif lebih sulit.
- Pengisian bahan peledak menjadi lebih sulit.

d. Pola Pemboran

Pada umumnya ada tiga macam pola pemboran lubang ledak , yaitu :

1. Pola bujur sangkar (*square pattern*), yaitu jarak *burden* dan *spasi* sama.
2. Pola persegi panjang (*rectangular pattern*), yaitu jarak spasi dalam satu baris lebih besar dibanding *burden*.
3. Pola zig zag (*staggered pattern*), yaitu antar lubang bor dibuat zig-zag yang berasal dari pola bujur sangkar maupun persegi panjang.



Gambar 2. Pola Pemboran

(Sumber : Suwandi, 2009)

e. *Trim*

Trim adalah pembentukan batas yang stabil sehingga jenjang yang terbentuk rapih.

II.6 Peledakan

Peledakan merupakan kegiatan pemecahan suatu material atau batuan dengan menggunakan bahan peledak. Proses dimana terjadinya ledakan atau meledak yaitu perubahan bentuk bahan peledak dari fase padat menjadi fase gas dalam waktu yang sangat singkat disertai pelepasan energi yang besar dalam bentuk panas, sehingga menimbulkan tekanan dan bunyi yang dahsyat (Sahrul & Gunawan, 2017).

Blasting (peledakan) suatu proses pembeeraan material (*rock loosening*) yang memanfaatkan energi ledak dari hasil reaksi bahan-bahan peledak. Teknik peledakan digunakan sesuai dengan tujuan peledakan dan proses pekerjaan selanjutnya yang berhubungan dengan hasil peledakan untuk mendapatkan fragmentasi yang seragam dan sesuai dengan ukuran yang diharapkan maka harus memperhatikan desain peledakan dan keadaan geologi lapisan batuan. Pada Pit 3 Timur Banko Tengah dapat dilihat area *blastmap* di **lampiran 3**.

Peledakan tambang terbuka biasanya dilakukan jika secara perhitungan teknis dan ekonomis alat mekanis sudah tidak efisien untuk menggali material batuan. Namun tidak semua peledakan menghasilkan ukuran yang seragam, jika ukuran batuan hasil peledakan masih masih terlalu besar maka menyulitkan alat mekanis dalam hal ini adalah *excavator* untuk menggali material tersebut, semakin sulit menggali material tersebut maka akan berpengaruh kepada ketercapaian target produksi serta dapat dijadikan salah satu parameter untuk mengetahui apakah proses peledakan tersebut berhasil atau tidak. (Moelhim, 2000)

II.6.1 Tahapan Kegiatan Peledakan

Terdapat beberapa tahapan pada operasi peledakan, antara lain :

1. Persiapan Lokasi

Kegiatan persiapan lokasi antara lain membuat tanggul pengaman, memasang *safety line*, memasang rambu tanda area pemboran, serta memasang tanda titik yang akan di bor. Apabila area peledakan tidak rata atau berlumpur untuk dilakukan peledakan, maka akan diratakan terlebih dahulu dengan menggunakan *bulldozer*.



Gambar 3. Rambu Area Pemboran

2. Pengeboran Lubang Ledak

Apabila persiapan lokasi telah dilakukan, maka dilakukanlah kegiatan pengeboran. Pengeboran dilakukan berdasarkan titik lokasi bor yang telah dipasang sebelumnya. Kegiatan pengeboran menggunakan alat bor RTD55. Mata bor yang digunakan pada lokasi penelitian berdiameter 7 7/8 inch. Kedalaman pengeboran sesuai dengan rencana yang telah diajukan oleh departemen *drill & blast*. Umumnya kedalaman lubang ledak berkisar antara 7.5 – 8 meter. Pola pengeboran yang dipakai adalah *staggered pattern* atau pola pengeboran *zig-zag*.



Gambar 4. Alat Bor RTD55

3. Pengecekan Lubang Ledak

Lubang ledak yang telah dibor oleh tim *drilling* akan dilakukan pengecekan kembali oleh tim *blasting* sebelum dilakukannya pengisian bahan peledak. Pengecekan lubang ledak ini dilakukan untuk memastikan kembali jumlah lubang ledak dan kedalaman lubang ledak yang telah di bor.

4. Pengamanan Lokasi Peledakan

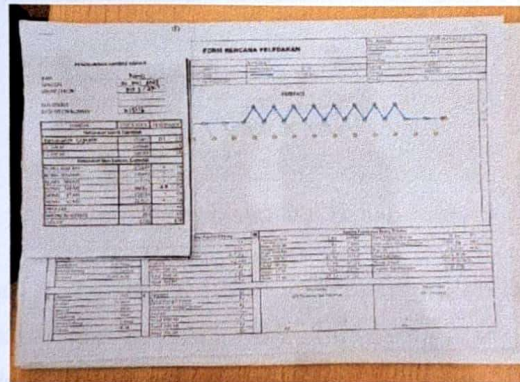
Pengamanan area peledakan dilakukan untuk membatasi area yang akan dilakukan peledakan. Dengan cara memasang bendera putih, pita barikade dan papan informasi area peledakan, serta pemberitahuan dengan alat komunikasi sebagai tanda peringatan bahwa akan ada pelaksanaan peledakan yang artinya tidak diperbolehkan masuk area peledakan tanpa seizin tim *blasting*. Pengawas memastikan bahwa tidak ada kegiatan penambangan dengan jarak 5 kali *burden* terhadap lokasi peledakan.



Gambar 5. Papan Informasi Lokasi Peledakan

5. Pembuatan Rencana Peledakan dan Kebutuhan Bahan Peledak

Pembuatan rencana peledakan dilakukan setelah pemeriksaan lubang bor dan *drill report* yang telah dibuat. *Drill report* berisi data jumlah lubang bor dan geometri lubang bor, hal ini dapat memudahkan dalam pembuatan rencana peledakan dan perhitungan kebutuhan bahan peledak.



Gambar 6. Form Rencana Peledakan

6. Administrasi Bahan Peledak

Administrasi bahan peledak dilakukan di gudang handak. Dimana pada tahap ini dilakukannya penandatanganan bon pengambilan bahan peledak oleh Kepala Teknik Tambang (KTT), kepala gudang handak, juru ledak, petugas pengamanan gudang handak dan pihak kepolisian. Kemudian dilakukannya pengambilan bahan peledak.

7. Pemeriksaan Fisik dan Pengambilan Bahan Peledak

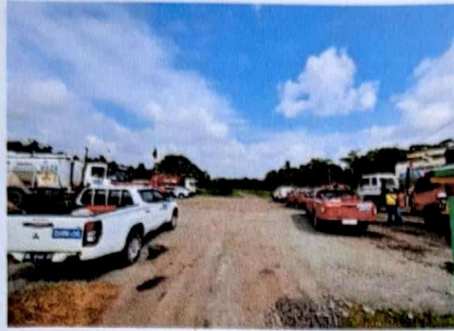
Pengambilan bahan peledak ramuan *Ammonium Nitrate*, *fuel oil*, *power gel* dan detonator diambil sesuai dengan kebutuhan yang telah direncanakan. Setelah bahan peledak dikeluarkan dari gudang handak, maka akan dilakukan pemeriksaan fisik dari bahan peledak. Hal tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa bahan peledak dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan. Setelah dilakukan pengecekan dan dinyatakan baik, maka *ammonium nitrate*, *fuel oil*, akan dimasukkan ke dalam ANFO *truck* agar dapat dicampur, sedangkan bahan peledak dan perlengkapan lainnya akan dimasukkan ke dalam unit pengangkutan bahan peledak dan perlengkapan peledakan



Gambar 7. Pengambilan Bahan Peledak

8. Pengawasan ANFO *Truck* dan Unit Pengangkutan Bahan Peledak

Pengawasan bahan peledak dilakukan dari gudang handak sampai lokasi peledakan. Pengawasan dimulai dengan satu unit pengawasan, disusul dengan unit pengangkutan bahan peledak, kemudian ANFO *truck* dan diakhiri dengan satu unit pengawasan lainnya. Hal ini dilakukan sesuai dengan tata kerja yang telah ditetapkan agar tidak adanya kendala dalam pengangkutan bahan peledak.



Gambar 8. Pengawasan Bahan Peledak

9. *Premming*

Premming merupakan penyambungan antara *power gel* dengan *non electric in hole delay*, *le delay*. Sebelum dilakukannya penyambungan tersebut juru ledak harus memeriksa terlebih dahulu *in hone delay* detonatornya. *Premming* ini digunakan sebagai pemicu yang dapat menginisiasi bahan peledak ANFO untuk menghancurkan batuan *massive* menjadi fragmentasi yang diinginkan



Gambar 9. Kegiatan *Premming*

10. Pengisian Bahan Peledak Utama

Pengisian bahan peledak memiliki komposisi dengan perbandingan 94,5% *Ammonium nitrate* dan 5,5% *Fuel Oil*. Bahan peledak yang telah dicampur tersebut akan dikeluarkan melalui pipa saluran ANFO *truck*. Pengisian pada lubang ledak kering akan dikontrol dengan tongkat yang telah diberi tanda ukuran tiap 1 meter, sedangkan pada lubang ledak yang ber air akan dimasukkan ke dalam plastik liner terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam lubang ledak. Pengawasan dan pengontrolan ini dilakukan agar jumlah ANFO yang diisi ke setiap lubang ledak tidak

mengalami kekurangan dan panjang kedalaman *stemming* yang diperlukan juga sesuai.



Gambar 10. Pengisian Bahan Peledak Utama

11. *Stemming*

Stemming dilakukan dengan mengisi bagian teratas lubang ledak menggunakan tanah, kerikil hasil *cutting* pengeboran. Pengisian ini dilakukan secara manual dengan menggunakan cangkul yang kemudian dipadatkan menggunakan tongkat. Panjang *stemming* harus sesuai dengan pengukuran sebelumnya. Hal tersebut dikarenakan jika *stemming* terlalu panjang dapat menyebabkan peledakan tidak maksimal dikarenakan efek peledakan terkurung didalam tanah, sedangkan jika *stemming* terlalu pendek dapat menyebabkan *flyrock* dikarenakan efek peledakan keluar dari lubang ledak.



Gambar 11. Kegiatan *Stemming*

12. *Tie Up*

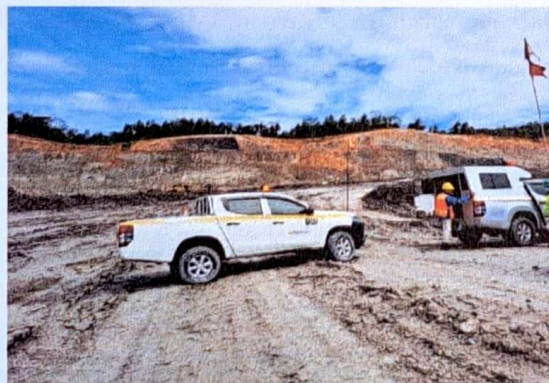
Hal pertama yang harus dilakukan pada tahap ini adalah menyesuaikan perangkaian pola peledakan yang direncanakan dengan kondisi aktual area peledakan untuk menentukan arah lemparan. *Tie up* merupakan tahap perangkaian pola peledakan. Pada tahap ini dilakukan distribusi *surface delay* detonator pada setiap lubang ledak sesuai dengan pola peledakan yang telah direncanakan.



Gambar 12. *Tie Up*

13. Evakuasi dan Pengamanan Sebelum Peledakan

Tahap ini dilakukan dengan memastikan unit dan manusia telah dievakuasi pada jarak aman serta seluruh *road blocker* berada di semua akses jalan masuk area peledakan.



Gambar 13. *Road Blocker*

14. Pelaksanaan Peledakan

Sebelum dilakukannya penembakan lubang ledak, maka harus dilakukan pengecekan akhir (*final check*) terlebih dahulu untuk memastikan rangkaian lubang ledak terhubung satu sama lain. Setelah itu akan dilakukan penarikan kabel utama (*lead in line*) dari lokasi peledakan tepatnya pada *initiation point* (IP) ke titik aman lokasi (lokasi *nonel starter*).

blasting machine). Setelah semua tahap dilakukan, maka akan disampaikan informasi kepada semua pihak yang terkait melalui channel radio dan membunyikan sirine sebagai tanda bahwa peledakan akan dilaksanakan dengan menekan tombol pada *nonel starter/blasting machine*.



Gambar 14. Pelaksanaan Peledakan

15. Monitoring Hasil Peledakan dan Pemeriksaan Setelah Peledakan

Evaluasi dan monitoring hasil peledakan dilakukan mulai dari getaran tanah, *flyrock*, dan fragmentasi yang dihasilkan dari peledakan yang dilakukan. Pemeriksaan area peledakan dilakukan setelah gas-gas hasil peledakan hilang. Pemeriksaan ini dilakukan untuk memastikan semua lubang ledak tidak terjadi *missfire*. Apabila peledakan aman dan tidak terjadi *missfire* maka akan disampaikan informasi bahwa peledakan telah dilaksanakan dan dinyatakan aman, sehingga aktivitas penambangan lainnya dapat kembali untuk dilaksanakan.



Gambar 15. Hasil Peledakan

II.6.2 Peralatan dan Perlengkapan Peledakan

1. Peralatan Peledakan

Peralatan peledakan merupakan seluruh komponen alat-alat yang dapat dipakai lebih dari satu kali dalam kegiatan peledakan. Peralatan peledakan yang digunakan, yaitu :

a. *Mobile Mixing Unit (MMU)* atau ANFO Truck

ANFO truck merupakan alat yang digunakan untuk mencampur bahan ramuan *Ammonium Nitrate* dengan *Fuel Oil* dan juga sebagai alat angkut serta alat pengisi ANFO ke dalam lubang ledak pada lokasi penelitian.



Gambar 16. ANFO Truck

b. *Mobil Box*

Mobil box merupakan unit khusus yang digunakan untuk mengangkut bahan peledak detonator listrik, nonel, *power gel*, dan aksesoris lainnya.



Gambar 17. Mobil Box

c. *Nonel Starter*

Nonel starter merupakan alat yang digunakan sebagai pemicu peledakan. Alat ini dipasang pada *Lead in Line* (LIL) yang merupakan kabel penghubung antara rangkaian peledakan dengan *nonel starter*.



Gambar 18. *Nonel Starter*

d. *Blasting Machine*

Alat pemicu pada peledakan listrik dinamakan *blasting machine* (BM) merupakan sumber energi penghantar arus listrik menuju detonator. Cara kerja *blasting machine* pada umumnya didasarkan atas penyimpanan atau pengumpulan arus pada sejenis kapasitor dan arus tersebut dilepaskan seketika pada saat dikehendaki.



Gambar 19. *Blasting Machine*

2. Perlengkapan Peledakan

Perlengkapan peledakan merupakan semua alat atau bahan yang hanya dapat dipakai sekali dalam setiap kegiatan peledakan. Perlengkapan peledakan yang digunakan ialah sebagai berikut :

a. Bahan Peledak

- ANFO

ANFO merupakan bahan peledak utama dengan campuran *Ammonium Nitrate* dan *Fuel Oil* (solar) dengan densitas ANFO yaitu 0,85 gr/cc. Campuran AN dan FO merupakan senyawa kimia yang berfungsi untuk memberikan energi pada saat peledakan berlangsung.



Gambar 20. ANFO

- *Power Gel*

Power gel merupakan bahan peledak peka detonator. *Power gel* dapat difungsikan sebagai primer pada operasi peledakan dengan sifat tahan terhadap air, serta dapat berfungsi sebagai pemicu bahan peledak ANFO dengan kekuatan ledak yang tinggi. *Power gel* berupa daya *gel magnum* yang bersifat tahan air.



Gambar 21. *Power Gel*

b. *Inhole Delay* (Non Elektrik)

Inhole delay merupakan detonator nonel yang dikaitkan ke dalam *power gel* (primer) yang digunakan sebagai penghubung antara *surface delay* dan *power gel*. *Inhole delay* memiliki beberapa waktu *delay* yang berbeda diantaranya 6000 ms, 3000 ms, 500 ms. Pada lokasi penelitian menggunakan *inhole* dengan *delay* 500 ms.



Gambar 22. *Inhole Delay*

c. *Surface Delay*

Surface delay merupakan kabel non elektrik yang digunakan sebagai penghubung antar lubang ledak satu dengan lubang ledak yang lain yang diletakkan diatas permukaan. *Surface delay* memiliki beberapa waktu *delay* yang berbeda diantaranya 109 ms, 67 ms, dan 42 ms. Pada lokasi penelitian menggunakan *surface* dengan *delay* 109 ms dan 42 ms, serta 500 ms sebagai *inhole delay*.



Gambar 23. *Surface Delay*

d. *Lead In Line* dan *Lead Wire*

Lead in line merupakan kabel yang digunakan sebagai penghubung antara rangkaian peledakan dengan *nonel strarter*, sedangkan *lead wire* digunakan sebagai penghubung antara rangkaian peledakan dengan *blasting machine* yang ditarik sepanjang 500 meter atau 600 meter dari lokasi peledakan.



Gambar 24. *Lead In Line*



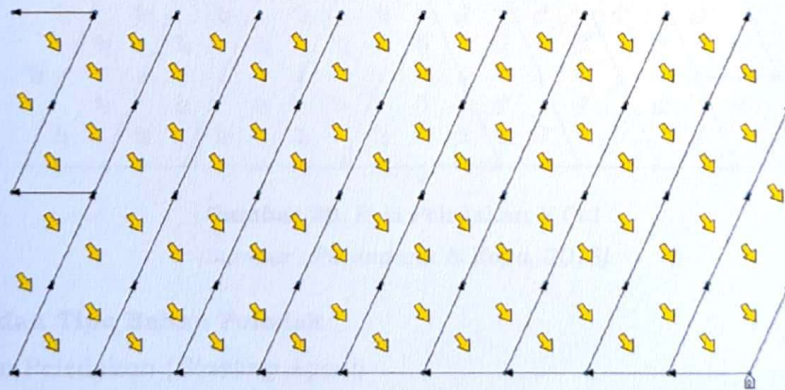
Gambar 25. *Lead Wire*

II.7 Pola Peledakan

Menurut Suwandi (2009) Pola peledakan merupakan suatu rangkaian waktu peledakan antara lubang bor dalam satu baris dengan lubang bor pada baris selanjutnya ataupun antar lubang bor yang satu dengan lubang bor yang lainnya. Pola peledakan ini digunakan berdasarkan deretan waktu peledakan juga bisa berpengaruh terhadap arah dan ukuran batuan yang telah diledakkan. Biasanya jika memakai masa tenggang rangkaian (*delay*) atuan yang telah meledak mempunyai ukuran frgamen yang lebih seragam atau bisa dikatakan persentase menghasilkan *boulder* lebih sedikit. Adapun beberapa beberapa pola peledakan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

II.7.1 Pola Peledakan Corner Cut (Echelon)

Pola peledakan *echelon* sering diterapkan pada lokasi peledakan yang memiliki tiga bagian *free face*. Arah lemparan nya adalah kearah pojok (*corner*).

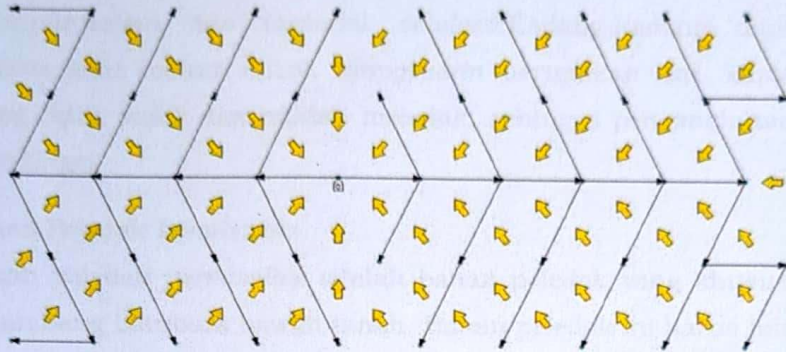


Gambar 26. Pola Peledakan Corner Cut (Echelon)

(Sumber : Ramadana & Kopa, 2018)

II.7.2 Pola Peledakan Box Cut

Pola peledakan ini sering diterapkan pada lokasi peledakan yang memiliki satu bagian *free face* yang permukaan bersentuhan langsung dengan udara yang arah nya vertikal. Pola peledakan ini menghasilkan bongkahan seperti kotak (*box*).

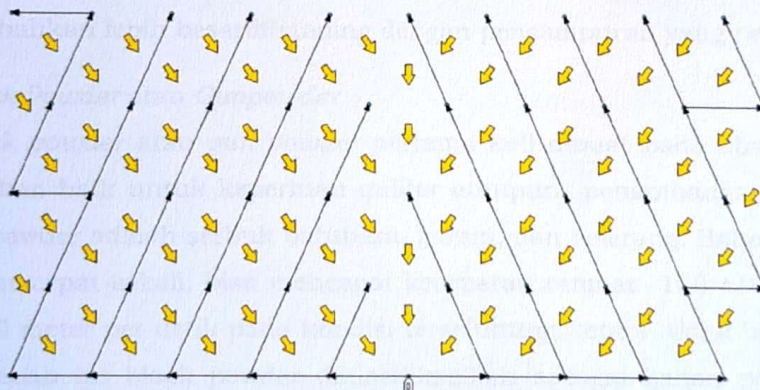


Gambar 27. Pola Peledakan Box Cut

(Sumber : Ramadana & Kopa, 2018)

II.7.3 Pola Peledakan V Cut

Pola peledakan ini sering diterapkan pada lokasi peledakan yang memiliki dua bagian *free face*. Arah lemparan hasil peledakan ke arah tengah dengan pola yang menyerupai huruf "V".



Gambar 28. Pola Peledakan V Cut

(Sumber : Ramadana & Kopa, 2018)

II.8 Jenis dan Tipe Bahan Peledak

A. Agen Peledakan (*Blasting Agent*)

Agen peledakan adalah campuran bahan-bahan kimia yang tidak diklasifikasikan sebagai bahan peledak, dimana campuran tersebut terdiri dari

bahan bakar (*fuel*) dan oksida seperti *Amonium nitrat* (NH_4NO_3), ANFO dan *slurries*.

B. Bahan Peledak Berbasis Nitrogliserin

Kandungan utama dari bahan peledak ini adalah *nitrogliserin*, *nitoglikol*, *nitrocotton* dan material *selulosa*. Kadang-kadang ditambah juga ammonium atau sodium nitrat. *Nitrogliserin* merupakan zat kimia berbentuk cair yang tidak stabil dan mudah meledak, sehingga pengangkutannya sangat beresiko tinggi.

C. Bahan Peledak *Permissible*

Bahan peledak *permissible* adalah bahan peledak yang khusus digunakan pada tambang batubara bawah tanah. Bahan peledak ini harus lulus beberapa tahapan uji keselamatan yang ketat sebelum dipasarkan. Pengujian terutama diarahkan pada keamanan peledakan dalam tambang batubara bawah tanah yang umumnya berdebu agar bahan peledak tersebut tidak menimbulkan kebakaran tambang. Bahan peledak ini biasanya dibuat dengan persentase NG kecil ditambah bahan bakar dan sodium nitrat serta *ammonium chloride*, reaksinya adalah: $\text{NaNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{NH}_4\text{NO}_3$ adalah *ammonium nitrat* sebagai oksidator dan *sodium chloride* yang mempunyai daya pendinginan yang besar, bahkan lebih besar dibanding dengan pencampuran yang pertama

D. *Black Powder* atau *Gunpowder*

Black powder atau *gun powder* pertama kali dibuat pada abad ke 13 dan digunakan baik untuk keperluan militer ataupun penambangan. Komposisi *black powder* adalah serbuk batubara, garam, dan belerang. Bahan peledak ini terbakar cepat sekali, bisa mencapai kecepatan rambat 100 ± 10 detik/meter atau 60 meter per detik pada kondisi terselubung, tetapi tidak bisa meledak. Oleh sebab itu *black powder* diklasifikasikan sebagai bahan peledak lemah (*low explosive*).

II.9 Sifat Fisik Bahan Peledak

Menurut Sujiman, dkk (2014) sifat fisik bahan peledak merupakan suatu kenampakan nyata dari sifat bahan peledak ketika menghadapi perubahan kondisi lingkungan sekitarnya. Ada beberapa sifat bahan peledak yang perlu diketahui antara lain :

1. Densitas, yaitu angka yang menyatakan perbandingan berat per volume.

2. *Sensitifity* (kepekaan) adalah sifat yang menunjukkan tingkat kemudahan inisiasi bahan peledak atau ukuran minimal *booster* yang diperlukan. Ada beberapa macam kepekaan, yaitu :
 - a. *Sensitifity to shock (Impact)*, yaitu kepekaan bahan peledak terhadap benturan.
 - b. *Sensitifity to head*, yaitu kepekaan bahan peledak terhadap panas (suhu).
 - c. *Sensitifity to initiation*, yaitu kepekaan bahan peledak terhadap ledakan pendahuluan (*initiator*)
3. *Water Resistance*, adalah kemampuan bahan pedeladak untuk menahan perembesan air.
4. *Chemical Stability*, adalah ukuran kestabilan bahan peledak dalam penyimpanan.
5. *Fumes Charactertic*, adalah sifat bahan peledak yang menggambarkan banyak sedikitnya gas-gas beracun yang terjadi sesudah peledakan seperti *CO* (*Carbon Monoksida*) dan *NO* (*Nitrogen Oksida*)

II.10 Karakter Detonasi Peledak

Karakter detonasi peledak menggambarkan perilaku suatu bahan peledak ketika meledak untuk menghancurkan batuan (Sujiman,dkk,2014). Beberapa karakter detonasi yang penting dikenal meliputi :

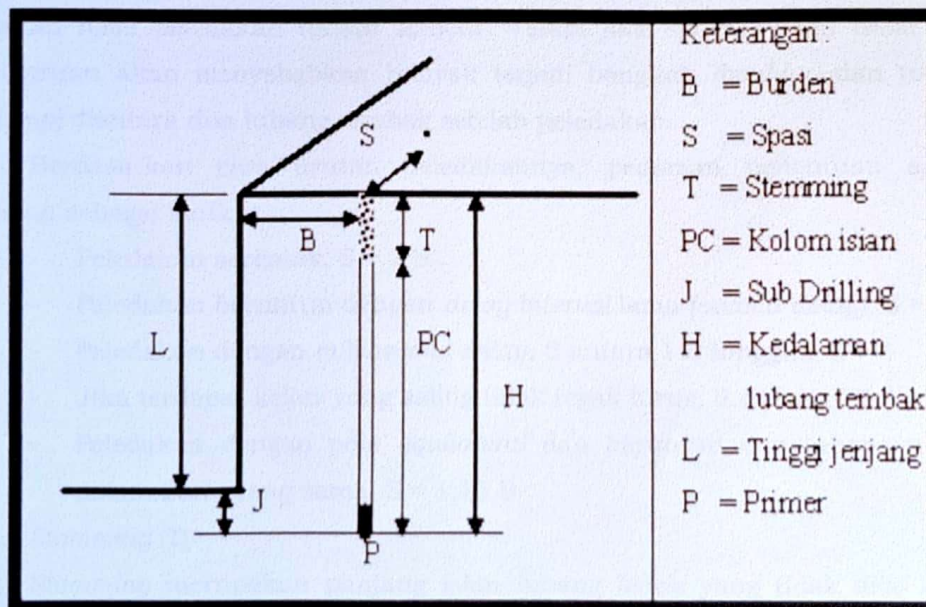
1. *Strength*, yaitu persentase atau kekuatan (daya ledak) bahan peledak yang dinyatakan dalam presentase berat nyata dari *NG* (*Nitroglycerin*) dari total berat bahan peledak jenis *Straight Dinamit*. Pada pengukuran *strength* digunakan dua metode pengukuran, yaitu:
 - a. *Weigh Strength* (berdasarkan berat bahan peledak).
 - b. *Volume Strength* (berdasarkan volume bahan peledak)
2. *Velocity of Detonation (VOD)*, adalah sifat bahan peledak yang mempunyai perambatan yang tinggi atau kecepatan perambatan peledakan dari bahan peledak. Pengukuran cepat rambat bahan peledak dapat dilakukan dengan menggunakan sumbu ledak yang telah diketahui kecepatannya.
3. *Detonation Pressure*, adalah tekanan yang terjadi disepanjang zona reaksi peledakan hingga terbentuk reaksi kimia seimbang sampai ujung bahan peledak yang disebut dengan *bidang Chapman – Jouguet (C-J Plane)*.

4. *Borehole pressure*, yaitu tekanan dari gas hasil peledakan yang akan mendorong batuan terlempar dan terlepas dari batuan induknya. Besarnya sekitar 50% tekanan detonasi.

Perhitungan karakteristik detonasi peledakan terdapat pada **lampiran 5**

II.11 Geometri Peledakan Menurut R.L.Ash

Geometri peledakan berpengaruh terhadap volume bongkaran batuan yang akan diledakkan. Adapun data-data yang dibutuhkan/diperoleh adalah kedalaman lubang ledak, pola peledakan, isian bahan peledak tiap lubang dan jumlah bahan peledak dalam satu kali kegiatan peledakan. Umumnya setiap peledakan menghendaki ukuran fragmentasi sesuai dengan target yang diterapkan. Fragmentasi terlalu besar (*boulder*) memerlukan pengolahan lanjutan agar pada proses peremukan batuan.



Gambar 29. Geometri Peledakan Menurut Teori R.L.Ash (1967)

Teori R.L.Ash

R.L.Ash membuat suatu pedoman perhitungan geometri peledakan jenjang berdasarkan pengalaman empirik yang diperoleh di berbagai tempat dengan jenis pekerjaan dan batuan yang berbeda-beda. Sehingga Ash berhasil mengajukan rumusan-rumusan empirik yang dapat digunakan sebagai pedoman dalam rancangan awal suatu peledakan batuan (Nurchahya, dkk 2015).

A. Burden (B)

Burden adalah jarak tegak lurus antara lubang tembak dengan bidang bebas yang panjangnya tergantung pada karakteristik batuan. Menentukan ukuran *burden* merupakan langkah awal agar fragmentasi batuan hasil peledakan, vibrasi, *airblast* dapat memuaskan.

B. *Spacing* (S)

Spacing adalah jarak antar lubang tembak dirangkai dalam satu baris dan diukur sejajar terhadap bidang bebas.

$$S = K_s \times B \dots \dots \dots (1)$$

Ket :

K_s = *spacing ratio* (1,0 – 2,0)

B = *burden* (m)

Spacing yang lebih kecil dari ketentuan akan menyebabkan ukuran batuan hasil peledakan terlalu hancur. Tetapi jika *spacing* lebih besar dari ketentuan akan menyebabkan banyak terjadi bongkah (*boulder*) dan tonjolan (*stump*) diantara dua lubang tembak setelah peledakan.

Berdasarkan cara urutan peledakannya, pedoman penentuan *spacing* adalah sebagai berikut :

- Peledakan serentak, $S = 2 B$
- Peledakan beruntun dengan *delay interval* lama (*second delay*), $S = B$
- Peledakan dengan *millisecond delay*, S antara 1 B hingga 2 B
- Jika terdapat kekar yang saling tidak tegak lurus, S antara 1,2 B - 1,8 B
- Peledakan dengan pola *equilateral* dan beruntun tiap lubang tembak dalam baris yang sama, $S = 1,15 B$

C. *Stemming* (T)

Stemming merupakan panjang isian lubang ledak yang tidak diisi bahan peledak, tetapi diisi material seperti tanah liat atau material hasil pemboran (*cutting*).

Fungsi *stemming* adalah :

- Meningkatkan *confining pressure* dari gas hasil peledakan.
- Menyeimbangkan tekanan di daerah *stemming*.
- Mengontrol kemungkinan terjadinya *airblast* dan *flyrock*.

Untuk menghitung panjang *stemming* perlu ditentukan dulu *stemming ratio* (K_t), yaitu perbandingan panjang *stemming* dengan *burden*. Biasanya K_t standar yang dipakai 0,70 dan ini cukup untuk mengontrol *airblast*,

flyrock dan *stress balance*. Apabila $K_t < 1$ maka akan terjadi. Untuk menghitung *stemming* dipakai persamaan :

$$T = K_t \times B \dots \dots \dots (2)$$

Ket :

K_t = *stemming ratio* (0,7 – 1,0)

B = *burden* (m)

D. *Subdrilling* (J)

Subdrilling merupakan kelebihan panjang lubang ledak pada bagian bawah lantai jenjang. *Subdrilling* dimaksudkan agar jenjang terbongkar tepat pada batas lantai jenjang sehingga didapat lantai jenjang yang rata setelah peledakan. Panjang *subdrilling* dipengaruhi oleh struktur geologi, tinggi jenjang dan kemiringan lubang ledak. Panjang *subdrilling* diperoleh dengan menentukan harga *subdrilling ratio* (K_j) yang besarnya tidak lebih kecil dari 0,20. Untuk batuan *massive* biasanya dipakai K_j sebesar 0,3. Hubungan K_j dengan *burden* diekspresikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$J = K_j \times B \dots \dots \dots (3)$$

Ket :

K_j = *subdrilling ratio* (0,2 – 0,4)

B = *burden* (m)

E. Kedalaman Lubang Ledak (H)

Kedalaman lubang ledak merupakan penjumlahan dari panjang *stemming* dengan panjang kolom isian (PC) bahan peledak. Kedalaman lubang ledak biasanya disesuaikan dengan tingkat produksi (kapasitas alat muat) dan pertimbangan geoteknik. Menurut R.L. Ash, kedalaman lubang ledak berdasarkan pada *hole depth ratio* (K_h) yang harganya berkisar antara 1,5 – 4,0. Hubungan kedalaman lubang ledak dengan *burden* adalah sebagai berikut :

$$H = K_h \times B \dots \dots \dots (4)$$

Ket :

K_h = *hole dept ratio* (1,5 – 4)

B = *burden* (m)

F. Panjang Kolom Isian (PC)

Panjang kolom isian merupakan hasil pengurangan dari kedalaman lubang ledak dengan panjang *stemming*. Persamaan :

$$PC = H \times T \dots\dots\dots(5)$$

Ket :

H = kedalaman lubang ledak (m)

T = *stemming* (m)

Double Deck Primer adalah metode pengisian bahan peledak (*charging*) kedalam lubang ledak (*hole*) dengan susunan dua kolom atau dua tingkat bahan peledak yang dipisahkan oleh material (*stemming*) antar kedua bahan peledak tersebut. Pada metode *Double Deck primer*, susunan bahan peledak pada setiap lubang ledak yaitu detonator dengan ikatan *Power gel (Primer)*, *ANFO*, *stemming* dalam, detonator dengan *Power gel (primer)* lagi, *ANFO* lagi, dan *stemming* luar. Cara ini dapat memperkecil *stiffness ratio* serta menghemat pemakaian bahan peledak, sehingga metode ini diharapkan dapat memberikan hasil fragmentasi yang lebih baik begitu juga dengan aspek lainnya

II.12 Fragmentasi Batuan

Menurut Koesnaryo (2001) fragmentasi yang baik ketika bongkah hasil peledakan kurang dari 15% dari jumlah batuan yang terbongkar per peledakan.

Fragmentasi adalah istilah yang digunakan sebagai petunjuk ukuran setiap bongkah batuan hasil peledakan. Keberhasilan suatu proses peledakan dapat dilakukan dengan menganalisis distribusi ukuran fragmentasi bongkah batuan. Fragmentasi yang optimal berkaitan dengan peningkatan waktu penggalian. Disamping itu, menginginkan fragmentasi hasil peledakan yang optimal juga memerlukan biaya dalam pemboran dan peledakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pembongkaran batuan dalam bentuk bongkah-bongkah (Abimanyu, dkk, 2018).

Perhitungan fragmentasi menggunakan dua metode yaitu metode *Kuz- ram* untuk menghitung secara prediksi dan menggunakan *software wifprag* untuk perhitungan melalui dokumentasi foto fragmentasi setelah kegiatan peledakan dilakukan.

Terdapat 3 analisis pada saat pengambilan data pada penelitian ini, ialah sebagai berikut :

1. *Image Analisis (Photographic)*

Image Analysis (Photographic) merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis fragmentasi hasil peledakan dari foto yang diambil secara aktual dilapangan. Dalam penelitian ini digunakan program aplikasi *wipfrag* untuk menganalisis foto fragmentasi material hasil peledakan. Setelah dianalisa dengan menggunakan *software* ini akan didapatkan *output* berupa distribusi *persentase* lolos material yang dihasilkan dalam suatu peledakan.

2. Analisis menggunakan Software Wipfrag

Pengamatan fragmentasi dilakukan dengan observasi dan mengambil foto hasil peledakan saat pengecekan yang diberikan 15 menit setelah peledakan dilakukan. Hasil fragmentasi yang dihasilkan dibandingkan dengan metode *single object* dengan menggunakan bola sebagai pembandingnya. Hasil peledakan diolah dengan *Image Analysis* menggunakan *software Wipfrag* dengan menganalisis ukuran fragmen pada gambar dalam *grayscale image*.



Gambar 30. Contoh Output Dari Software Wipfrag
(Sumber : Software Wipfrag)

Gambar fragmentasi yang digunakan diambil yang baik pada tumpukan material hasil peledakan dilapangan untuk mengurangi *noise* pada hasil gambar tersebut. *Software wipfrag* setelah dilakukan *input* data foto maka akan memberikan hasil berupa grafik beserta tabel distribusi kumulatif dari fragmentasi foto-foto yang telah dianalisis. Berdasarkan *software* ini juga dapat diketahui ukuran partikel *passing* dan *top size*.

Hasil fragmentasi dari kegiatan peledakan dilapangan dapat ditentukan langsung menggunakan Teknik *image analysis* dengan bantuan *software*.

Metode ini digunakan untuk mengevaluasi hasil fragmentasi yang terdapat pembanding di dalamnya, selanjutnya dari hasil foto dianalisis menggunakan *software wifprag*.

3. Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan metode dalam statistika yang digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat (Putri, dkk, 2018).

4. Analisis Fragmentasi Batuan Menggunakan Metode KUZ-RAM

Metode *Kuz-Ram* merupakan metode untuk menganalisis fragmentasi hasil peledakan berdasarkan geometri peledakan yang ada dilapangan. Persamaan empiris pada hubungan antara ukuran fragmentasi rata-ratadan penerapan energi peledakan tiap unit *volume* batuan (*powder factor*) telah dikembangkan oleh *Kuznetsov* sebagai fungsi dari tipe batuan. Persamaan *Kuznetsov* memberikan ukuran fragmentasi batuan rata-rata dan persamaan *Rossin-Rammler* menentukan persentase material yang tertampung di ayakan dengan ukuran tertentu. Langkah-langkah perhitungan fragmentasi peledakan dengan metode *Kuz-Ram* adalah sebagai berikut :

A. Perhitungan Faktor Batuan (A)

Menurut Lilly (1986) perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan pembobotan batuan. Persamaan faktor batuan adalah sebagai berikut:

$$BI = 0,5 \times (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \dots\dots\dots (6)$$

Faktor Batuan :

$$A = BI \times 0,12 \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

- BI = *blastibility index*
- RMD = *rock mass description*
- JPS = *joint plane spacing*
- JPO = *joint plane orientation*
- SGI = *specific gravity index*
- H = *hardness*
- A = faktor batuan

Untuk menentukan nilai faktor batuan secara umum dapat digunakan nilai pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Faktor Batuan

Rock Mass Description (RMD)	Pembobotan
<i>Powder / friable</i>	10
<i>Blocky</i>	20
<i>Totally masive</i>	50
Joint Plane Spacing (JPS)	Pembobotan
<i>Close (<0,1 m)</i>	10
<i>Intermediate (0,1-1,0 m)</i>	20
<i>Wide (>1.0 m)</i>	50
Joint Plane Orientation (JPO)	Pembobotan
<i>Horizontal</i>	10
<i>Dip out of face</i>	20
<i>Strike normal to face</i>	30
<i>Dip into face</i>	40
Specific Gravity Infuence	SGI = (25 × bobot isi) – 50
Hardness (H)	1-10

(Sumber : Milus, dkk , 2021)

B. Perhitungan Indeks Keseragaman Fragmentasi Batuan (n)

Menunjukkan tingkat keseragaman batuan dari hasil peledakan. Cunningham mengembangkan persamaan berdasarkan parameter desain peledakan. Berikut merupakan persamaan untuk menentukan indeks n.

$$n = \left(2,2 - 14 \frac{B}{D} \right) \times \left(1 - \frac{W}{B} \right) \times \left[\left(1 + \frac{SB-1}{2} \right)^{0,5} \right] \times \left(\frac{PC}{H} \right) \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

- n = indeks keseragaman
- B = *burden* (m)
- D = diameter lubang ledak (mm)
- W = standar deviasi lubang bor (m)
- SB = spasi / *burden* (m)
- PC = panjang kolom isian (m)
- H = tinggi jenjang (m)

C. Penentuan Ukuran Rata-Rata Fragmentasi

Ukuran rata-rata fragmentasi batuan hasil peledakan dapat ditentukan melalui persamaan Kuznetsov (1973) yaitu :

$$x = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left(\frac{E}{115} \right)^{-0,63} \dots\dots\dots (9)$$

D. Penentuan Distribusi Fragmentasi Batuan

Perhitungan distribusi fragmentasi batuan mengacu kepada nilai rata-rata fragmentasi dan indeks keseragaman batuan. Berikut persamaan yang digunakan :

$$Xc = \frac{x}{(0,639)^{\frac{n}{n}}} \dots\dots\dots (10)$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{xc}\right)^n} \dots\dots\dots (11)$$

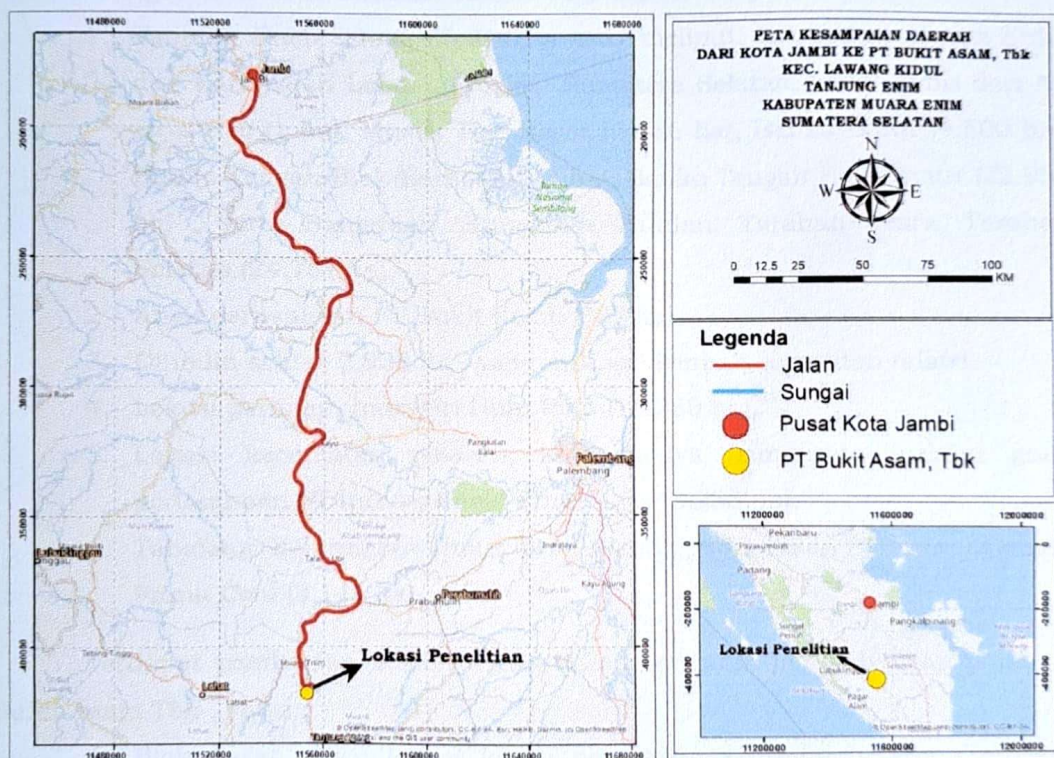
II.13 Digging Time Material Blasting

Digging time adalah waktu yang digunakan oleh alat gali muat untuk menggaruk material yang akan dipindahkan. Pengamatan terhadap *digging time* merupakan salah satu parameter untuk memberikan penilaian ukuran fragmentasi terhadap kinerja alat gali muat (Nilasari, dkk, 2017). Material yang memiliki karakteristik lunak dan berukuran kecil lebih memudahkan untuk menggali dibandingkan dengan material yang padat dan berbentuk bongkah. Analisis fragmentasi berdasarkan geometri peledakan aktual dengan menggunakan metode *kuz-ram* dan *software wipfrag 3.3* menghasilkan ukuran fragmentasi tertentu. Ukuran fragmentasi yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan standar fragmentasi maksimum 121 cm (1,21 m) yang ditentukan oleh perusahaan, begitu juga dengan waktu *digging time* maksimal perusahaan sebesar 12 detik. Jika ukuran fragmentasi dan waktu *digging time* material tidak sesuai standar yang ditetapkan oleh perusahaan, maka perlu dilakukan perencanaan geometri ulang. Perencanaan geometri ulang dilakukan untuk mencapai target yang ditentukan oleh perusahaan, baik target ukuran material, *digging time*, maupun target produksi peledakan, sebab fragmentasi peledakan sangat berpengaruh terhadap kinerja alat gali muat yang ada dilapangan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu

Kegiatan tugas akhir penelitian dilakukan di PT. Bukit Asam, Tbk secara administrasi terletak di daerah Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Jarak tempuh menuju lokasi PT Bukit Asam, Tbk dari Kota Jambi adalah ± 350 km dan dapat ditempuh melalui jalur darat dengan waktu ± 8 jam menggunakan kendaraan roda empat atau mobil pribadi melewati jalan lintas sumatera. Perjalanan ke lokasi penelitian tempat berlangsungnya kegiatan penelitian tugas akhir ditempuh menggunakan sarana bus karyawan PT Bukit Asam, Tbk sekitar ± 15 menit dari tempat tinggal peneliti selama melakukan penelitian.



Gambar 31. Peta Kesampaian Daerah

Waktu penelitian ini akan dilaksanakan dalam waktu 1 bulan terhitung dari tanggal keberangkatan peneliti ke PT Bukit Asam, Tbk. Jadwal kegiatan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Jadwal Kegiatan Pelaksanaan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Jadwal Pelaksanaan			
		Minggu ke-			
		1	2	3	4
1.	Studi Literatur				
2.	Orientasi Lapangan				
3.	Pengambilan Data				
4.	Pengolahan Data				
5.	Konsultasi dan Bimbingan				
6.	Penyusunan Laporan				

III.1.1 Lokasi Wilayah Izin Usaha Pertambangan

PT Bukit Asam,Tbk memegang hak izin usaha pertambangan (IUP) operasi produksi dengan total area kelolaan 93.977 ha yang berlokasi di :

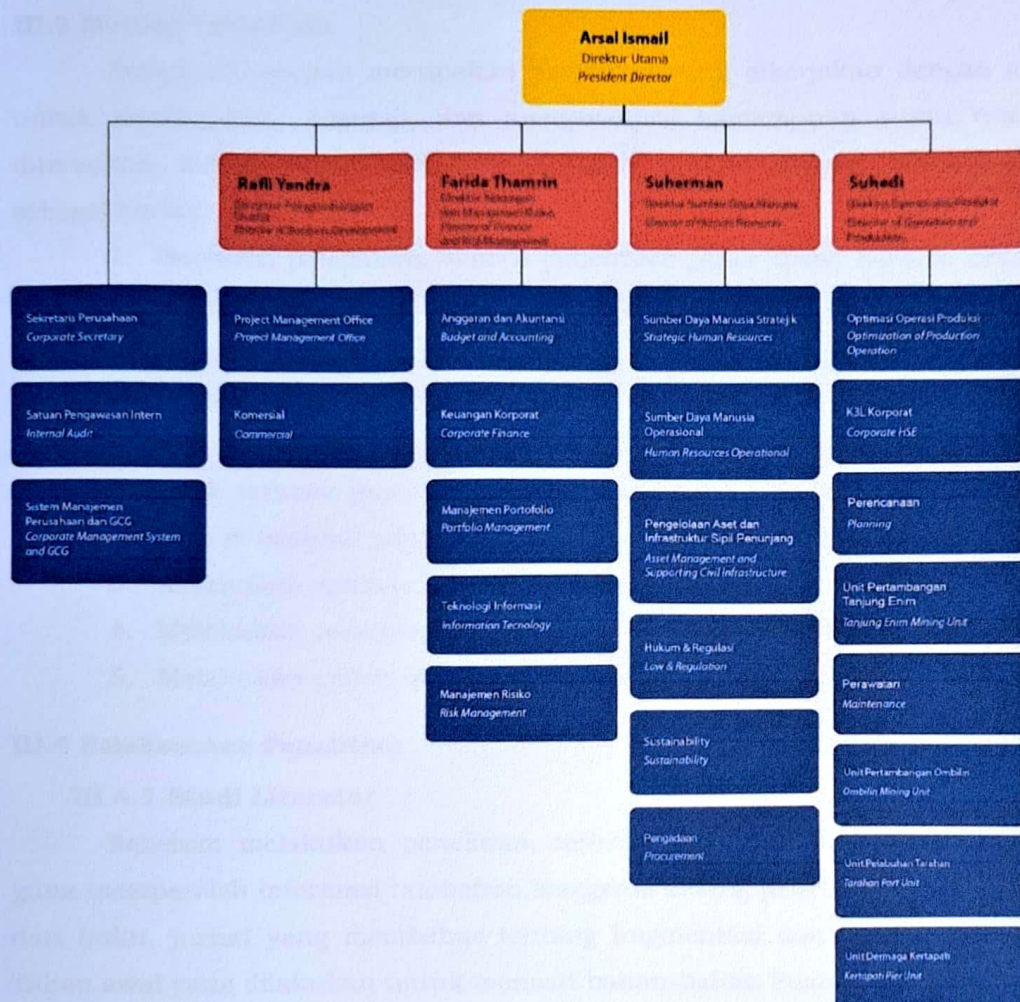
1. Tanjung Enim seluas 66.414 ha yang meliputi Kabupaten Muara Enim dan Kabupaten Lahat , Provinsi Sumatera Selatan, yang terdiri dari Air Laya (7.621 ha), Muara Tiga Besar (2.866 ha), Banko Barat (4.500 ha), Banko Tengah Blok Barat (2.423 ha), Banko Tengah Blok Timur (22.937 ha) , serta Banjarsari, Kungkulan, Bunian, Tarahan Utara, Tarahan Selatan (24.751 ha).
2. Anak perusahaan PT Bukit Kendi (882 ha).
3. Ombilin seluas 2.935 ha , yang meliputi lembah segar dan talawi.
4. Lokasi pernap, Indragiri Hulu Riau (18.230 ha).
5. Lokasi kecamatan palaran, kota madya samarinda melalui anak perusahaan PT Internasional Prima Coal (3.238 ha).
6. Tabalong, Kalimantan Timur melalui anak perusahaan PT Internasional Prima Coal (3.145 ha).

Terdapat pembagian 2 blok utama dalam kegiatan penambangan pada PT Bukit Asam,Tbk , yaitu :

1. Blok barat, yaitu lokasi lokasi penambangan yang berada disebelah barat sungai enim, antara lain Muara Tiga Besar, Tambang Air Laya Utara, TSBC, dan Quarry.
2. Blok timur, yaitu lokasi-lokasi penambangan yang berada disebelah timur sungai enim, yang berada dalam lokasi ini adalah banko barat dan banko tengah.

III.1.2 Struktur Organisasi PT Bukit Asam, Tbk

Penyusunan struktur organisasi ini telah dilakukan atas dasar spesifikasi lengkap dan fungsi yang melekat agar mampu mendukung pencapaian target secara optimal.



Gambar 32. Struktur Perusahaan

(Sumber : Satker Penunjang Tambang PT Bukit Asam, Tbk, 2023)

III.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan dan peralatan yang digunakan pada saat melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat Pelindung Diri (APD) digunakan untuk menjaga keselamatan peneliti.
2. Alat tulis lengkap digunakan untuk mencatat informasi dan data yang didapatkan pada saat penelitian.

3. Kamera yang digunakan untuk dokumentasi pada saat pengambilan data.
4. Aplikasi *Wifprag* (mengetahui persentase fragmentasi), kalkulator, laptop, dan lain sebagainya.

III.3 Metode Penelitian

Penelitian terapan merupakan penelitian yang dikerjakan dengan maksud untuk menerapkan, menguji, dan mengevaluasi kemampuan suatu teori yang diterapkan dalam pemecahan permasalahan praktis dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Geometri peledakan, seperti penentuan jarak spasi, *burden*, kedalaman lubang, diameter lubang, *stemming*, kolom isian, *subdrilling* dan tinggi jenjang.
2. Pengambilan gambar dari hasil peledakan untuk diinput ke *software wifprag*, gambar yang diambil sebanyak 2 foto dan foto yang diambil tidak terkena paparan matahari tujuannya agar pada saat pengolahan data di aplikasi *wifprag* foto dapat terbaca dengan sempurna.
3. Melakukan analisis pada metode *kuz-ram*.
4. Melakukan perhitungan dan analisis terhadap *digging time*
5. Melakukan perhitungan geometri peledakan usulan metode R.L.Ash.

III.4 Pelaksanaan Penelitian

III.4.1 Studi Literatur

Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan studi literatur guna memperoleh informasi tambahan mengenai bidang penelitian yang bersumber dari buku, jurnal yang membahas tentang fragmentasi dan geometri peledakan. Tahap awal yang dilakukan untuk mencari bahan-bahan Pustaka yang menunjang, baik yang bersifat sebagai dasar penelitian maupun yang bersifat sebagai pendukung dan referensi yang berkaitan dengan pola rangkaian peledakan, geometri peledakan dan jenis bahan ledak yang digunakan di PT Bukit Asam, Tbk.

III.4.2 Pengambilan Data

Pada proses pengambilan data terdapat 2 data yang dibutuhkan oleh peneliti berupa data primer dan data sekunder.

- Data Primer

Data primer merupakan data yang didapat langsung dari observasi di lapangan dengan bimbingan dari pembimbing lapangan. Adapun data primer yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Data geometri peledakan aktual. Data geometri peledakan didapat dengan mengukur *burden*, *spacing*, *stemming*, panjang kolom isian, dan kedalaman lubang ledak dengan alat bantu meteran. Dengan melakukan *survey* ke lokasi peledakan langsung dengan *crew drill & blast*.
2. Data dokumentasi fragmentasi batuan hasil peledakan. Adapun tujuan dari pengambilan dokumentasi fragmentasi batuan hasil peledakan ini adalah sebagai berikut:
 - a. Untuk mengetahui ukuran hasil fragmentasi batuan aktual pada peledakan.
 - b. Untuk digunakan sebagai sampel foto dalam melakukan analisis gambar dengan menggunakan *software wifprag* dengan menggunakan 2 foto sampel untuk dirata-ratakan hasil distribusi fragmentasi batuan tersebut. Adapun dasar pemilihan fotonya, yaitu:
 - Foto diambil pada saat pencahayaan bagus, yaitu siang hari yang cerah dengan posisi pengambilan gambar membelakangi matahari untuk meniadakan bayangan yang akan mengganggu.
 - Foto diambil langsung setelah kegiatan peledakan berlangsung agar gambar sesuai kondisi aslinya.
 - Diambil sebanyak 2-4 foto per kegiatan peledakan (dengan sudut pengambilan gambar yang dianggap mewakili).
 - Objek pembanding yang digunakan berupa helm safety, dengan diameter 22 cm, dan bola basket dengan diameter 17 cm
 - Kamera yang digunakan adalah kamera *handphone*.
 - c. Hasil perhitungan ukuran fragmentasi tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut akan memberikan hasil distribusi persentase ukuran ayakan tertentu.

3. Cycle time

- Data Sekunder

Metode tidak langsung (sekunder) merupakan studi pustakan yaitu dengan mengutip literatur dan lampiran dari data pustaka, instansi terkait, dan literatur-literatur yang terkait serta data atau arsip perusahaan yang mendukung pekerjaan penelitian. Adapun data primer yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Data karakteristik batuan dapat diperoleh dari literatur.
2. Peta IUP perusahaan, peta geologi, peta lokasi penelitian diperoleh dari PT. Bukit Asam,Tbk.
3. Data spesifikasi bahan peledak, yaitu :
 - a. Mengetahui densitas bahan peledak.
 - b. Mengetahui energi yang dikeluarkan.
 - c. Mengetahui kecepatan ledak dari bahan peledak tersebut.
4. Data tabel *Blastability Index* (BI)
5. Ketetapan *digging time*

III.4.3 Pengolahan Data

Data-data yang sudah dikumpulkan kemudian diolah menggunakan metode *Kuz-Ram*, *Image Analisis (Photographic)*, menggunakan aplikasi *Software Wifprag*, dan melakukan perhitungan geometri usulan menggunakan metode R.L.Ash.

Data geometri aktual diambil pada saat penelitian dengan ukuran yang bervariasi. Dengan data geometri aktual ini dapat diolah menjadi perbandingan bahwasannya geometri yang dilaksanakan masih kurang optimal dengan hasil fragmentasi yang tidak seragam.

Metode *Kuz-Ram* merupakan metode untuk menganalisis fragmentasi hasil peledakan berdasarkan geometri peledakan yang ada dilapangan. Persamaan empiris pada hubungan antara ukuran fragmentasi rata-ratadan penerapan energi peledakan tiap unit *volume* batuan (*powder factor*) telah dikembangkan oleh *Kuznetsov* sebagai fungsi daritipe batuan. Persamaan *Kuznetsov* memberikan ukuran fragmentasi batuan rata-rata dan persamaan *Rossin-Rammler* menentukan persentase material yang tertampung di ayakan dengan ukuran tertentu.

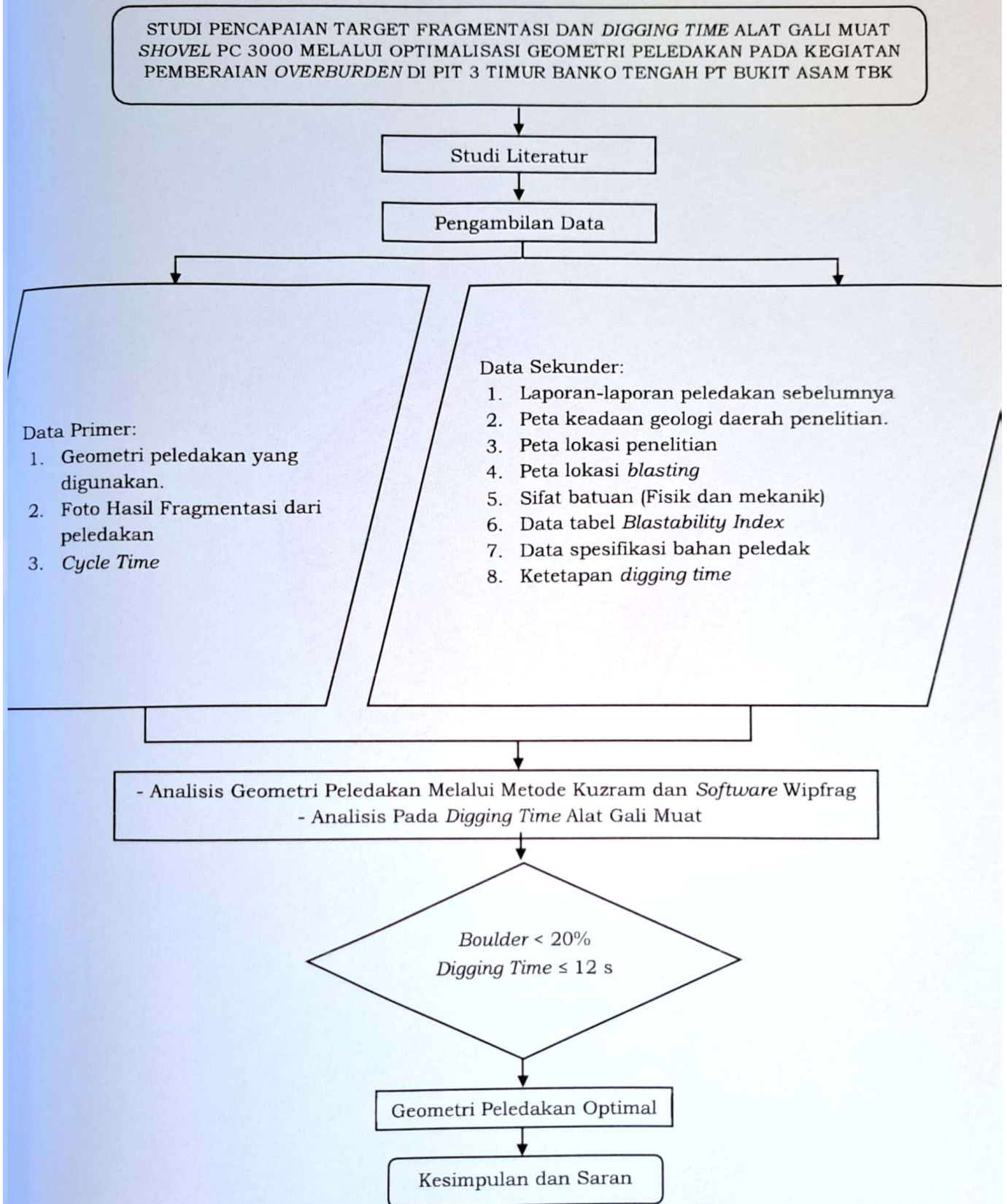
Image Analisis (Photographic) merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis fragmentasi hasil peledakan dari foto yang diambil secara aktual dilapangan. Dalam penelitian ini digunakan program aplikasi *Wifprag* untuk menganalisis foto fragmentasi material hasil peledakan. Setelah dianalisa dengan menggunakan *software* ini akan didapatkan *output* berupa distribusi persentase lolos material yang dihasilkan dalam suatu peledakan.

Wifprag merupakan program pemrosesan gambar (image analysis) untuk menentukan distribusi ukuran dari fragmen batuan pada proses penghancuran batuan yang terjadi pada proses penambangan. Sistem *wifprag* terdiri dari *software*, *computer*, *keyboard* dan *monitor*. Terdapat mekanisme untuk mengunduh gambar dari kamera digital ke dalam komputer. *Software wifprag* dirancang untuk menghitung distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan berdasarkan teknik digital image processing, gambar diambil dari hasil peledakan di lapangan dengan menggunakan kamera digital atau kamera *handphone*. Berdasarkan gambar yang diambil di lapangan dengan menggunakan kamera, *software* ini dapat melakukan penggambaran pada batas-batas (*split*) batuan secara otomatis maupun manual. Setelah dilakukan pengeditan, dari hasil penggambaran tersebut kemudian dianalisis ukuran (*compute size*) untuk menghasilkan suatu output berupa informasi distribusi fragmentasi yang ditampilkan dalam suatu grafik hubungan persen kumulatif material yang lolos dengan ukuran distribusi fragmentasi batuan yang ada pada gambar.

Melakukan analisis pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi hasil peledakan serta pengaruh fragmentasi hasil peledakan terhadap *digging time*.

Melakukan perhitungan geometri peledakan usulan menggunakan metode R.L.Ash untuk menentukan geometri yang pas agar mendapatkan fragmentasi yang seragam dan memudahkan kinerja alat gali muat dalam beroperasi.

III.5 Bagan Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian dilakukan pada area Pit 3 Timur Banko Tengah PT Bukit Asam,Tbk dimana pada lokasi penelitian ini melakukan kegiatan pembeaian *overburden* dengan melakukan kegiatan peledakan. Satuan kerja yang menaungi kegiatan peledakan ini ialah satuan kerja penunjang tambang yang terbagi menjadi 3 diantaranya: pemboran dan peledakan, sipil tambang, dan *quarry*. Peneliti ditempatkan pada pemboran dan peledakan. Pola pemboran yang diterapkan di lokasi penelitian yaitu Pit 3 Timur Banko Tengah menggunakan pola pemboran *staggered pattern* (pola *zig-zag*) dengan diameter 7.875 inchi yang menggunakan mesin bor RTD55 dengan arah pemboran tegak lurus dan rata rata ada 40 lubang yang di bor dengan *range* waktu dari 10 april - 24 mei dengan 10 kali kegiatan peledakan dengan target ukuran *boulder* 20% dan untuk ukuran yang dapat dikatakan *boulder* apabila mencapai ukuran 1/3 dari lebar *bucket* yaitu 121 cm/1,21 meter. Pola peledakan yang diterapkan di PT Bukit Asam,Tbk adalah *v-cut*, *box-cut*, dan *echelon cut*, tetapi pada lokasi penelitian di Pit 3 Banko Barat pola peledakan yang dipakai hanya pola peledakan *corner cut (echelon)* , penentuan pola peledakan ini tergantung pada lokasi peledakan dan juga berdasarkan *freeface*. Sistem penyalaan *hole by hole* menggunakan *surface delay* detonator 109 ms dan 42 ms dengan *in hole* detonator 500 ms. Sistem peledakan yang digunakan ialah non elektrik dan elektirik detonator dengan pemicu awal peledakan menggunakan nonel *starter* yang dihubungkan dengan kabel LIL (*Lead in Line*) dan menggunakan *blasting machine* yang dihubungkan dengan kabel *lead wire*. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **lampiran 1**.

IV.1 Kesesuaian Geometri Peledakan di Pit 3 Timur Banko Tengah

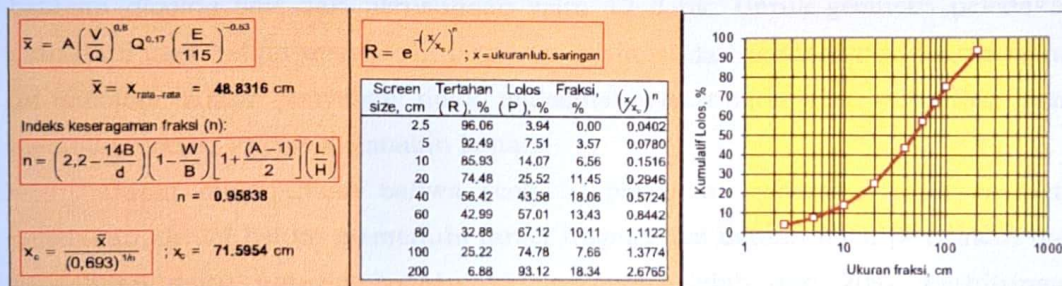
Pada proses pengambilan data terdapat perbedaan antara geometri peledakan yang telah dirancang dengan geometri aktual di lapangan, namun dari kedua geometri ini masih terdapat ukuran *boulder* 121 cm yang lebih dari 20%, hal ini tentunya menjadi penyebab tidak optimalnya kinerja alat gali muat terutama pada proses penggalian (*digging time*).

Tabel 3. Geometri Peledakan Pit 3 Timur Banko Tengah

No	Parameter	Geometri Peledakan		Satuan
		Aktual	Rancangan	
1	Burden (B)	6.94	8	Meter
2	Spacing (S)	8.37	9	Meter
3	Stemming (T)	4.02	4	Meter
4	Kolom Isian (PC)	2.89	4	Meter
5	Kedalaman (H)	6.94	8	Meter
6	Powder Factor (PF)	0.19	0.19	Kg/m ³
7	Digging Time	15.72	12	Detik

IV.1.1 Geometri Peledakan Rancangan

Perancangan geometri peledakan adalah tahap dimana peledakan diharapkan menghasilkan fragmentasi hasil peledakan yang sesuai rencana agar tercapainya tujuan peledakan. Geometri peledakan pada Pit 3 Banko Barat dirancang dengan memperhatikan karakteristik batuan yang akan diledakkan dan jenis bahan peledak yang akan digunakan. Pada PT Bukit Asam geometri rancangan yang digunakan dengan *burden* 8m, *spacing* 9m, *powder column* 4m, *stemming* 4m dan kedalaman lubang ledak 8m dengan *powder factor* 0,19 kg/m³.



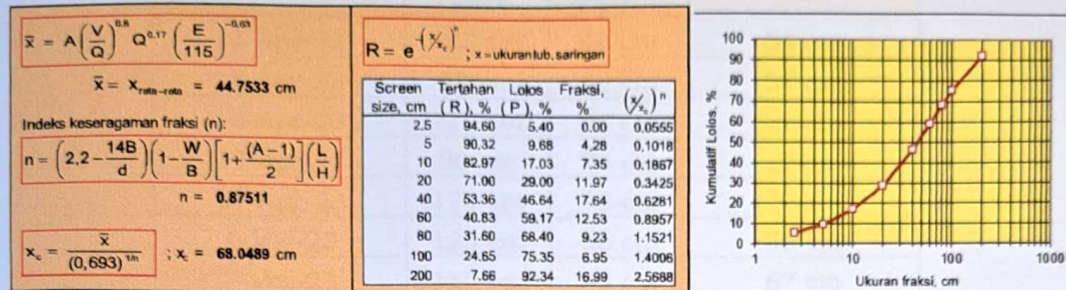
Gambar 33. Prediksi Geometri Peledakan Rancangan

Kemudian dilakukan perhitungan prediksi fragmentasi menggunakan metode *kuz-ram* sehingga didapatkan angka tertahan pada ukuran 121 cm sebesar 31,14% yang artinya belum memenuhi target fragmentasi dari perusahaan yaitu *boulder* ukuran 121 cm tidak lebih dari 20%.

IV.1.2 Geometri Peledakan Aktual

Geometri peledakan aktual di Pit 3 Timur Banko Tengah berbanding tebalik dengan geometri rancangan, dimana terdapat perbedaan antara kedua nya dengan rata-rata *burden* 6.94m, *spacing* 8,37m, *stemming* 4.02m, *powder column* (PC) 2.89m dengan kedalaman lubang ledak 6.94m dan *powder factor* 0,19 kg/m³.

Dalam penelitian ini mengumpulkan 10 data geometri peledakan aktual yang akan dijadikan data acuan sebagai data primer dalam mencari prediksi hasil fragmentasi batuan dari suatu peledakan. Hasil geometri aktual dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini.



Gambar 34. Prediksi Fragmentasi Geometri Aktual

Pada geometri peledakan aktual ini juga dilakukan perhitungan metode *kuz-ram* untuk mengetahui berapa persen ukuran *boulder* guna mengetahui penyebab tidak optimalnya kinerja alat gali muat *shovel* PC 3000. Kemudian didapatkan angka yang tertahan pada ukuran 100cm sebesar 24,65% dan ukuran 1,21 meter sebesar 30,53 % dengan *digging time* sebesar 15-17 detik, angka ini melewati batasan *digging time* dari perusahaan yaitu 12 detik. Untuk geometri peledakan aktual ini juga belum memenuhi target fragmentasi dari perusahaan, tentunya hal ini menjadi faktor penyebab tidak maksimal nya kinerja alat gali muat yang membuat waktu (*digging*) semakin lama.

Dapat disimpulkan bahwa geometri peledakan rancangan dan geometri peledakan aktual belum memenuhi target fragmentasi batuan hasil peledakan dari perusahaan yaitu ukuran *boulder* 121 cm tidak lebih dari 20%. Perhitungan geometri aktual dapat dilihat pada **lampiran 13**.

Fragmentasi aktual dari software Wipfrag 3.3 dan metode kuz-ram

Fragmentasi atau juga disebut batuan yang telah terberaikan merupakan hal yang penting dari hasil peledakan, karena fragmentasi merupakan dampak langsung yang terjadi dari hasil peledakan dan dapat mempengaruhi kegiatan selanjutnya (Abimanyu, dkk, 2018).

Fragmentasi batuan yang dihasilkan oleh peledakan terjadi akibat dari gelombang kejut yang dihasilkan dari pemantulan gelombang tekan pada bidang bebas, tegangan tarik dihasilkan dalam massa batuan berada sekeliling lubang ledak di sebabkan oleh tekanan gas-gas peledakan dan benturan antar fragmen

batuan yang terlempar diantara dinding-dinding batuan yang menimbulkan energi fragmennya tersampaikan akibat saling tumbukan antar fragmentasi tersebut.

Tabel 4. Fragmentasi Peledakan Aktual

Tanggal	P80 (CM)		Selisih ukuran
	Kuz-ram	Wipfrag	
12-Apr-23	100 cm	46 cm	54 cm
16-Apr-23	90 cm	33 cm	57 cm
18-Apr-23	110 cm	48 cm	62 cm
19-Apr-23	90 cm	73 cm	17 cm
27-Apr-23	120 cm	48 cm	72 cm
4-Mei-23	125 cm	66 cm	59 cm
7-Mei-23	110 cm	43 cm	67 cm
9-Mei-23	125 cm	58 cm	67 cm
10-Mei-23	100 cm	54 cm	46 cm
24-Mei-23	150 cm	42 cm	108 cm
Rata-Rata	112 cm	51.1 cm	60.9 cm

Tabel 5. Standar Deviasi

NO	X_i	$\bar{X}$	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	54 cm	60,9 cm	-6,9 cm	47,61
2	57 cm	60,9 cm	-3,9 cm	15,21
3	62 cm	60,9 cm	1,1 cm	1,21
4	17 cm	60,9 cm	-43,9 cm	1.927,21
5	72 cm	60,9 cm	11,1 cm	123,21
6	59 cm	60,9 cm	-1,9 cm	3,61
7	67 cm	60,9 cm	6,1 cm	37,21
8	67 cm	60,9 cm	6,1 cm	37,21
9	46 cm	60,9 cm	-14,9 cm	222,01
10	108 cm	60,9 cm	47,1 cm	2.218,41
Rata-rata	60,9 cm		Total	4.623,9

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{4.623,9}{10-1}}$$

$$SD = \sqrt{514,77} = 22,69$$

Berdasarkan hasil yang terdapat pada tabel 5 diatas dan dilakukan pada perhitungan *kuz-ram* (**lampiran 13**) dan *software wipfrag* (**lampiran 11**) terdapat perbedaan dari hasil rata-rata P80 dari hasil fragmentasi sehingga dapat disimpulkan bahwa fragmentasi dari hasil analisis menggunakan *software wipfrag* 3.3 mendapatkan angka P80 sebesar 51,1 cm dan dari perhitungan teoritis metode *kuz-ram* menghasilkan rata-rata P80 112 cm dengan selisih ukuran 60,9 cm, dari

hasil selisih tersebut kemudian dilakukan perhitungan standar deviasi **tabel 5** yang bertujuan untuk menilai apakah sampel bersifat heterogen atau tidak, memahami ragam nilai dalam data, serta memberikan informasi mengenai konsistensi hasil dan kekurangannya. Pada **tabel 5** menunjukkan standar deviasi hasil dari selisih ukuran antara hasil dari analisis *software wipfrag* dan *kuz-ram* dengan hasil *mean* (rata-rata) 60,9 dan hasil standar deviasi 22,69, yang berarti apabila hasil standar deviasi lebih kecil dari hasil *mean* (rata-rata) menunjukkan pesebaran data yang semakin baik atau nilai standar deviasi yang terletak pada rentang -2 hingga +2 disebut mewakili data.

IV.2 Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Batuan

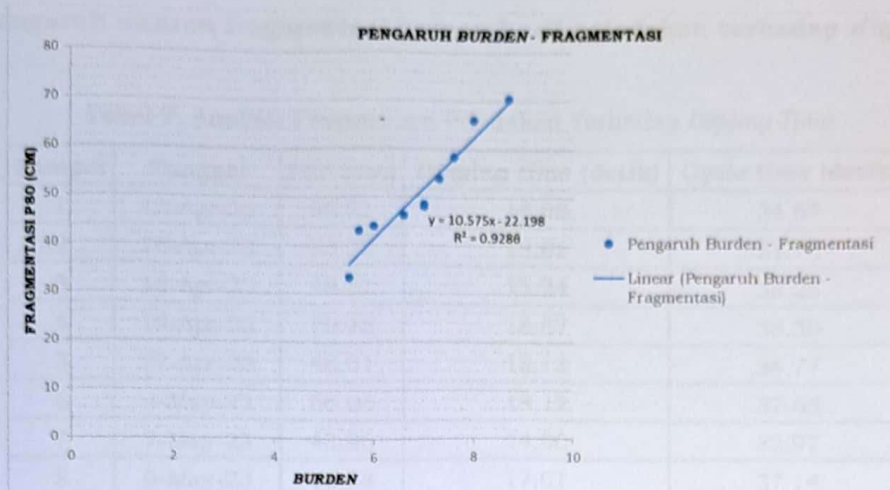
Faktor yang mempengaruhi fragmentasi hasil peledakan diantaranya: geometri peledakan, pola peledakan, waktu tunda, pemakaian bahan peledak, dan *powder factor*. Hal tersebut perlu diperhatikan karena faktor-faktor tersebut berpengaruh terhadap tercapai atau tidaknya suatu peledakan. Untuk memperoleh fragmentasi yang optimal maka yang harus diperhatikan ialah *burden* dan spasi dari geometri peledakan itu sendiri. Apabila jarak antara *burden* dan spasi dari geometri peledakan besar maka akan semakin besar pula fragmentasi batuan hasil peledakan tersebut. Memperbesar jarak antara *burden* dan spasi juga akan mengurangi penggunaan bahan peledak yang berlebihan. Sebaliknya, jika memperkecil jarak antar *burden* dan spasi, maka fragmentasi hasil peledakan akan semakin kecil tetapi memerlukan bahan peledak yang banyak pula.

Nilai koefisien determinasi R^2 menunjukkan bagaimana tingkat hubungan antara parameter-parameter yang diamati. Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis dipergunakan klasifikasi R^2 sebagai berikut :

Pengaruh *Burden* terhadap fragmentasi batuan hasil peledakan

Tabel 6. Hasil Dari Grafik Koefisien Determinasi Berdasarkan Geometri Peledakan Aktual

Parameter	Nilai R^2
Burden	0,9286
<i>Spacing</i>	0,7252
<i>Stemming</i>	0,9083
<i>Powder Column</i>	0,6555
Kedalaman Lubang Ledak	0,6656



Gambar 35. Grafik Koefisien Determinasi Pengaruh *Burden* Terhadap Fragmentasi

Terlihat pada gambar 35 pengaruh *burden* terhadap fragmentasi batuan menunjukkan trend naik dengan persamaan.

$$y = 10.575x - 22.298$$

Semakin besar ukuran *burden* maka semakin besar ukuran fragmentasi batuan yang dihasilkan. Hubungan koefisien determinasi (R^2) bernilai 0.9286, artinya besarnya pengaruh jarak *burden* terhadap fragmentasi hasil peledakan sebesar 92.86% sedangkan 7,14% disebabkan oleh faktor lain. *Burden* terlalu besar, fragmentasi kurang baik mengakibatkan energi ledakan yang dihasilkan menjadi berkurang. Sehingga ukuran batuan yang dihasilkan menjadi tidak seragam dan mengalami kenaikan nilai fragmentasi rata-rata (Lubis, dkk, 2020).

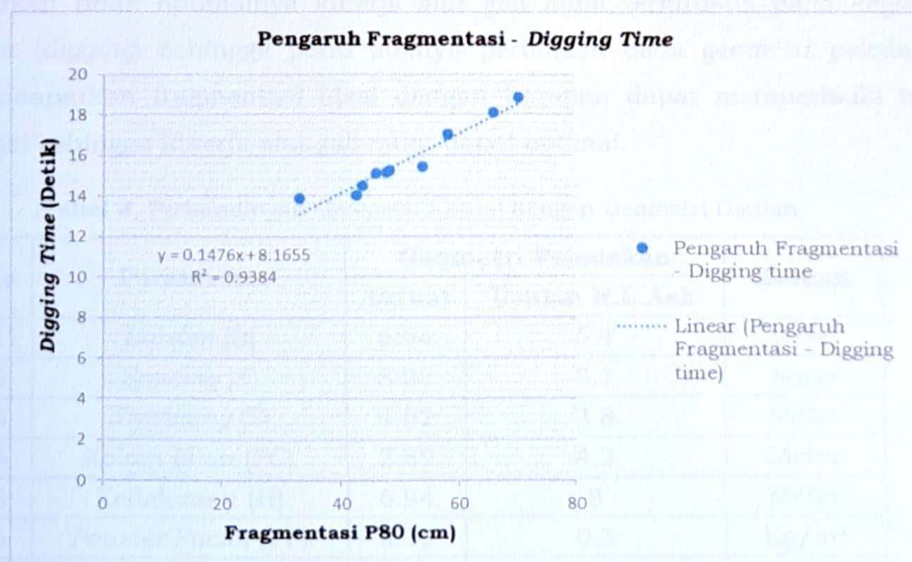
Berdasarkan uraian diatas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *burden* mendapatkan nilai R^2 yaitu 0,9286 yang artinya *burden* lebih berpengaruh terhadap hasil fragmentasi dibandingkan parameter geometri peledakan yang lain.

IV.3 Pengaruh ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan terhadap *digging time*

Tabel 7. Analisis Fragmentasi Peledakan Terhadap *Digging Time*

Sampel	Tanggal	P80 (cm)	<i>Digging time</i> (detik)	<i>Cycle time</i> (detik)
1	12-Apr-23	46.21	15.08	34.67
2	16-Apr-23	33.32	13.85	31.70
3	18-Apr-23	48.51	15.24	35.25
4	19-Apr-23	70.45	18.87	38.30
5	27-Apr-23	48.01	15.13	34.77
6	4-May-23	66.06	18.12	37.63
7	7-May-23	43.96	14.50	32.97
8	9-May-23	58.38	17.01	37.14
9	10-May-23	54.10	15.41	35.97
10	24-May-23	43.00	14.02	32.96
Rata-rata		51.20	15.72	35.14

Dari hasil analisa fragmentasi batuan hasil peledakan terhadap *digging time* pada tabel 8 diatas, dapat dilihat bahwa *digging time* rata-rata sebesar 15.72 detik dengan *cycle time* 35,14 detik dengan ukuran P80 33,32 cm menghasilkan *digging time* 13,85 detik dan ukuran P80 70,45 cm menghasilkan *digging time* 18,87 detik. *Digging time* material *blasting* menunjukkan semakin besar geometri peledakan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan alat gali untuk melakukan penggalian (Safarudin, dkk , 2016).



Gambar 36. Grafik Koefisien Determinasi Pengaruh Fragmentasi - *Digging time*

Terlihat pada gambar 36 pengaruh fragmentasi terhadap *digging time* menunjukkan trend naik dengan persamaan:

$$y = 0.1476x + 8.1655$$

Semakin besar ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan maka semakin besar pula waktu yang diperlukan dalam proses *digging time*. Hubungan koefisien determinasi (R^2) bernilai 0.9384, dalam artian bahwa besarnya pengaruh ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan terhadap waktu *digging time* alat gali muat sebesar 93,84% sedangkan 6,16% disebabkan oleh faktor lain. Ukuran fragmentasi terlalu besar akan mengakibatkan sulitnya alat gali muat untuk menggali batuan tersebut sehingga menyebabkan lama nya waktu *digging time* pada alat gali muat (Ghadafi, dkk, 2014).

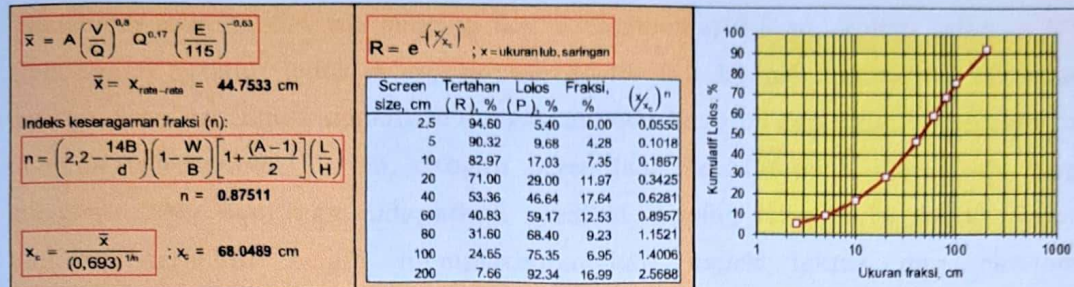
IV.4 Rekomendasi Geometri Peledakan Berdasarkan Perhitungan R.L.Ash

Berdasarkan analisis geometri peledakan aktual yang ada di Pit 3 Timur Banko Tengah, maka perlu dilakukan perbaikan pada geometri peledakan agar mendapatkan angka *digging time* optimal sehingga dapat meiningkatkan kinerja alat gali muat. Penelitian ini menganalisis ukuran fragmentasi hasil peledakan menggunakan metode *kuz-ram* dan *software wipfrag*, dengan data geometri peledakan dan *digging time* alat gali muat. Karena permasalahan yang terjadi pada lokasi penelitian yaitu adanya fragmentasi *boulder* hasil peledakan yang menyebabkan tidak optimalnya kinerja alat gali muat terkhusus pada kegiatan penggalian (*digging*) sehingga perlu adanya perbaikan pada geometri peledakan guna mendapatkan fragmentasi ideal dengan harapan dapat memperbaiki hasil fragmentasi sehingga kinerja alat gali muat dapat optimal.

Tabel 8. Perbandingan Geometri Aktual dengan Geometri Usulan

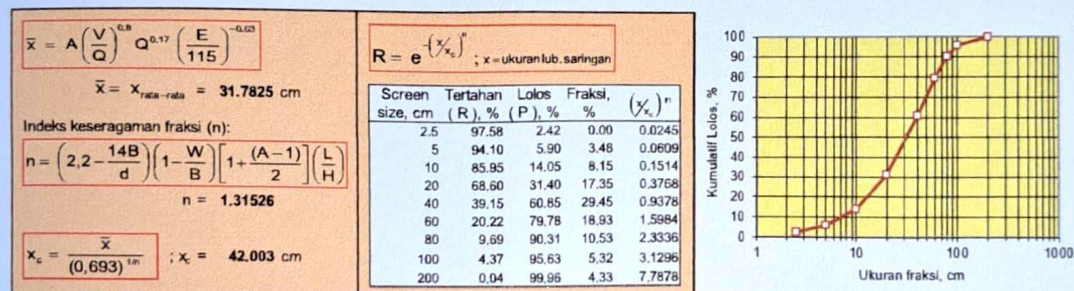
No	Parameter	Geometri Peledakan		Satuan
		Aktual	Usulan R.L.Ash	
1	<i>Burden</i> (B)	6.94	5.4	Meter
2	<i>Spacing</i> (S)	8.37	8.1	Meter
3	<i>Stemming</i> (T)	4.02	3.8	Meter
4	Kolom Isian (PC)	2.89	4.2	Meter
5	Kedalaman (H)	6.94	8	Meter
6	<i>Powder Factor</i> (PF)	0.19	0.3	Kg/m ³
7	<i>Digging Time</i>	15.72	12.74	Detik

Dari tabel 9 diatas dapat dilihat bahwa secara teoritis menurut R.L.Ash untuk diameter 7.875 inc mendapatkan nilai seperti yang tertera pada tabel 10, selanjutnya dari tabel tersebut kemudian di cari prediksi fragmentasi berdasarkan persamaan *Kuz-Ram*.



Gambar 37. Prediksi Fragmentasi Aktual

Dari gambar 37 di atas dapat dilihat prediksi fragmentasi menggunakan geometri aktual, dari data tersebut dapat dilihat bahwa masih terdapat material *boulder* sebesar 30,53%.



Gambar 38. Prediksi Fragmentasi Menggunakan Persamaan R.L.Ash

Dari gambar 38 diatas menghasilkan prediksi rata rata ukuran fragmentasi yaitu 31 cm, berdasarkan teori R.L.Ash sebesar dengan memperhatikan dari diameter lubang bor sebesar 7,875 inc penulis menyarankan untuk menggunakan geometri peledakan rancangan R.L.Ash. dengan menggunakan geometri yang disarankan, dapat di prediksi bahwa persentase *boulder* atau ukuran 121 cm hanya 9,13% yang artinya telah memenuhi standar dari perusahaan yaitu untuk ukuran *boulder* tidak lebih dari 20% sehingga diharapkan dapat memaksimalkan kinerja alat gali muat terutama mengoptimalkan pada *digging time*.

Dengan menggunakan perhitungan pada persamaan yang terdapat di **gambar 36** untuk mendapatkan target *digging time* 12 detik diperlukan ukuran *boulder* dibawah 20%, dan setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut didapatkan angka prediksi waktu *digging time* yang awalnya

dari 15-17 detik, kemudian didapatkan prediksi waktu *digging time* hanya 12,74 detik,

Mengacu dari Munawir dkk (2015) bahwa semakin kecil geometri peledakan maka akan menghasilkan fragmentasi yang semakin kecil. Sehingga dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa geometri usulan berdasarkan R.L.Ash dengan parameter *burden* 5,4 m, *spacing* 8,1 m, *stemming* 3.8 m, kolom isian 4.2 m, kedalaman lubang ledak 8 m, *powder factor* 0,3 kg/m³, kemudian dilakukan perhitungan prediksi fragmentasi dengan metode *kuz-ram* dan didapatkan rata rata ukuran fragmentasi 31 cm, dengan persentase *boulder* telah memenuhi target dibawah 20% dan juga didapatkan prediksi *digging time* 12,74 detik. Namun prediksi tersebut belum mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis dilapangan. Untuk perhitungan prediksi *digging time* dapat dilihat pada **lampiran 14.**

BAB V PENUTUP

V.1 Kesimpulan

1. Geometri peledakan rancangan tidak sesuai dengan geometri peledakan aktual, dengan angka yang sesuai hanya pada *powder factor* yaitu 0,19 kg/m³ sedangkan parameter yang lainnya ada yang lebih besar ataupun lebih kecil dari rancangan geometri.
2. Dari hasil grafik koefisien determinasi menunjukkan bahwa semua parameter geometri peledakan berpengaruh terhadap fragmentasi hasil peledakan, dan parameter yang paling mempengaruhi hasil fragmentasi ialah *burden* dengan nilai R² 0,9286.
3. Dari hasil grafik koefisien determinasi menunjukkan bahwa fragmentasi hasil peledakan sangat berpengaruh terhadap *digging time* dengan nilai R² 0,9384 yang berarti, semakin besar ukuran fragmentasi maka semakin lama waktu *digging* yang dibutuhkan dengan waktu prediksi *digging* yaitu 12,74 detik yang artinya telah memenuhi ketetapan dari perusahaan
4. Geometri peledakan usulan menurut R.L.Ash memiliki nilai *burden* 5,4 m, *spasi* 8,1 m, *stemming* 3,8 m, kedalaman lubang ledak 8 m, *powder column* 3,4 m, *powder factor* 0,3 kg/m³, dengan menghasilkan nilai prediksi *boulder* dibawah 20% dan nilai prediksi *digging time* ≤12 detik yang artinya telah memenuhi target dari perusahaan.

V.2 Saran

1. Perlu ada nya penambahan alat *support* seperti *bulldozer* untuk meratakan batuan hasil peledakan agar dapat mempermudah alat gali muat dalam beroperasi.
2. Perlu adanya indicator pada mobil MMU (Mobil Mixer Unit) untuk mengetahui berapa banyak jumlah ANFO yang dikeluarkan dari MMU tersebut, hal ini bertujuan agar pengisian ANFO pada lubang ledak dapat optimal.
3. Kegiatan *stemming* harus diperhatikan dengan baik mulai dari pengisian bahan peledak hingga pemadatan material penutup lubang ledak, karena kegiatan *stemming* sangat berpengaruh terhadap fragmentasi hasil peledakan dan *fly rock*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abimanyu, D., Tommy, T., & Sakhdillah. (2018). Evaluasi Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Batuan dan Biaya Peledakan Pada Pit Lisat PT. Teguh Sinar Abadi, Kabupaten Kutai Barat Provinsi, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 38-45.
- Arif, I. (2014). *Batubara Indonesia*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Cunningham. (1983). *The Kuz-Ram Model For of Fragmentation From Blasting*. Lulea, Sweden: First International Symposium on Rock Fragmentation By Blasting.
- Ghadafi, A. M., Syamsul, K., & Djuki, S. (2014). Kajian Teknis Geometri Peledakan Berdasarkan Analisis Blastability dan Digging Rate Alat Gali Muat Di PIT MT-4 Tambang Air Laya PT Bukit Asam (Persero) TBK Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 1-9.
- Herman, Sri, W., & Arif, N. (2015). Analisis Pengaruh Kedalaman Lubang Ledak, Burden, Spacing, Terhadap Perolehan Fragmentasi Batu Gamping . *Jurnal Geomine*, 184-188.
- Indonesianto, Y. (2013). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: Awan Poetih.
- Koesnaryo, S. (2001). *Teori Peledakan*. Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Teknologi Mineral dan Batubara.
- Kuznetsov. (1973). *The Modern Tehnique of Rock Blasting*. Sydney: John Wiley & Sons.
- Lilly, P. (1986). Metode Empiris Penilaian Blastabilitas Massa Batuan . *Seri-Simposium-Institut Pertambangan dan Metalurgi Australiasia*, 86-92.
- Lubis, M., Irvani, & Halsen.O. (2020). Kajian Teknis Geometri Peledakan Di Pit 2 Banko Barat PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Mineral*, 23-28.
- Milus, A., Eko, S., & Hafidz, N. (2021). Kajian Pengaruh Faktor Batuan Terhadap Fragmentasi Batuan Overburden Hasil Peledakan Berdasarkan Model Kuz-Ram. *Jurnal Himasapta*, 79-84.

- Moelhim, K. (2000). *Supervisory Teknik Peledakan*. Bandung: Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat : ITB.
- Munawir, Andi, I., & Anshariah. (2015). Analisis Geometri Peledakan Terhadap Ukuran Fragmentasi Overburden Pada Tambang Batubara PT. Pamapersada Nusantara Jobsite Adaro Kalimantan Selatan. *Jurnal Geomine Vol 1*, 9-13.
- Nilasari, G., Nurhakim, N., Riswan, R., & dan Gunawan, H. (2017). Evaluasi Geometri Berdasarkan Fragmentasi Hasil Peledakan Pada Penambangan Batugamping di PT. Semen Tonasa. *Jurnal Himasapta*, 2 (02).
- Nurchaya, Z., Zaenal, & Yuliadi. (2015). Pemodelan Geometri Peledakan dengan Menggunakan Persamaan R.L. Ash untuk Mengetahui tingkat Fragmentasi pada Kuari Batuan Andesit PT Batu Sarana Persada, Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 1-9.
- Nurditia, M. (2018). Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Digging Time di Pit 3 Banko Barat PT Bukit Asam (Persero), Tbk. *FTKE-Usakti*, 2-11.
- Oemiati, N., Revisdah, & Rahmawati. (2020). Analisa Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pada Pengupasan Lapisan Tanah Penutup. *Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 194-207.
- Pasymi. (2008). *Batubara (Jilid-1)*. Padang: Universitas Bung Hatta.
- Pfleider, E. (1972). *Surface Mining 1 Edition*. New York: The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers.
- Prodjosumarto, P. (1996). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Putri, M., Yulhendra, D., & Octova, A. (2018). Optimalisasi Geometri Peledakan Untuk Mencapai Target Fragmentasi dan Digability dalam Pemenuhan Target Produktivitas Ore di Pit Durian Barat dan Pit South Osela Site Bakan PT. J Resources Bolaang Mongondow Sulawesi Utara. *Jurnal Bina Tambang*, 558-607.
- Ramadana, S., & Kopa, R. (2018). Analisis Geometri Peledakan Guna Mendapatkan Fragmentasi Batuan Yang Diinginkan Untuk Mencapai Target Produktivitas Alat Gali Muat Pada Kegiatan Pmebongkaran Lapisan Tanah Penutup

- (Overburden) di Pit Menara Utara, PT. Arkananta Apta Pratista Jobsite PT.K. *Jurnal Bina Tambang* 3 (4), 1523-1535.
- Rostiyanti. (1999). *Produktivitas Alat Berat Pada Proyek Konstruksi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Safarudin, Purwanto, & Djamaluddin. (2016). Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan Digging Time Material Blasting. *Jurnal JPE*, 54-62.
- Sahrul, & Gunawan. (2017). Studi Teknis Peledakan Jenjang Pada Penambangan Batu Gamping Quarry Blok 4 Utara PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknologi Determinasi*, 1-12.
- Sujiman, Ibnu, H., & Adi, P. (2014). Kajian Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Batuan Hasil Peledakan Di Pit 4 TUC PT. Mega Prima Persada Kecamatan Loa Kulu Kutai Kertanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Pertambangan* 2, 1-12.
- Suwandi. (2009). *Diktat Kursus Juru Ledak XIV Pada Kegiatan Penambangan Bahan Galian*. Bandung: Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara.
- Toha, M. T. (2017). Analisis Pengaruh Struktur Joint Terhadap Fragmentasi Peledakan dan Produktivitas Alat Gali Muat PT. Semen Padang (Persero), Tbk. *Jurnal Pertambangan*, 1 (4).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Lokasi Penelitian Pit 3 Timur Banko Tengah

371000

371500

372000

372500

373000

373500

**BLOK
BANKO BARAT**

Lokasi Penelitian

**BLOK
BANKO TENGAH B**

PIT 3

**PETA SITUASI PENELITIAN
PT. BUKIT ASAM, TBK.**

KECAMATAN LAWANG KIDUL
KABUPATEN MUARA ENIM
PROVINSI SUMATERA SELATAN



BukitAsam

**RIFQI OKTARIANDA
F1D119008**

TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI



0 0,0750,15 0,3 0,45 0,6

Kilometers

SKALA 1:8.000

Source: Drone Image April 2023

Datum: WGS 1984

Zone: 48 South (48S)

Projections: Universal Transverse Mercator (UTM)

371000

371500

372000

372500

373000

373500

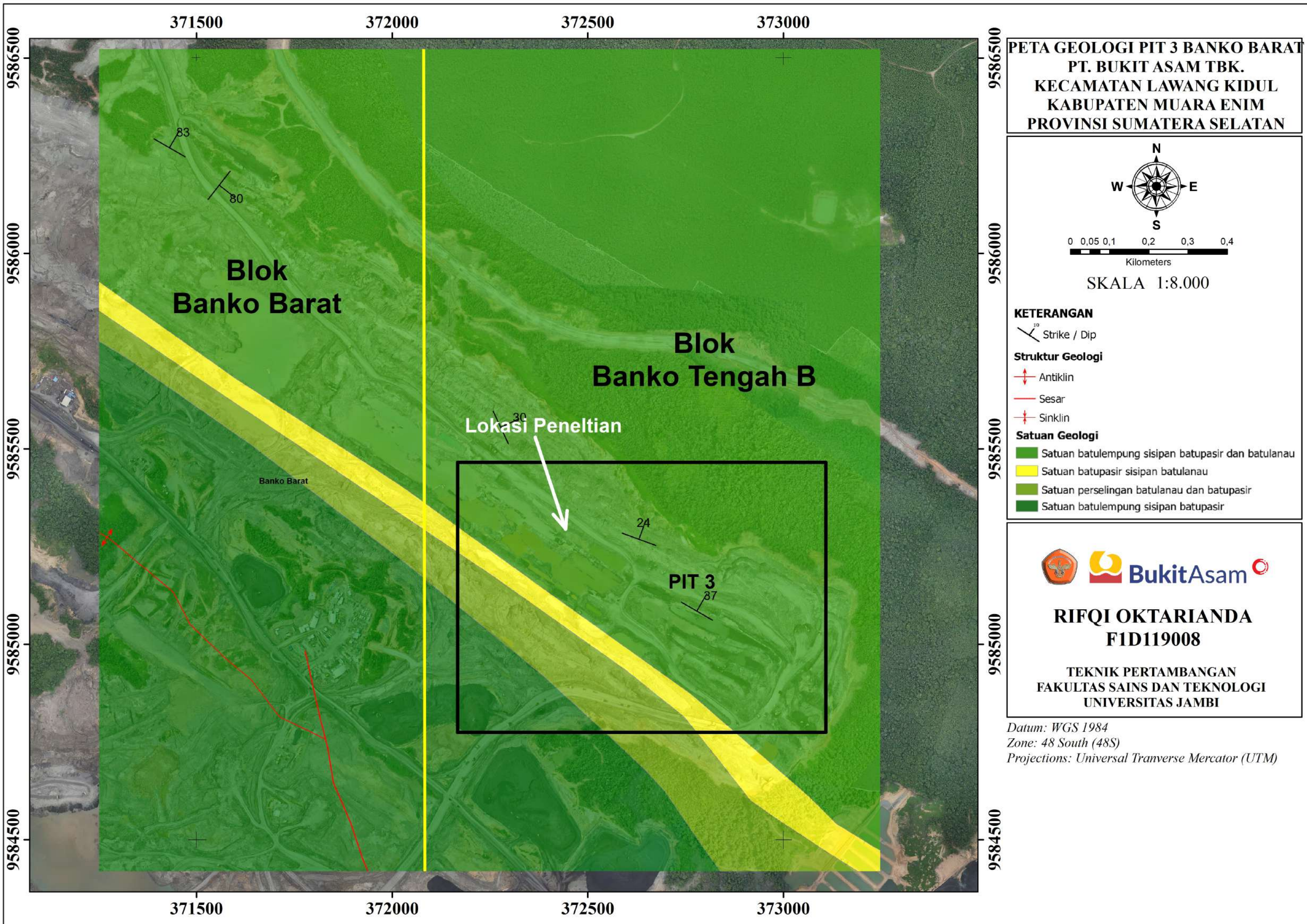
9586000

9585500

9585000

9584500

Lampiran 2. Peta Geologi Pit 3 Timur Banko Tengah



Lampiran 3. Peta *Blastmap* Pit 3 Timur Banko Tengah

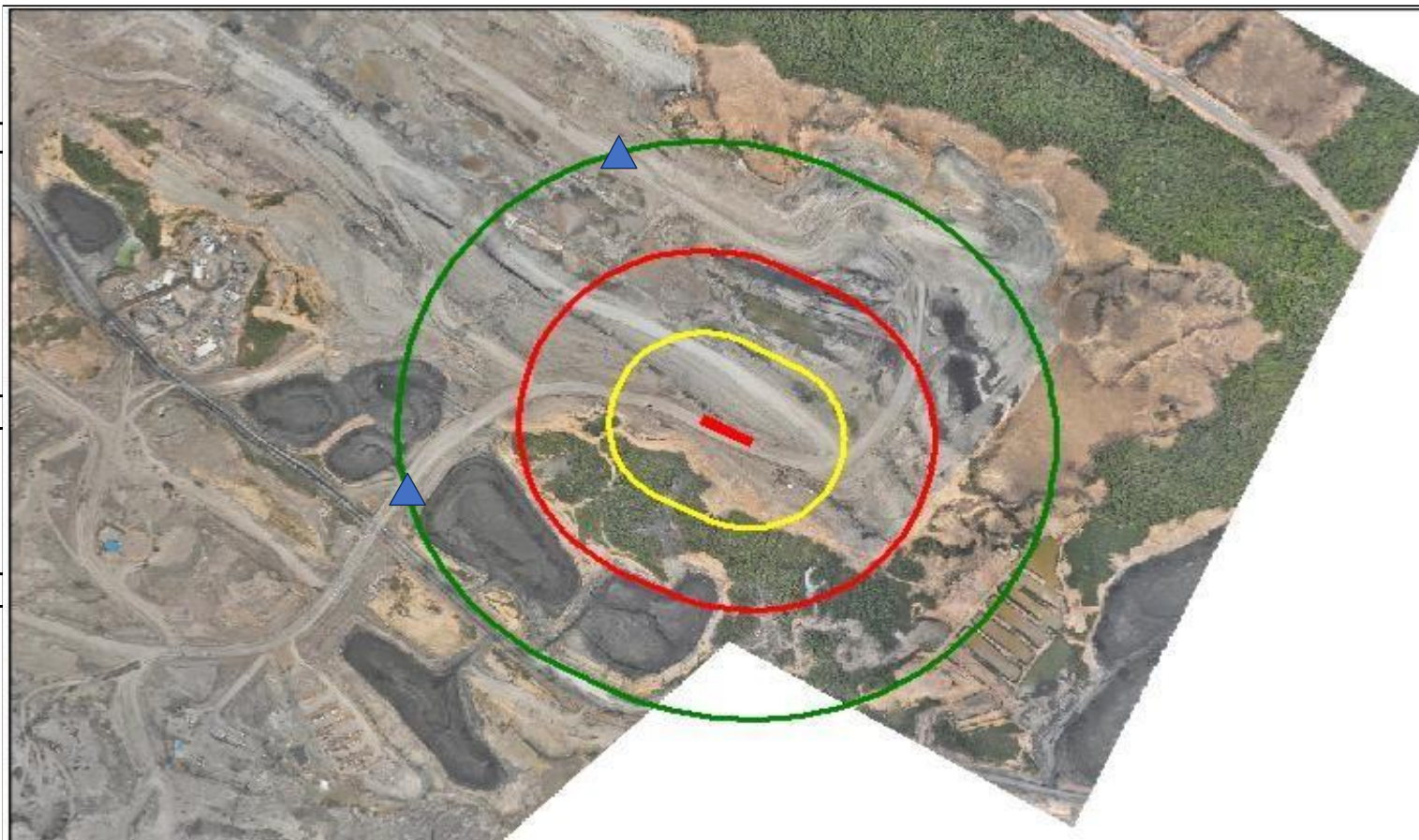
Lokasi : PIT 3 Banko Tengah
Tanggal : April - Mei
Jam : 12:00

LEGENDA

- : Jarak Aman Alat 300 meter
- : Jarak Aman Alat 150 meter
- : Jarak Aman Manusia 500 meter
- : Lokasi Blasting
- ▲ : Road Blocker

ROAD BLOCKER

Road Blocker	Name	Sign
Blocker 1		
Blocker 2		
Blocker 3		



Report by,

Received by,

NOTE :

Eva Dwi Anggraini

M. Sony Tanhar

Lampiran 4. Nilai Faktor Batuan Pit 3 Timur Banko Tengah

1. ROCK MASS DESCRIPTION (RMD)	PEMBOBOTAN	PT Bukit Asam,Tbk
<i>POWDER/ FRIABLE</i>	10	
<i>BLOCKY</i>	20	20
<i>TOTALLY MASIVE</i>	50	
2. JOINT PLANE SPACING (JPS)	PEMBOBOTAN	
<i>CLOSE (<0,1 m)</i>	10	
<i>INTERMEDIET (0,1 – 1,0 m)</i>	20	
<i>WIDE (>1,0 m)</i>	50	50
3. JOINT PLANE ORIENTATION (JPO)	PEMBOBOTAN	
<i>HARIZONTAL</i>	10	
<i>DIP OUT OF FACE</i>	20	
<i>STRIKE NORMAL TO FACE</i>	30	
<i>DIP INTO FACE</i>	40	40
4. SPECIFIC GRAVITY INFLUENCE (SGI)	SGI = (25 x Bobot Isi) – 50	1,75
5. HARDNESS (HD)	1-10	5,25

1. Rock Mass Description (RMD)

Mendeskripsikan massa batuan (RMD), dimana batuan pada Pit 3 Timur Banko Tengah termasuk ke dalam material yang keras dan *blocky* dengan nilai pembobotan sebesar 20.

2. Joint Plane Spacing (JPS)

Jarak spasi antar rekahan, dimana keadaan batuan pada lapisan di Pit 3 Timur Banko Tengah termasuk ke dalam golongan *wide* dengan nilai pembobotan sebesar 50.

3. Joint Plane Orientation (JPO)

Orientasi antar rekahan batuan pada Pit 3 Timur Banko Tengah termasuk ke dalam golongan *dip into face* dengan nilai pembobotan sebesar 40.

4. Specific Gravity Influence (SGI)

Diketahui : Densitas Batu Lempung = 2,07 ton/m³

$$\begin{aligned}
 \text{Specific Gravity Influence (SGI)} &= (25 \times \text{Bobot Isi}) - 50 \\
 &= (25 \times 2,07) - 50 \\
 &= 1,75
 \end{aligned}$$

5. Hardness (HD)

$$\text{Hardness (HD)} = 5,25$$

Untuk mendapatkan *Blastability Index (BI)* , parameter-parameter yang diperlukan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Blastability Index (BI)} &= 0,5 (\text{RMD} + \text{JPS} + \text{JPO} + \text{SGI} + \text{HD}) \\ &= 0,5 (20 + 50 + 40 + 1,75 + 5,25) \\ &= 58,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Batuan} &= \text{BI} \times 0,12 \\ &= 58,5 \times 0,12 \\ &= 7,02\end{aligned}$$

Lampiran 5. Perhitungan Karakteristik Detonasi Bahan Peledak

1. Strength

$$\begin{aligned}\text{Weight strength} &= \text{AWS ANFO (94,5\% : 5,5\%)} \\ &= 930 \text{ kcal/kg} \\ \text{Volume strength} &= \text{ABS}_{\text{handak}} = \text{AWS}_{\text{handak}} \times \rho_{\text{handak}} \\ &= 930 \text{ kcal/kg} \times 0,85 \text{ gr/cc} \\ &= 790,5 \text{ cal/cc}\end{aligned}$$

Dimana:

- AWS (*Absolute weight strength*) merupakan jumlah energi absolut yang tersedia secara teoritis berdasarkan komposisi bahan peledak, dalam satuan kcal/kg.
- ABS (*Absolute Bulk Strength*) merupakan jumlah energi yang tersedia didalam satuan volume bahan peledak

2. Velocity of detonation (VOD)

$$\text{VOD} = 3.383 \text{ m/s atau } 11.100 \text{ ft/s}$$

3. Detonation pressure

$$\begin{aligned}P_d &= 0,25 \times \text{VoD}^2 \times \rho_{\text{handak}} \\ &= 0,25 \times 3.383^2 \times 0,85 \\ &= 2.432 \text{ Mpa} \\ &= 24,32 \text{ kbars} \\ &= 352,64 \text{ psi}\end{aligned}$$

4. Borehole pressure

$$\text{Biasanya sekitar 50\% dari tekanan detonasi (} 50 \% \times 352,64 = 176,32 \text{ psi)}$$

Lampiran 6. Spesifikasi Alat Gali Muat *Shovel* PC 3000



Tabel 9. Spesifikasi Alat Gali Muat *Shovel* PC 3000

Bobot Kerja	250-261 Ton
Model Mesin	Komatsu SSA12V159
Power Mesin	940 kW
Voltage	6000-7200 V
Amperage (approximate)	96 A – 80A
Nomor Silinder	12
Kapasitas Bucket	15 m³
Kecepatan Putar Maks	4,6 rpm
Daya Gali Bucket	1136 kN
Jangkauan Penggalian Maks	13300 mm
Kedalaman Penggalian Maks	3300 mm
Tinggi Penggalian Maks	15100 mm
Kedalaman Pembuangan Maks	10200 mm
Lebar Buka-an Bucket	2330 mm

Lampiran 7. Spesifikasi Alat Angkut *Rigid Truck BELAZ-75135*



Tabel 10. Spesifikasi Alat Angkut *Rigid Truck BELAZ-75135*

Bobot Kosong Alat	110 Ton
Model Mesin	CUMMINS KTA 38-C
Nomor Silinder	12
Kapasitas Vessel	71,2 m³
Kapasitas Fuel Tank	1900 liter
Lebar Keseluruhan Alat	7000 mm
Tinggi Keseluruhan Alat	5900 mm
Panjang Keseluruhan Alat	7450 mm
Jarak Antar Dua Ban	5160 mm
Jarak As Roda Depan Dengan Sisi Samping Terluar HD	2850 mm
Jarak As Roda Belakang Dengan Sisi Samping Terluar HD	2900 mm
Tinggi Alat (Ban Atas Kabin)	3400 mm
Panjang Vessel	7450 mm
Jarak Terendah Ke Tanah	600 mm
Turning Radius	13000 mm
Overall Turning Radius	28000 mm
Maksimum Penyimpangan Belok Roda (<i>Steering Angle</i>)	42 Derajat

Lampiran 8. Spesifikasi Alat Bor RTD55



RTD55

Dimensions

Mast up - Mast Down

Length	10.54 m - 15.60 m	32.8 ft - 51.2 ft
Operating width	3.1 m	10 ft
Height	4.01 m - 15.20 m	13.2 ft - 49.9 ft

Transport dimensions

Length	15.60 m	51.2 ft
Operating width	3.1 m	10 ft
Height	4.06 m	13.3 ft
Total weight	36 288 kg	80 000 lbs

Undercarriage

Model	Reichdrill or equivalent	
Type	325 L	
Overall Length	3.60 m	11 ft. 10 in
Triple grouser	600 mm	23.62 in
Travel speed	1.45 - 2.41 km/h	0.9 - 1.5 mph
Gradeability	Up to 50 %	

Pulldown Pullback

Mast	12.5 m	41 ft.
Stroke	10.4 m	34 ft.
Pulldown	211.4 kN	47 517 lbf
Pullback	110 kN	24 725 lbf

Main frame

Leveling jacks	One front and two rear	
Bore diameter	127 mm	5 in.
Stroke	1219 mm	48 in.
Pad size	610 mm	24 in.

Power Pack

Tier III - Tier IV final

Engine type	Caterpillar C15	
Power	432 kW	580 hp
Speed	1800 tr/min	
Fuel Tank	1419 l	375 US gal

Compressor

Model	Reichdrill or equivalent		
Type	Single - Two stages screw oil flooded		
Volume	Min	25.5 m³/min	900 cfm
	Max	30.3 m³/min	1 070 cfm
Pressure	Min	8.6 bar	125 psi
	Max	25.5 bar	375 psi

Drill Pipe

Recommended hole size	127 - 172 mm	5 - 6 3/4 in
Recommended drill pipe length	9.14 m	30 ft
4+1 carousel	Ø 102 - 140 mm	4 - 5 1/2 in
Max drilling depth	45.57 m	149.6 ft
Single pass depth	9 m	29.6 ft

Rotary Head

Type	Dual motor system	
Speed	0 - 141 rpm	
Torque	7 292 Nm	64 543 lbf-in

Cooling system

Model	Multicore cooler package with thermostatically controlled fan	
Standard ambient	Up to 54.4°C	Up to 130° F

Specifications

Lampiran 9. Peralatan Peledakan

- a. Detonator Listrik
 - Merk : Detonator Listrik No.8
 - Produsen : IDL India
 - Leg Wire : 9 meter
- b. *In Hole Delay* Detonator
 - Delay Time : 6000 ms, 3000 ms, 500 ms
 - Panjang *Tube* : 12 meter
- c. *Surface Delay* Detonator
 - Delay Time : 109 ms, 67 ms, 42 ms
 - Panjang *Tube* : 9 meter
- d. *Ammonium Nitrate & Fuel Oil*
 - Merk : Dahana *Ammonium Nitrate*
 - Produsen : PT Dahana, Tasikmalaya, Jawa Barat
 - Komposisi : AN 95,5% dan FO 4,5%
 - Bentuk : *Porous Prilled* (butiran)
 - Jenis : *Blasting Agent*
 - Ketahanan Air : Buruk
 - Asap : Baik
 - Kecepatan Detonasi : 14.421 ft/s (4370 m/s)
 - Berat Jenis : 0,80 gr/cc
 - Kekuatan Ledak : 8.940 kg/cm²
- e. *Power Gel (Cartridge)*
 - Merk : Dayagel
 - Produsen : PT Dahana, Tasikmalaya, Jawa Barat
 - Jenis : Magnum 101 series
 - Sifat Terhadap Air : Sangat Baik
 - Diameter Dodol : 30 mm
 - Berat Jenis : 1,25 gr/cc
 - Berat : 182 gr / 0,18 kg
- f. Plastik Liner
 - Diameter Plastik : 3 inch

Lampiran 10. Perlengkapan Peledakan

a. Blasting Machine

- Buatan : Jepang
- Merk : Nippon Kayaku
- Type : T-500
- Tegangan : 15 KV
- Sumber Tenaga : DC 6 Dry Cell (sampai 500 detonator)
- Berat : 2 Kg

b. Blasting Ohmmeter

- Type : B01991-1
- Merk : Reo
- Daya Kontrol : Mengontrol sampai dengan 200 detonator

c. Lead wire

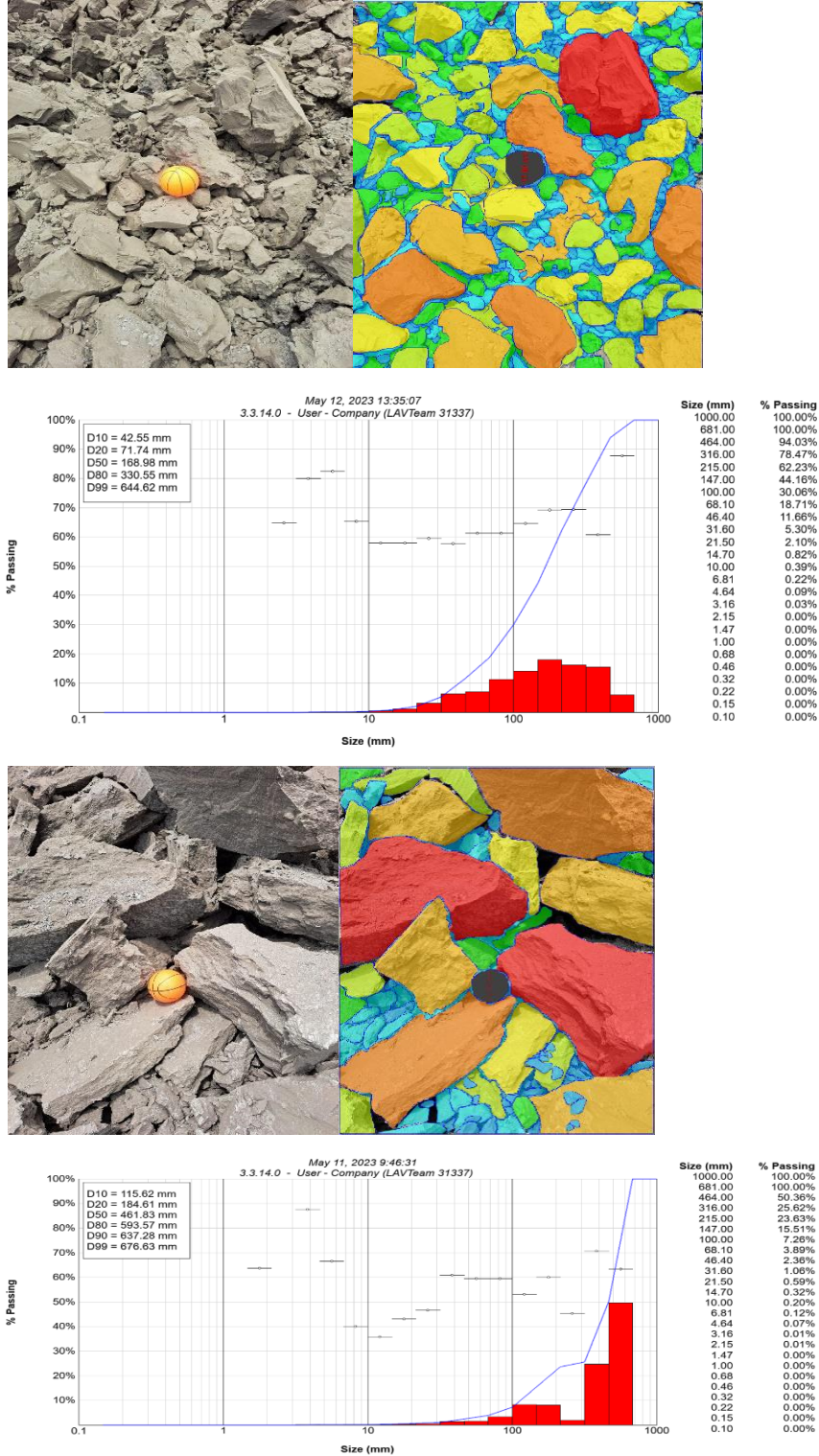
- Merk : Golden Leaves
- Type : Telp Wire
- Ukuran : 2 x 0,6 mm
- Panjang Gulungan : 500 meter

d. Tongkat Kayu

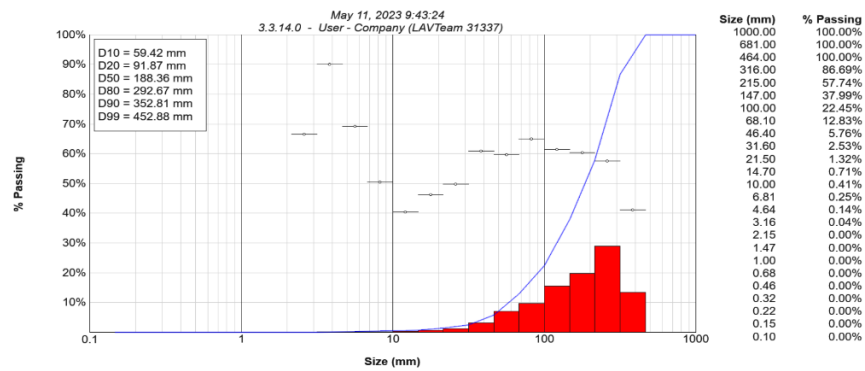
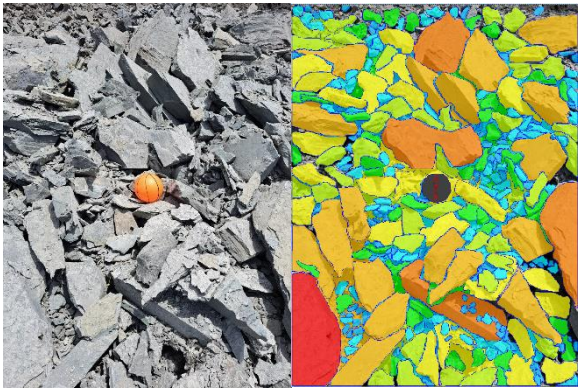
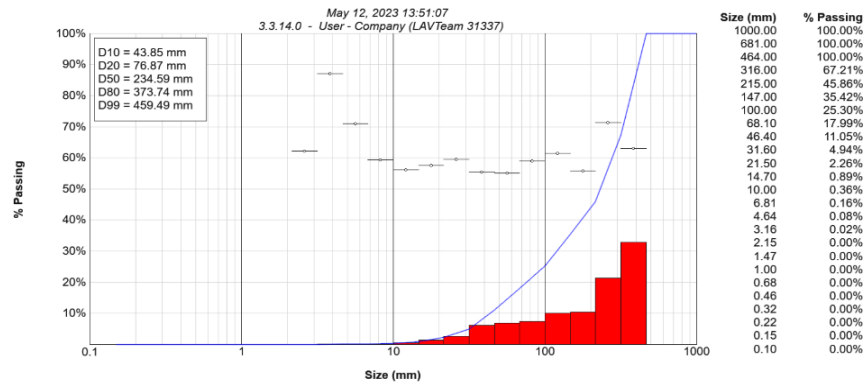
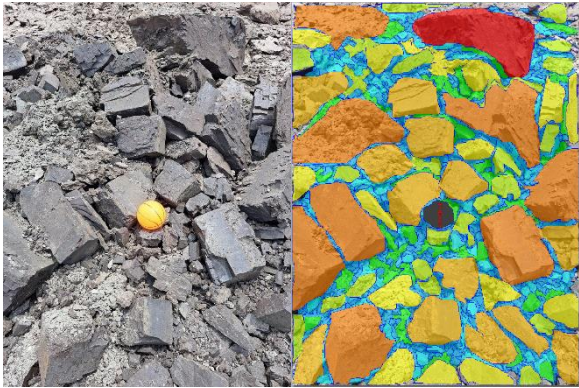
- Panjang : 6 meter
- Ukuran : Diameter lebih kecil dari lubang ledak

Lampiran 11. Hasil Pengolahan Fragmentasi Aktual Menggunakan Software Wipfrag 3.3

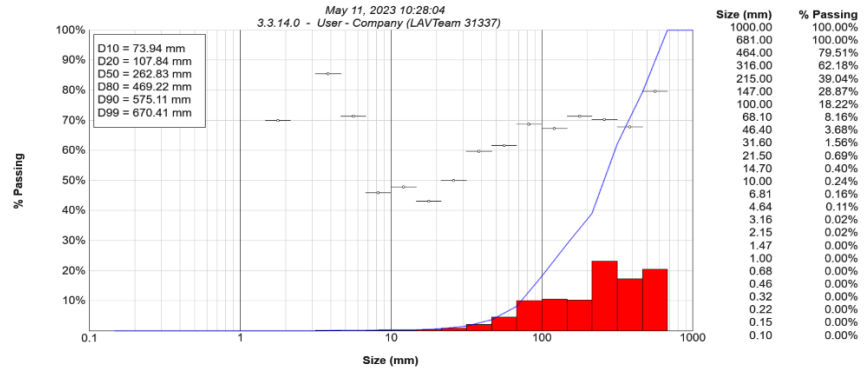
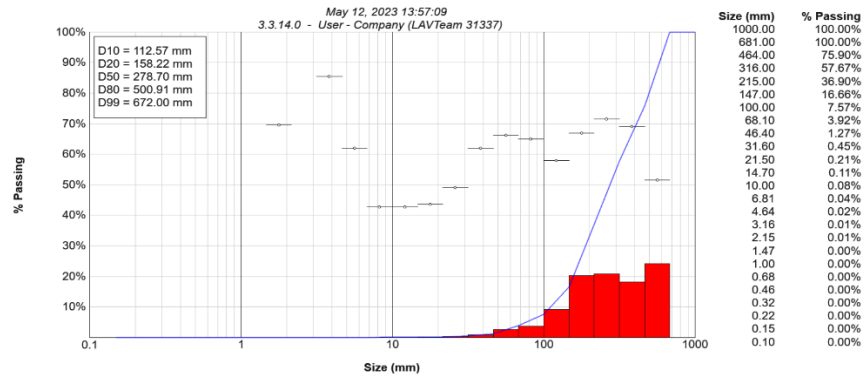
1. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 12 april 2023



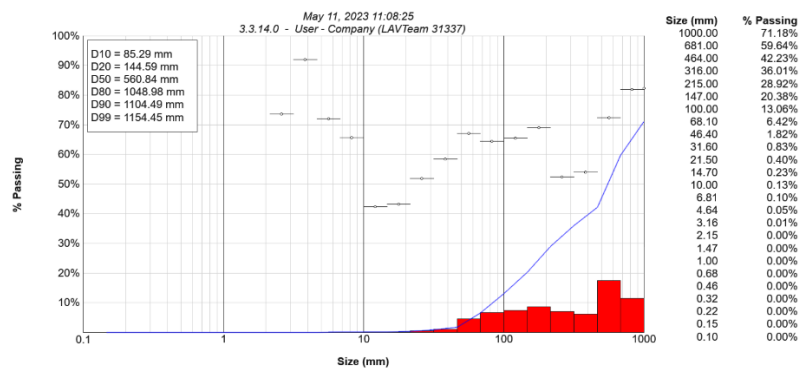
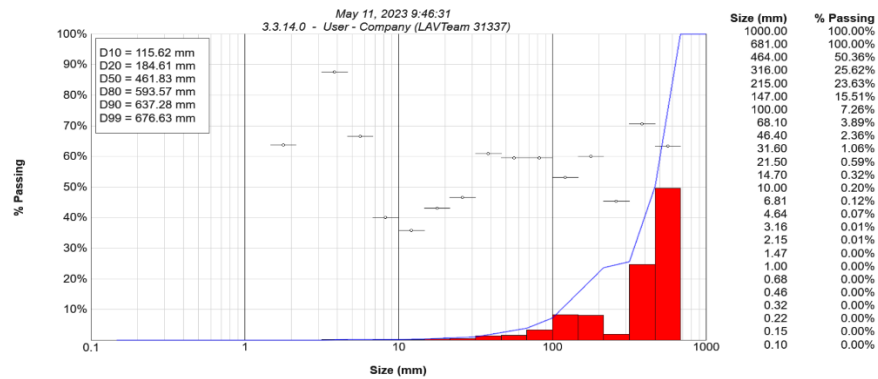
2. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 16 april 2023



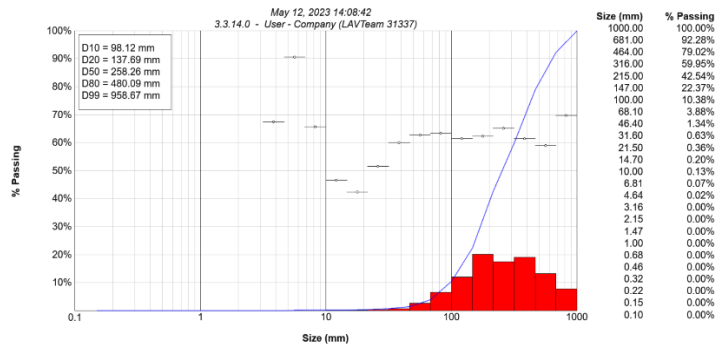
3. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 18 april 2023



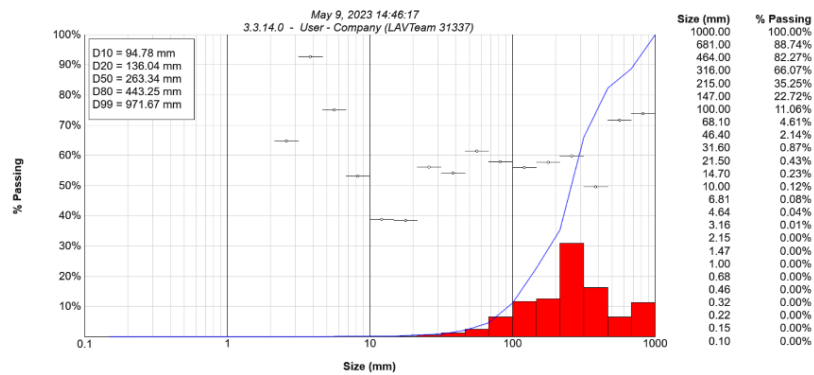
4. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 19 april 2023

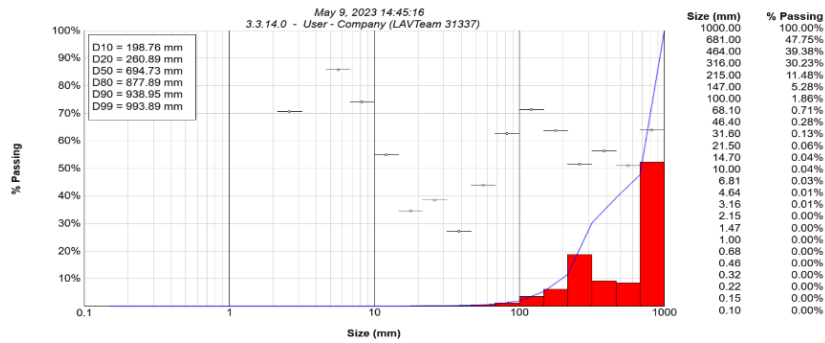
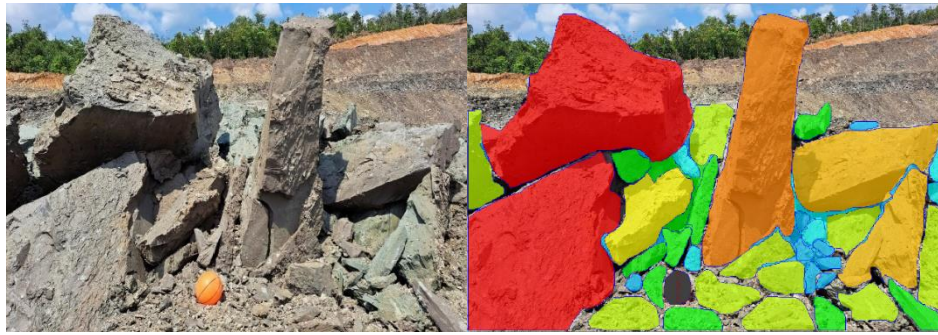


5. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 27 april 2023

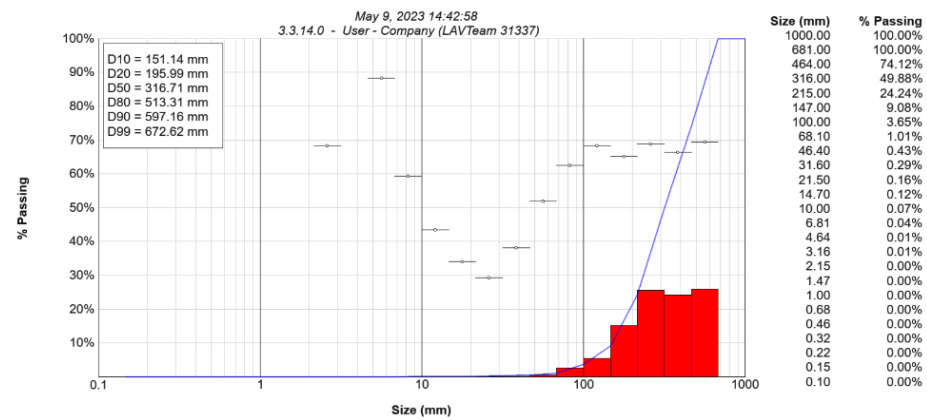


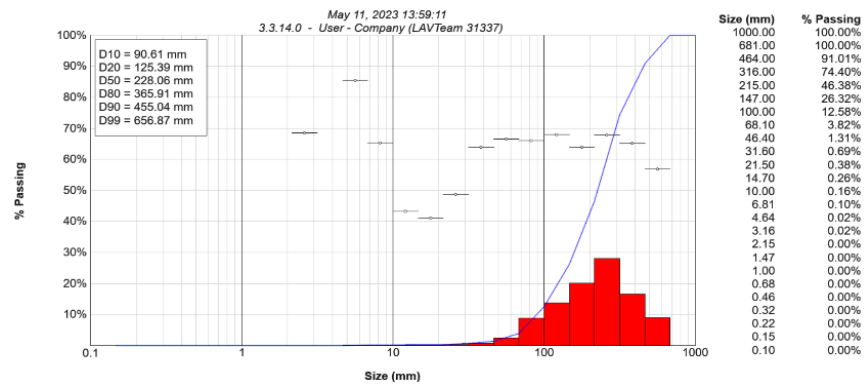
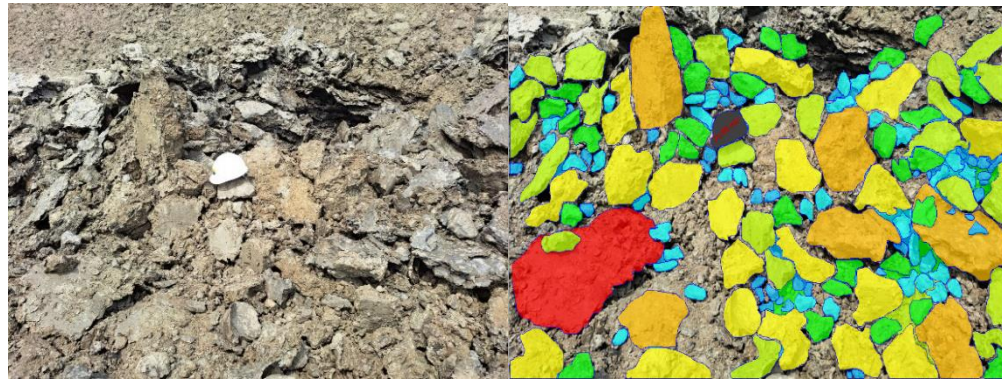
6. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 4 mei 2023



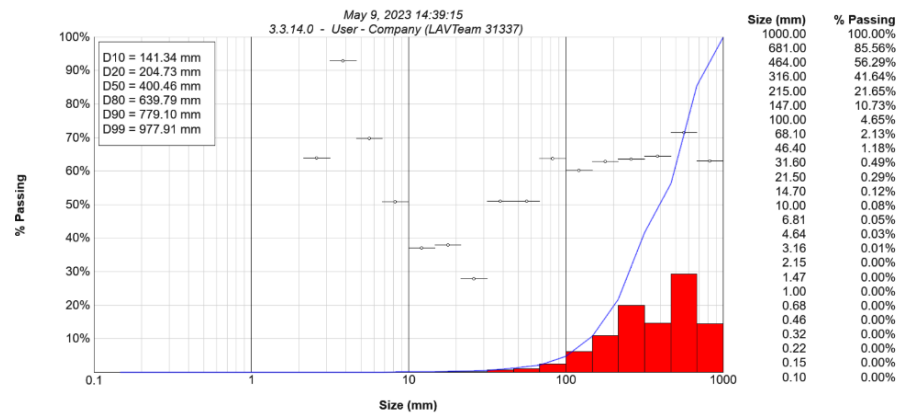
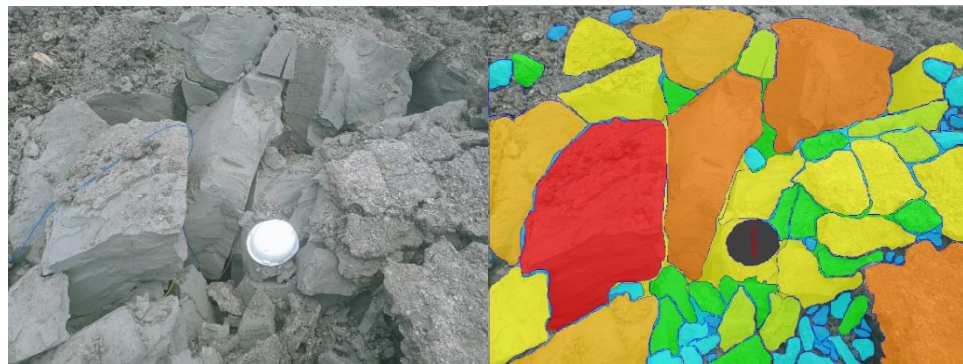


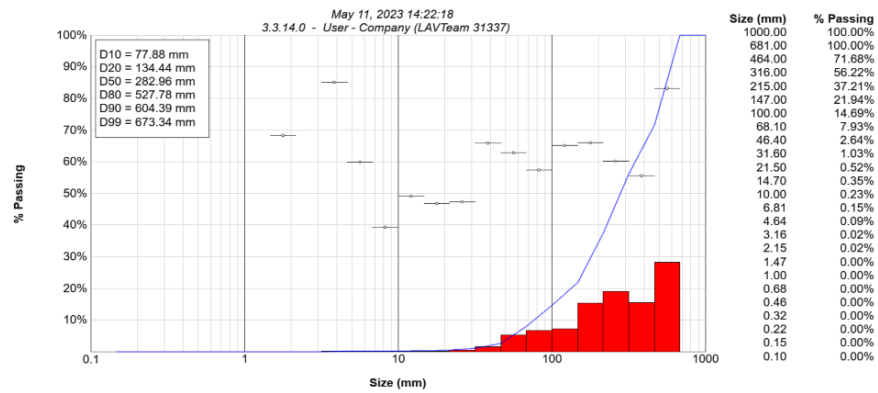
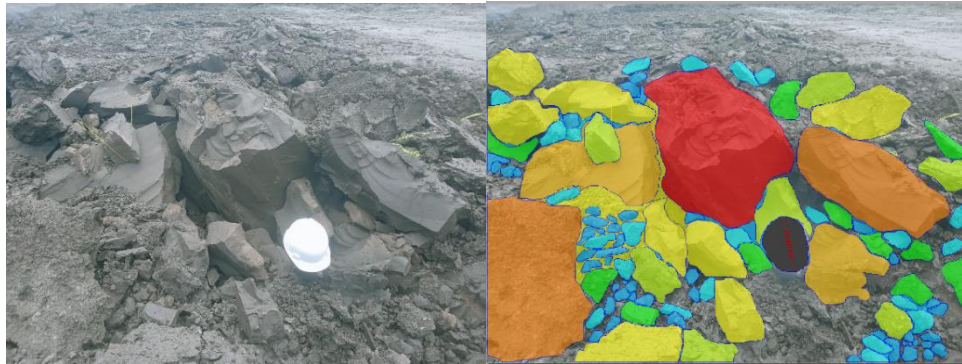
7. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 7 mei 2023



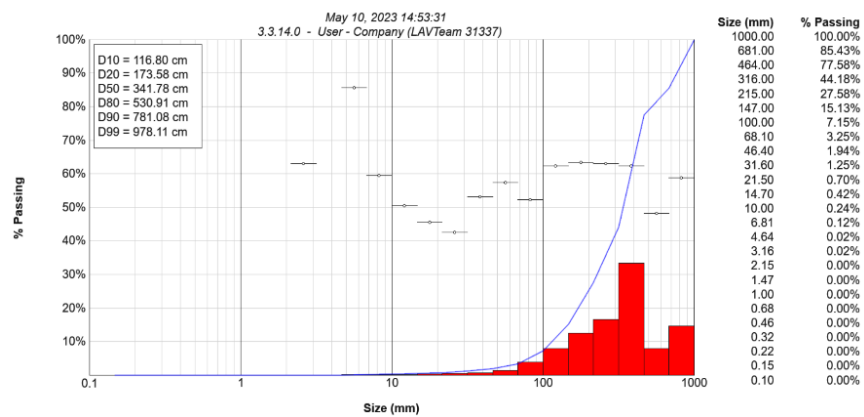
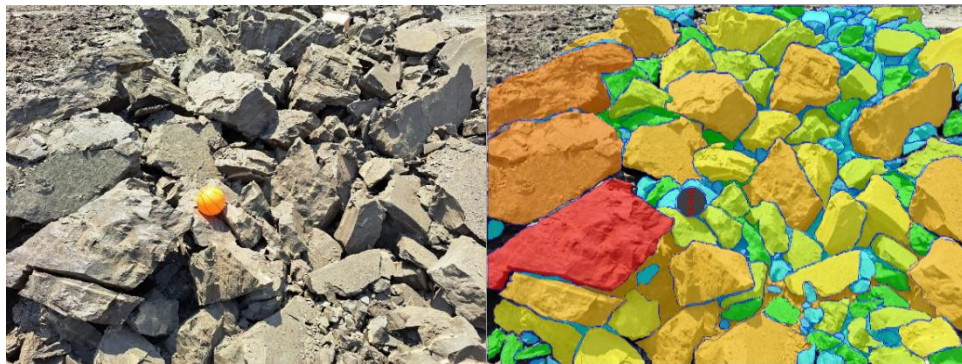


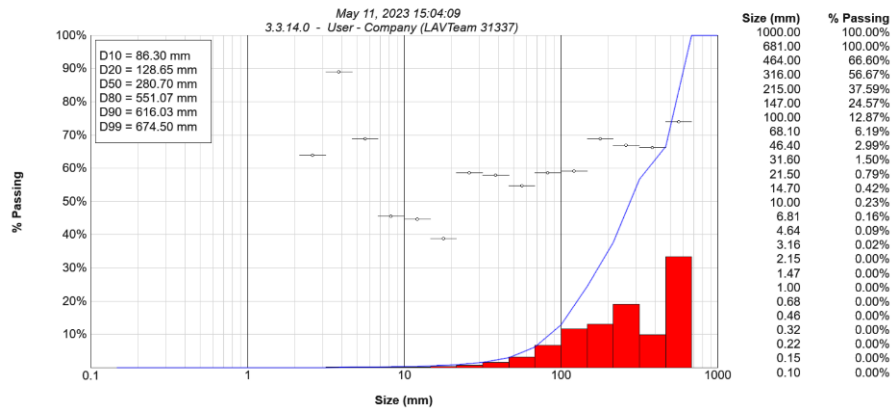
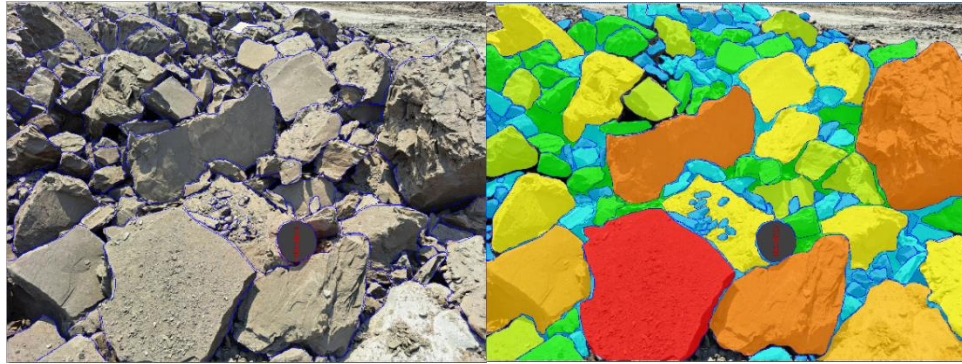
8. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 9 mei 2023



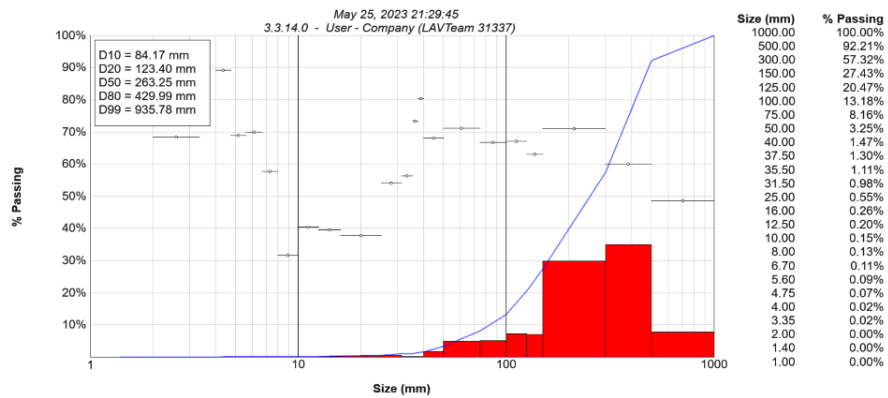
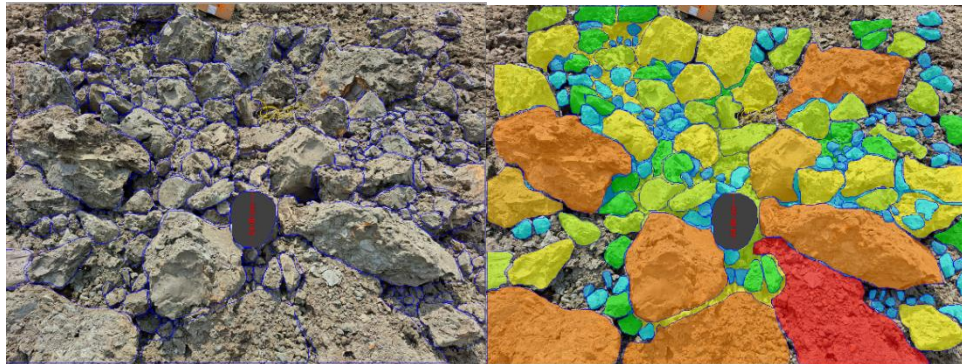


9. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 10 mei 2023





10. Hasil pengolahan fragmentasi aktual tanggal 24 mei 2023



Lampiran 12. Perhitungan Rata-rata Geometri Peledakan Aktual

Sampel	Tanggal	Geometri					
		Burden	Spasi	Stemming	PC	Kedalaman	Jml. Lubang
1	12-Apr-23	8	9	3.5	4.4	8	40
2	16-Apr-23	5.5	8.9	4.3	2.9	7.2	40
3	18-Apr-23	7	9	4.5	3.5	8	40
4	19-Apr-23	7.3	9	3.5	4.5	8	50
5	27-Apr-23	7	8	4.5	2.7	7.2	70
6	4-May-23	7.6	9.3	4	3	7	35
7	7-May-23	5.7	7.1	3.1	1.5	4.6	35
8	9-May-23	8.7	8.6	4.8	2.8	7.6	35
9	10-May-23	6.6	8	4	3	7	20
10	24-May-23	6	6.8	4	0.6	4.8	50
Rata-Rata		6.94	8.37	4.02	2.89	6.94	41.5

Diketahui:	Jumlah lubang rata-rata (n)	41
	Diameter (D)	0,2 m
	Burden (B)	6.9 m
	Spacing (S)	8.3 m
	Stemming (T)	4 m
	Kedalaman Lubang Ledak (H)	6.9 m
	Panjang Kolom Isian (PC)	2.9 m

a. Rata-rata Volume Peledakan

- Volume peledakan perlubang dari rata-rata 10 kali peledakan

$$V = B \times S \times H$$

$$= 6.94 \text{ m} \times 8.37 \text{ m} \times 6.94 \text{ m}$$

$$= 403,13 \text{ Bcm}$$
- Volume peledakan sehari dari rata-rata 10 kali peledakan

$$V = B \times S \times H \times \text{Jumlah Lubang (n)}$$

$$= 6.94 \text{ m} \times 8.37 \text{ m} \times 6.94 \text{ m} \times 41 \text{ lubang}$$

$$= 16.528 \text{ Bcm}$$

b. Rata-rata Pemakaian Bahan Peledak

- Loading Density* (de)

$$de = 3,14 \times 0,25 \times D^2 \times \text{SG bahan peledak} \times 1000$$

$$= 3,14 \times 0,25 \times (0,2)^2 \times 0,85 \times 1000$$

$$= 26.69 \text{ kg/m}$$
- Bahan peledak perlubang dari rata-rata 10 kali peledakan

$$E = de \times PC$$

$$= 26.69 \text{ kg/m} \times 2.9 \text{ m}$$

$$= 77,40 \text{ kg}$$
- Pemakaian bahan peledak dari rata-rata 10 kali peledakan (Qe)

$$Qe = de \times PC \times n$$

$$= 26.69 \text{ Kg/m} \times 2.9 \text{ m} \times 41 \text{ lubang}$$

$$= 3.173 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Powder Factor (PF)} &= \frac{\text{Berat Bahan Peledak}}{\text{Volume batuan yang akan diledakkan}} \\
 &= \frac{3.173 \text{ kg}}{16.528 \text{ Bcm}} \\
 &= 0,19 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Lampiran 13. Perhitungan Teoritis Fragmentasi Dengan Metode Kuz-Ram

1. Tanggal 12 April 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0,8} Q^{0,17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0,63}$$

$$\bar{X} = x_{rata-rata} = 45.3393 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 1.07817$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 63.708 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c} \right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c} \right)^n$
2.5	97.00	3.00	0.00	0.0305
5	93.77	6.23	3.23	0.0643
10	87.30	12.70	6.47	0.1358
20	75.07	24.93	12.23	0.2867
40	54.58	45.42	20.49	0.6054
60	39.16	60.84	15.42	0.9374
80	27.85	72.15	11.31	1.2783
100	19.67	80.33	8.18	1.6260
200	3.23	96.77	16.44	3.4330

2. Tanggal 16 April 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0,8} Q^{0,17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0,63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 40.3662 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 1.0527$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 57.1889 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c} \right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c} \right)^n$
2.5	96.36	3.64	0.00	0.0371
5	92.60	7.40	3.76	0.0769
10	85.26	14.74	7.34	0.1595
20	71.83	28.17	13.43	0.3309
40	50.34	49.66	21.49	0.6864
60	34.93	65.07	15.41	1.0518
80	24.08	75.92	10.85	1.4238
100	16.52	83.48	7.56	1.8009
200	2.39	97.61	14.13	3.7357

3. Tanggal 18 April 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0,8} Q^{0,17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0,63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 47.7356 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 0.9405$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 70.4993 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c} \right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c} \right)^n$
2.5	95.77	4.23	0.00	0.0433
5	92.03	7.97	3.74	0.0830
10	85.27	14.73	6.76	0.1593
20	73.66	26.34	11.61	0.3058
40	55.61	44.39	18.05	0.5868
60	42.35	57.65	13.26	0.8593
80	32.42	67.58	9.93	1.1263
100	24.93	75.07	7.49	1.3893
200	6.95	93.05	17.98	2.6663

4. Tanggal 19 April 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 42.1367 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 1.16675$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 57.6986 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c} \right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c} \right)^n$
2.5	97.47	2.53	0.00	0.0257
5	94.40	5.60	3.07	0.0576
10	87.86	12.14	6.54	0.1294
20	74.79	25.21	13.07	0.2905
40	52.09	47.91	22.70	0.6522
60	35.11	64.89	16.98	1.0467
80	23.13	76.87	11.98	1.4642
100	14.96	85.04	8.17	1.8996
200	1.41	98.59	13.55	4.2647

5. Tanggal 27 April 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 47.0238 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 0.75576$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 76.3933 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c} \right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c} \right)^n$
2.5	92.73	7.27	0.00	0.0754
5	88.04	11.96	4.69	0.1274
10	80.65	19.35	7.39	0.2151
20	69.55	30.45	11.10	0.3632
40	54.16	45.84	15.39	0.6132
60	43.47	56.53	10.69	0.8331
80	35.51	64.49	7.96	1.0355
100	29.36	70.64	6.15	1.2257
200	12.62	87.38	16.74	2.0696

6. Tanggal 4 Mei 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 51.831 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 0.87429$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 78.8419 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c} \right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c} \right)^n$
2.5	95.22	4.78	0.00	0.0489
5	91.42	8.58	3.80	0.0897
10	84.84	15.16	6.58	0.1644
20	73.98	26.02	10.86	0.3014
40	57.55	42.45	16.43	0.5525
60	45.49	54.51	12.06	0.7876
80	36.32	63.68	9.17	1.0128
100	29.20	70.80	7.12	1.2310
200	10.47	89.53	18.73	2.2566

7. Tanggal 7 Mei 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 36.6975 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 0.72535$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 60.8429 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c} \right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c} \right)^n$
2.5	90.60	9.40	0.00	0.0987
5	84.94	15.06	5.66	0.1632
10	76.35	23.65	8.59	0.2699
20	64.01	35.99	12.34	0.4462
40	47.82	52.18	16.19	0.7377
60	37.16	62.84	10.66	0.9899
80	29.53	70.47	7.63	1.2196
100	23.84	76.16	5.69	1.4339
200	9.34	90.66	14.50	2.3707

8. Tanggal 9 Mei 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 60.5085 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 0.64107$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 107.215 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c}\right)^n$
2.5	91.41	8.59	0.00	0.0899
5	86.92	13.08	4.49	0.1401
10	80.37	19.63	6.55	0.2185
20	71.12	28.88	9.25	0.3408
40	58.77	41.23	12.35	0.5315
60	50.19	49.81	8.58	0.6893
80	43.65	56.35	6.54	0.8289
100	38.43	61.57	5.22	0.9563
200	22.51	77.49	15.92	1.4914

9. Tanggal 10 Mei 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 41.045 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 0.90624$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 61.5182 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c}\right)^n$
2.5	94.66	5.34	0.00	0.0549
5	90.23	9.77	4.43	0.1028
10	82.47	17.53	7.76	0.1927
20	69.68	30.32	12.79	0.3612
40	50.81	49.19	18.87	0.6770
60	37.62	62.38	13.19	0.9776
80	28.12	71.88	9.50	1.2688
100	21.16	78.84	6.96	1.5532
200	5.44	94.56	15.72	2.9109

10. Tanggal 24 Mei 2023

$$\bar{x} = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.17} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63}$$

$$\bar{x} = x_{rata-rata} = 68.0685 \text{ cm}$$

Indeks keseragaman fraksi (n):

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d} \right) \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left[1 + \frac{(A-1)}{2} \right] \left(\frac{L}{H} \right)$$

$$n = 0.26107$$

$$x_c = \frac{\bar{x}}{(0,693)^{1/n}} ; x_c = 277.337 \text{ cm}$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} ; x = \text{ukuran lub. saringan}$$

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$\left(\frac{x}{x_c}\right)^n$
2.5	74.64	25.36	0.00	0.2925
5	70.43	29.57	4.21	0.3505
10	65.70	34.30	4.73	0.4200
20	60.45	39.55	5.25	0.5033
40	54.71	45.29	5.74	0.6032
60	51.14	48.86	3.57	0.6705
80	48.54	51.46	2.60	0.7228
100	46.48	53.52	2.06	0.7662
200	39.92	60.08	6.56	0.9182

Perhitungan fragmentasi metode *kuz-ram* dari rata-rata 10 kali peledakan

Diketahui:	Jumlah batuan/lubang ledak (Vo)	403,13 Bcm
	Berat bahan peledak/lubang ledak (Qe)	77,40 kg
	RWS bahan peledak ANFO (E)	100
	Diameter (D)	200 mm
	Burden (B)	6.94 m
	Spacing (S)	8.37 m
	Ratio s/b (A)	1,20
	Kedalaman Lubang Ledak (H)	6.94 m
	Panjang kolom isian (PC)	2.89 m

•Faktor Batuan (A)

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Blastability Index (BI)} &= 0,5 \times (\text{RMD} + \text{JPS} + \text{JPO} + \text{SGI} + \text{H}) \\ &= 0,5 \times (20 + 50 + 40 + 1,75 + 5,25) \\ &= 58,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Faktor Batuan} &= 58,5 \times 0,12 \\ &= 7,02 \end{aligned}$$

• Fragmentasi dari rata-rata 10 kali peledakan

- Rata-rata ukuran fragmentasinya adalah

$$x = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left(\frac{E}{115} \right)^{-0,63}$$

$$x = 7,02 \left(\frac{403,13}{77,40} \right)^{0,8} \times 77,40^{0,17} \times \left(\frac{100}{115} \right)^{-0,63}$$

$$X = 59,86$$

- Indeks keseragaman dari rata-rata 10 kali peledakan

$$n = \left(2,2 - 14 \times \frac{B}{D} \right) \times \left(1 - \frac{W}{B} \right) \times \left[\left(1 + \frac{SB - 1}{2} \right) \right] \times \left(\frac{PC}{H} \right)$$

$$n = \left(2,2 - 14 \times \frac{6,94}{200} \right) \times \left(1 - \frac{0}{6,94} \right) \times \left[\left(1 + \frac{1,20 - 1}{2} \right) \right] \times \left(\frac{2,89}{6,94} \right)$$

$$n = 0,77$$

- Nilai karakteristik ukuran dari rata-rata 10 kali peledakan

$$Xc = \frac{X}{(0,693)^{1/n}}$$

$$Xc = \frac{59,86}{(0,693)^{1/0,77}}$$

$$Xc = 96,55$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 10 cm.

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{10}{96,55}\right)^{0,77}}$$

$$R = 0,8441 \times 100\%$$

$$R = 84,41 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 20 cm.

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{20}{96,55}\right)^{0,77}}$$

$$R = 0,7414 \times 100\%$$

$$R = 74,14 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 50 cm.

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{50}{96,55}\right)^{0,77}}$$

$$R = 0,5498 \times 100\%$$

$$R = 54,98 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 80 cm

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{80}{96,55}\right)^{0,77}}$$

$$R = 0,4243 \times 100\%$$

$$R = 42,43 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 100 cm

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{100}{96,55}\right)^{0,77}}$$

$$R = 0,3617 \times 100\%$$

$$R = 36,17 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan 121 cm (1,21 m)

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{121}{96,55}\right)^{0,77}}$$

$$R = 0,3053 \times 100\%$$

$$R = 30,53 \%$$

Lampiran 14. Perhitungan Geometri Peledakan Usulan Metode R.L.Ash

Diketahui:

De=	Diameter Lubang Ledak = 7,875 inchi
D =	<i>Spesific Gravity Claydstone</i> = 2,07 ton/m ³ = 129,22596 lb/ft ³
D _{std} =	<i>Spesific Gravity Standart</i> = 160 lb/ft ³
B =	<i>Burden</i>
Kb =	<i>Burden Ratio</i>
Kb _{std} =	<i>Burden Ratio Standart</i> = 30
SG =	<i>Spesific Gravity</i> Bahan Peledak = 0.85
SG _{std} =	<i>Spesific Gravity</i> Bahan Peledak <i>Standart</i> = 1,20
Ve =	VOD Handak Yang Dipakai = 3.383 m/s = 11.100 ft/s
Ve _{std} =	VOD Handak Standart = 3.657 m/s = 12.000 ft/s

a. *Burden* (B)

- Mencari nilai *burden* menurut R.L.Ash digunakan persamaan sebagai berikut:

$$B = \frac{Kb \times De}{12}$$

- Faktor penyesuaian terhadap bahan peledak

$$\begin{aligned}
 AF_1 &= 3 \sqrt{\left(\frac{SG \text{ handak} \times (V \text{ handak})^2}{SG \text{ handak std} \times (V \text{ handak std})^2} \right)} \\
 &= 3 \sqrt{\left(\frac{0,85 \text{ ton/m}^3 \times (11.100 \text{ ft/s})^2}{1,2 \text{ ton/m}^3 \times (12.000 \text{ ft/s})^2} \right)} \\
 &= 3 \sqrt{\left(\frac{104.728.500}{172.800.000} \right)} \\
 &= 0.85
 \end{aligned}$$

- Faktor penyesuaian terhadap kerapatan batuan

$$\begin{aligned}
 AF_2 &= \sqrt{\left(\frac{SG \text{ batuan std}}{SG \text{ batuan}} \right)} \frac{1}{3} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{160 \text{ lbs/Cuft}}{129,22596 \text{ lbs/Cuft}} \right)} \\
 &= 1.07
 \end{aligned}$$

- Kb terkoreksi = Kb_{std} × AF₁ × AF₂
 = 30 × 0,85 × 1,07
 = 27.285

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{Kb_{\text{terkoreksi}} \times De}{12} \\
 &= \frac{27,285 \times 7,875}{12} \\
 &= 17.905 \text{ ft} \\
 &= 5,4 \text{ m (1 m= 3.281 ft, jadi 17.905 : 3,281)}
 \end{aligned}$$

b. Spacing (S)

Nilai *spacing ratio* yang digunakan 1,2

$$\begin{aligned} S &= K_s \times B \\ &= 1,5 \times 5,4 \text{ m} \\ &= 8,1 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Stemming (T)

Nilai *stemming ratio* yang digunakan 0,85

$$\begin{aligned} T &= K_t \times B \\ &= 0,7 \times 5,4 \text{ m} \\ &= 3,8 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Subdrilling

Nilai *Subdrilling ratio* yang digunakan 0,2 , pemakaian *subdrilling* diharapkan agar jumlah bongkah dapat dikurangi.

$$\begin{aligned} J &= K_j \times B \\ &= 0,2 \times 5,4 \text{ m} \\ &= 1,1 \text{ m} \end{aligned}$$

e. Kedalaman lubang ledak (H)

Kedalaman lubang ledak berdasarkan rancangan dilapangan adalah 8 meter tanpa *subdrilling*

f. Tinggi Jenjang (L)

Berdasarkan kondisi dilapangan, tinggi jenjang yaitu sebesar 7,5 meter.

$$\begin{aligned} H_{\text{jenjang}} &= H - J \\ &= 8 - 1,1 \\ &= 6,9 \text{ m} \end{aligned}$$

g. Panjang kolom isian (PC)

$$\begin{aligned} PC &= H - T \\ &= 8 - 3,8 \\ &= 4,2 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Pemakaian Bahan Peledak

$$\begin{aligned} de &= 3,14 \times 0,25 \times D^2 \times SG \text{ bahan peledak} \times 1000 \\ &= 3,14 \times 0,25 \times (0,2)^2 \times 0,85 \times 1000 \\ &= 26,69 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= De \times PC \\
 &= 26,69 \times 4,2 \\
 &= 112 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

i. Batuan yang terbongkar per lubang ledak

$$\begin{aligned}
 V &= B \times S \times H \\
 &= 5,4 \text{ m} \times 8,1 \text{ m} \times 8 \text{ m} \\
 &= 349,92
 \end{aligned}$$

j. Jumlah Powder Factor

$$\begin{aligned}
 &= 112 \text{ kg} / 349,92 \text{ Bcm} \\
 &= 0,3 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Prediksi fragmentasi menurut metode R.L.ash

Diketahui:	Jumlah batuan/lubang ledak (Vo)	349,92 Bcm
	Berat bahan peledak/lubang ledak (Qe)	112 kg
	RWS bahan peledak ANFO (E)	100
	Diameter (D)	200 mm
	Burden (B)	5,4 m
	Spacing (S)	8,1 m
	Ratio s/b (A)	1,5
	Kedalaman Lubang Ledak (H)	8 m
	Panjang kolom isian (PC)	4,2 m

•Faktor Batuan (A)

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Blastability Index (BI)} &= 0,5 \times (\text{RMD} + \text{JPS} + \text{JPO} + \text{SGI} + \text{H}) \\
 &= 0,5 \times (20 + 50 + 40 + 1,75 + 5,25) \\
 &= 58,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Faktor Batuan} &= 58,5 \times 0,12 \\
 &= 7,02
 \end{aligned}$$

• Fragmentasi dari rata-rata 10 kali peledakan

- Rata-rata ukuran fragmentasinya adalah

$$x = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left(\frac{E}{115} \right)^{-0,63}$$

$$x = 7,02 \left(\frac{349,92}{112} \right)^{0,8} \times 112^{0,17} \times \left(\frac{100}{115} \right)^{-0,63}$$

$$X = 42,44$$

- Indeks keseragaman dari rata-rata 10 kali peledakan

$$n = \left(2,2 - 14 \times \frac{B}{D}\right) \times \left(1 - \frac{W}{B}\right) \times \left[1 + \frac{SB - 1}{2}\right] \times \left(\frac{PC}{H}\right)$$

$$n = \left(2,2 - 14 \times \frac{5,4}{200}\right) \times \left(1 - \frac{0}{5,4}\right) \times \left[1 + \frac{1,5 - 1}{2}\right] \times \left(\frac{4,2}{8}\right)$$

$$n = 1,19$$

- Nilai karakteristik ukuran dari rata-rata 10 kali peledakan

$$Xc = \frac{X}{(0,693)^{1/n}}$$

$$Xc = \frac{42,44}{(0,693)^{1/1,19}}$$

$$Xc = 58,13$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 10 cm.

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{10}{58,13}\right)^{1,19}}$$

$$R = 0,8872 \times 100\%$$

$$R = 88,72 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 20 cm.

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{20}{58,13}\right)^{1,19}}$$

$$R = 0,7564 \times 100\%$$

$$R = 75,64 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 50 cm.

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{50}{58,13}\right)^{1,19}}$$

$$R = 0,4371 \times 100\%$$

$$R = 43,71 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 80 cm

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{80}{58,13}\right)^{1,19}}$$

$$R = 0,2332 \times 100\%$$

$$R = 23,32 \%$$

- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan ≥ 100 cm

$$R = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{100}{58,13}\right)^{1,19}}$$

$$R = 0,1504 \times 100\%$$

$$R = 15,04 \%$$

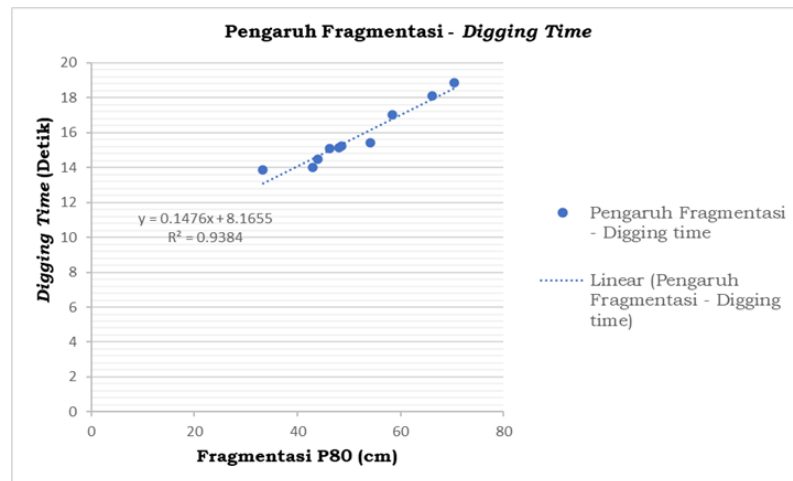
- Persentase ukuran fragmentasi hasil peledakan 1,21 m

$$R = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n}$$

$$R = 2,71^{-\left(\frac{121}{58,13}\right)^{1,19}}$$

$$R = 0,0913 \times 100\%$$

$$R = 9,13 \%$$



Dari persamaan yang diambil dari **gambar 41** diatas dilakukan perhitungan dengan menggunakan ukuran rata-rata prediksi fragmentasi dan rata-rata prediksi nilai karakteristik ukuran dari geometri usulan R.L.Ash, sehingga didapatkan nilai x dari geometri usulan R.L.ash yaitu 31 cm, kemudian nilai x tersebut dimasukkan pada persamaan diatas, maka didapatkan:

Digging time :

$$Y = 0,1476x + 8,1655$$

$$Y = 0,1476 (31) + 8,1655$$

$$Y = 4,5756 + 8,1655$$

$$Y = 12,74 \text{ detik}$$

Lampiran 15. Swell Factor

Macam Material	<i>Swell Factor</i>
Bauksit	0,75
Tanah liat, kering	0,85
Tanah liat, basah	0,80-0,82
Batubara (antrasit –bituminus)	0,74
Bijih Tembaga	0,74
Tanah Biasa, kering	0,85
Tanah biasa, basah	0,85
Tanah biasabercampurkerikil	0,90
Kerikilkering	0,89
Kerikilbasah	0,88
Granit, pecah-pecah	0,56-0,67
Hematite, pecah-pecah	0,45
Bijihbesi, pecah-pecah	0,45
Batukapur, pecah-pecah	0,57-0,60
Lumpur	0,83
Lumpur, sudahditekan	0,83
Pasirkering	0,89
Pasirbasah	0,88
Serpih (shale)	0,75

Lampiran 16. Fill Factor

No	Material	<i>Fill Factor</i>
1	Tanah Lempung, lempung kepasiran	100-110%
2	Pasir atau kerikil	95-100%
3	Lempung keras, tanah keras	80-90%
4	Batu pecah baik	65-75%
5	Batu pecah jelek	40-50%

Lampiran 17. Cycle Time Alat Gali Muat Shovel PC 3000

a. Tanggal 12 April 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle Time</i>
15.84	12.46	5.83	6.93	41.06
18.12	8.45	6.73	10.28	43.58
14.26	4.73	9.68	7.75	36.42
14.44	6.32	6.89	10.92	38.57
17.27	7.13	5.51	7.08	36.99
12.08	8.62	3.95	9.62	34.27
17.34	7.13	2.78	7.76	35.01
16.52	5.28	6.66	6.61	35.07
16.21	4.17	3.74	9.25	33.37
13.04	6.17	5.00	7.11	31.32
13.48	6.19	5.54	6.82	32.03
14.12	5.37	5.78	7.12	32.39
14.69	4.87	5.92	7.14	32.62
12.26	4.08	5.28	4.00	25.62
13.41	5.01	4.42	5.11	27.95
11.42	18.11	6.31	9.93	45.77
22.23	6.53	4.70	6.96	40.42
21.44	5.17	5.22	6.78	38.61
21.44	5.17	5.22	6.78	38.61
18.82	7.47	5.23	8.67	40.19
14.09	6.91	5.61	7.84	34.45
13.03	8.46	4.52	7.41	33.42
13.02	6.43	6.72	6.72	32.89
14.28	8.14	8.03	8.51	38.96
13.70	3.13	5.63	7.37	29.83
12.24	5.52	4.61	5.39	27.76
15.11	4.65	5.31	7.93	33.00
12.12	4.78	3.04	6.71	26.65
13.45	5.56	4.26	5.41	28.68
14.32	6.73	5.73	7.75	34.53
15.13	6.62	5.46	7.46	34.67

b. Tanggal 16 April 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle Time</i>
13.14	5.78	5.56	5.89	30.37
11.87	5.10	8.70	4.12	29.79
9.08	4.31	5.30	4.16	22.85
13.45	7.52	5.11	6.17	32.25
12.89	6.90	6.89	5.81	32.49
16.70	6.17	6.70	6.18	35.75
11.56	4.55	7.55	6.13	29.79
10.54	7.45	5.10	6.70	29.79
9.66	7.89	5.23	4.32	27.10
13.62	6.70	6.11	4.67	31.10
12.89	4.56	4.95	5.89	28.29
12.34	8.90	7.40	6.59	35.23
12.25	5.60	5.30	5.12	28.27
12.81	9.13	6.55	4.34	32.83
13.78	12.76	6.98	6.23	39.75
15.90	8.80	5.03	4.67	34.40
13.87	5.23	6.70	5.61	31.41
11.88	6.12	6.12	5.32	29.44
11.31	5.11	6.82	4.13	27.37
19.67	7.31	6.63	4.10	37.71
13.70	6.28	5.24	6.97	32.19
13.78	5.23	6.78	6.87	32.66
12.08	6.70	5.23	5.23	29.24
14.89	8.11	6.53	5.33	34.86
13.69	7.45	5.44	5.10	31.68
12.80	6.98	5.91	4.57	30.26
14.67	5.60	5.67	4.20	30.14
15.09	6.33	6.70	5.02	33.14
16.70	6.56	6.40	4.56	34.22
15.70	6.79	7.89	6.17	36.55
13.41	6.73	6.22	5.34	31.70

c. Tanggal 18 April 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle time</i>
14.32	6.31	6.00	4.00	30.63
11.34	7.12	6.72	5.60	30.78
13.03	6.34	5.66	5.12	30.15
15.23	6.89	6.12	7.45	35.69
13.45	6.90	6.78	5.88	33.01
15.12	9.12	6.90	5.90	37.04
13.80	14.32	5.67	6.78	40.57
13.69	7.45	6.12	7.31	34.57
13.78	6.24	7.05	6.03	33.10
15.76	10.12	5.09	6.11	37.08
12.34	10.23	10.32	7.12	40.01
13.21	6.45	7.98	8.54	36.18
12.40	6.60	6.57	5.32	30.89
14.56	7.13	6.46	5.34	33.49
14.57	14.78	8.31	5.09	42.75
15.11	7.80	8.24	7.14	38.29
15.43	6.28	10.78	6.15	38.64
13.23	7.20	5.89	6.20	32.52
13.90	6.30	7.31	5.18	32.69
13.23	6.41	7.08	7.88	34.60
15.33	7.26	7.41	8.06	38.06
15.24	6.98	11.90	5.79	39.91
13.24	9.17	5.08	7.54	35.03
13.76	7.10	5.21	6.80	32.87
11.02	8.44	5.56	6.15	31.17
13.21	7.25	8.73	8.34	37.53
15.32	6.48	7.56	5.19	34.55
15.09	6.18	8.81	6.12	36.20
12.56	9.17	7.50	5.10	34.33
13.23	7.31	9.45	5.27	35.26
13.85	7.84	7.28	6.28	35.25

d. Tanggal 19 April 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle time</i>
17.89	4.16	6.66	4.79	33.50
18.21	7.69	7.50	5.22	38.62
18.12	5.21	6.60	5.26	35.19
18.37	6.42	5.12	7.27	37.18
16.88	5.80	7.91	6.91	37.50
17.70	5.27	6.80	7.28	37.05
15.45	6.75	8.85	7.31	38.36
19.76	4.55	6.15	5.08	35.54
16.20	6.78	6.33	5.23	34.54
18.56	5.60	7.21	5.76	37.13
18.75	13.45	5.05	6.05	43.30
19.78	4.70	8.50	7.95	40.93
17.41	6.40	6.33	6.24	36.38
16.87	4.30	7.92	5.89	34.98
18.10	11.55	8.02	8.90	46.57
16.49	6.89	6.13	7.88	37.39
17.50	6.89	7.40	6.23	38.02
18.30	8.13	7.22	7.54	41.19
20.53	6.11	7.92	6.30	40.86
15.68	6.21	7.73	6.80	36.42
19.54	5.38	6.34	8.25	39.51
18.34	6.34	7.88	8.80	41.36
19.30	12.56	6.33	7.69	45.88
20.11	6.27	7.63	5.69	39.70
18.79	6.54	6.54	5.10	36.97
18.90	7.34	7.01	4.30	37.55
17.60	7.21	6.77	3.97	35.55
20.67	5.60	7.80	4.93	39.00
18.35	5.35	7.50	4.60	35.80
15.30	7.34	8.02	6.44	37.10
18.12	6.76	7.11	6.32	38.30

e. Tanggal 27 April 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle time</i>
16.76	5.12	6.70	4.30	32.88
13.20	8.97	4.23	5.43	31.83
14.56	4.11	10.31	6.78	35.76
12.56	5.26	6.39	5.60	29.81
13.45	4.08	5.67	5.22	28.42
16.30	4.37	4.22	6.73	31.62
15.32	5.98	7.34	4.31	32.95
16.23	5.65	7.12	7.93	36.93
20.79	7.89	3.28	6.89	38.85
12.45	6.40	4.67	6.44	29.96
15.66	12.83	4.79	5.34	38.62
16.89	5.80	6.41	7.56	36.66
22.91	5.33	5.10	5.33	38.67
13.60	4.78	6.45	6.75	31.58
13.67	9.56	7.26	7.34	37.83
15.40	5.90	11.22	5.62	38.14
13.23	7.44	6.33	5.33	32.33
13.09	7.91	5.46	7.45	33.91
14.67	7.24	7.30	5.46	34.67
14.89	7.31	7.11	5.01	34.32
21.33	6.23	5.43	7.20	40.19
13.86	5.02	12.90	7.13	38.91
14.09	11.33	5.69	6.36	37.47
14.56	7.42	6.89	4.56	33.43
13.65	5.34	5.23	6.57	30.79
12.43	6.22	5.03	8.90	32.58
14.55	8.35	5.89	6.76	35.55
15.79	6.78	3.29	4.51	30.37
13.32	8.95	8.39	6.70	37.36
17.90	6.75	10.32	5.66	40.63
15.24	6.81	6.55	6.17	34.77

f. Tanggal 4 mei 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle time</i>
20.15	5.47	5.87	4.11	35.60
16.87	6.76	5.46	5.62	34.71
19.56	7.81	6.49	5.66	39.52
20.17	8.45	5.84	6.49	40.95
19.31	8.59	6.69	5.09	39.68
20.77	5.03	5.31	5.89	37.00
19.16	5.82	7.11	6.47	38.56
18.22	5.80	6.79	6.90	37.71
18.54	6.57	6.11	4.61	35.83
21.34	5.74	5.38	5.33	37.79
21.44	7.49	5.14	6.59	40.66
21.92	6.41	7.75	5.82	41.90
21.11	6.87	5.29	6.48	39.75
20.86	5.41	6.59	7.59	40.45
19.20	6.55	5.67	6.72	38.14
18.43	5.41	7.11	5.88	36.83
17.53	5.62	5.86	4.30	33.31
20.22	6.46	5.44	6.09	38.21
16.39	6.73	6.37	5.60	35.09
19.50	6.57	5.71	5.71	37.49
16.55	6.71	5.48	6.82	35.56
18.94	5.09	7.07	6.49	37.59
19.53	9.57	5.41	6.01	40.52
19.71	6.49	5.70	5.47	37.37
14.69	7.31	5.11	6.53	33.64
15.78	6.89	6.06	6.51	35.24
16.52	5.79	5.33	7.45	35.09
18.83	5.98	6.82	6.59	38.22
18.03	7.75	6.71	7.48	39.97
16.75	6.88	7.55	5.31	36.49
18.87	6.60	6.11	6.05	37.63

Tanggal 7 Mei 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle time</i>
14.80	4.80	5.15	5.21	29.96
16.38	5.62	6.17	6.95	35.12
16.21	6.51	6.23	7.28	36.23
13.52	4.28	4.81	5.96	28.57
14.95	7.28	7.80	6.00	36.03
10.98	4.46	8.23	6.33	30.00
15.31	6.56	7.82	6.29	35.98
19.07	5.93	4.63	4.90	34.53
15.19	5.39	4.97	4.18	29.73
14.39	4.88	7.27	5.20	31.74
15.71	4.15	7.68	5.20	32.74
16.34	5.72	6.19	5.32	33.57
12.03	4.61	8.38	6.26	31.28
12.61	6.98	4.49	4.92	29.00
13.01	5.98	5.53	5.71	30.23
15.09	8.11	7.90	5.06	36.16
13.58	7.87	7.14	4.77	33.36
12.65	11.60	8.53	5.32	38.10
15.67	5.98	6.28	6.58	34.51
14.03	10.15	6.43	5.82	36.43
12.60	5.93	11.66	6.80	36.99
16.80	7.08	5.27	5.20	34.35
14.67	4.62	8.58	9.45	37.32
14.03	6.87	4.22	6.31	31.43
15.29	5.07	3.77	5.89	30.02
13.40	4.78	3.53	7.61	29.32
12.51	5.99	4.81	6.66	29.97
14.40	4.27	3.45	7.33	29.45
15.20	7.46	4.58	6.68	33.92
14.45	6.12	6.47	5.90	32.94
14.50	6.17	6.27	6.04	32.97

g. Tanggal 9 Mei 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle time</i>
17.50	7.51	7.74	8.36	41.11
16.13	5.79	5.40	7.45	34.77
17.19	6.41	5.64	6.86	36.10
15.25	6.26	6.12	6.82	34.45
19.31	8.06	5.25	6.34	38.96
18.87	6.80	6.00	6.08	37.75
19.90	7.24	5.69	5.61	38.44
17.46	5.45	5.48	6.33	34.72
19.25	8.97	8.27	7.94	44.43
18.71	7.82	5.24	7.64	39.41
19.72	6.74	5.50	6.14	38.10
14.77	6.74	5.31	7.39	34.21
12.98	5.87	6.86	6.50	32.21
15.56	6.32	5.60	5.72	33.20
18.74	6.28	7.16	5.79	37.97
15.03	8.84	5.09	5.60	34.56
17.08	5.34	8.27	7.27	37.96
17.57	5.77	6.97	7.28	37.59
17.65	5.52	7.17	5.28	35.62
15.13	5.60	5.38	7.91	34.02
16.77	6.46	5.44	6.25	34.92
17.03	7.29	5.74	7.23	37.29
17.26	5.44	6.22	6.15	35.07
18.38	7.50	5.51	7.14	38.53
15.70	7.19	6.63	10.50	40.02
16.79	14.52	7.61	6.40	45.32
15.11	7.65	8.31	6.93	38.00
16.12	7.78	7.04	6.59	37.53
17.45	6.04	5.26	6.41	35.16
15.98	8.31	5.21	7.24	36.74
17.01	7.05	6.24	6.84	37.14

i. Tanggal 10 Mei 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle time</i>
10.44	8.47	6.18	4.34	29.43
14.40	5.02	7.02	5.96	32.40
15.70	6.78	6.08	5.14	33.70
13.03	3.90	7.14	4.54	28.61
16.75	8.22	9.08	4.24	38.29
18.95	4.64	5.33	6.93	35.85
17.35	5.18	7.64	6.33	36.50
16.70	3.36	7.45	5.76	33.27
10.93	14.68	6.21	3.84	35.66
19.53	4.97	9.27	6.69	40.46
13.22	5.81	7.16	5.93	32.12
13.82	5.07	7.30	5.58	31.77
17.52	7.96	8.82	4.90	39.20
16.80	6.02	8.82	6.40	38.04
15.20	5.94	7.30	6.53	34.97
15.12	4.20	9.92	5.12	34.36
13.69	8.78	10.69	4.97	38.13
13.78	9.54	2.27	7.61	33.20
14.54	5.40	7.62	5.63	33.19
18.42	5.28	7.39	7.55	38.64
15.02	8.46	8.93	4.73	37.14
16.07	4.51	7.00	7.04	34.62
16.16	4.11	7.07	6.02	33.36
14.10	4.09	6.97	4.47	29.63
17.48	15.05	14.51	7.79	54.83
14.47	8.29	7.31	7.32	37.39
10.44	6.53	7.95	11.58	36.50
13.81	6.53	6.99	5.07	32.40
10.15	17.21	15.65	6.42	49.43
18.75	7.39	5.89	3.84	35.87
15.08	7.05	7.90	5.94	35.97

j. Tanggal 24 Mei 2023

<i>Digging time</i>	<i>Swing isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing kosong</i>	<i>Cycle time</i>
12.81	14.40	6.02	4.84	38.07
10.75	5.35	5.47	5.68	27.25
18.62	7.51	6.56	4.88	37.57
11.92	4.14	6.39	8.02	30.47
14.34	9.57	4.82	3.49	32.22
19.94	7.82	4.00	5.40	37.16
10.84	3.46	6.79	7.02	28.11
15.48	16.74	6.89	4.82	43.93
10.88	5.54	4.72	3.52	24.66
15.10	4.75	6.63	4.94	31.42
11.35	5.26	6.39	7.03	30.03
13.62	6.76	8.01	4.83	33.22
13.03	4.87	7.11	4.82	29.83
12.30	5.29	6.47	5.27	29.33
13.26	4.87	6.44	6.31	30.88
15.94	12.68	6.07	5.85	40.54
10.23	7.03	5.88	5.27	28.41
13.68	4.39	6.36	5.32	29.75
15.70	22.82	6.56	6.63	51.71
15.23	9.31	9.84	4.48	38.86
13.52	4.62	8.89	5.23	32.26
10.14	4.17	8.07	4.73	27.11
19.49	3.82	4.74	4.46	32.51
11.02	4.00	5.19	5.52	25.73
22.89	3.67	4.60	4.46	35.62
14.32	4.54	5.55	4.66	29.07
16.06	5.96	5.99	5.21	33.22
10.53	16.06	5.75	5.72	38.06
13.71	3.39	5.87	5.91	28.88
13.97	7.29	6.20	5.45	32.91
14.02	7.34	6.28	5.33	32.96