

ANALISIS GETARAN TANAH MENGGUNAKAN TEORI *SCALED DISTANCE* PADA KEGIATAN PELEDAKAN DI PT. BUKIT MAKMUR MANDIRI UTAMA *JOBSITE* PT. ADARO INDONESIA KABUPATEN TABALONG KALIMANTAN SELATAN

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Strata I
Pada Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan**



OLEH:

TORDESILAS FERARA

DBD 114 128

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN/PRODI TEKNIK PERTAMBANGAN
PALANGKA RAYA
2021**

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : TORDESILAS FERARA
NIM : DBD 114 128
JURUSAN/PRODI : TEKNIK PERTAMBANGAN

Menyatakan bahwa penyusunan Skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri, terkecuali kutipan-kutipan yang telah saya jelaskan sumbernya di daftar pustaka. Apabila terdapat pelanggaran dalam penulisan dan penyusunan Skripsi ini, saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai aturan dan ketentuan yang berlaku.

Palangka Raya, 19 Mei 2021

Penulis,



TORDESILAS FERARA
DBD 114 128

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS GETARAN TANAH MENGGUNAKAN TEORI *SCALED DISTANCE* PADA KEGIATAN PELEDAKAN DI PT. BUKIT MAKMUR MANDIRI UTAMA *JOBSITE* PT. ADARO INDONESIA KABUPATEN TABALONG KALIMANTAN SELATAN

Oleh:

TORDESILAS FERARA
DBD 114 128

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 19 Mei 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima.

Susunan Tim Penguji,

1. Dr. Stephanus Alessander, S.T., M.T.
NIP. 19790622 200801 1 007
2. Ir. Yulian Taruna, M.Si.
NIP. 19580705 198903 1 019
3. Ferdinandus, S.T., M.T.
NIP. 19891116 201903 1 009
4. Novalisae, S.T., M.T.
NIP. 19881110 201903 2 015
5. Lisa Virgiyanti, S.T., M.T.
NIP. 19770904 200801 2 011

Ketua

Sekretaris

Anggota

Anggota

Anggota



Mengetahui,
Dekan
Fakultas Teknik



Ir. Waluyo Nuswantoro, MT.
NIP. 1965 119 199302 1 001

Menyetujui,
Ketua Jurusan/Prodi
Teknik Pertambangan

Fahru Indrajaya, ST., MT.
NIP. 19791215 200812 1 001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Amsal 19:21

“Banyak rencana di hati manusia, tetapi keputusan TUHAN lah yang terlaksana”

Skripsi ini ku persembahkan kepada:

Ayah Almarhum Seplanto Nicolas, Ibu Rutani dan Adik Tordesani Angelo Ferozi. Terimakasih untuk semua dukungan dan pengorbanannya. Yang selalu membawa namaku disetiap doanya. Kalian yang paling luar biasa.

Wanita terspesial, Indah Putrika Rezky. Terimakasih untuk selalu ada menemani dan memberikan petuah serta motivasi. Terlebih untuk kesabaran yang tak pernah ada habisnya.

Sahabat-sahabat terkasih member syanax berdendang. Anak-anak terkocak yang menemani selama waktu perkuliahan. Sahabat seperjuangan menjalani kehidupan sebagai mahasiswa.

Teman bertukar pikiran perskirpsian, Indah Putrika Rezky dan Ikhwan Prasaja. Terimakasih untuk kesediaannya berbagi ilmu yang aku ga pernah ngerti sebelumnya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan Berkah, Kasih dan KaruniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Hasil Penelitian Skripsi yang berjudul “Analisis Getaran Tanah Menggunakan Teori *Scaled Distance* pada Kegiatan Peledakan di PT. Bukit Makmur Mandiri Utama *Jobsite* PT. Adaro Indonesia Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan”.

Selama penyusunan Hasil Skripsi ini tidak lepas dari saran, dorongan, dan bimbingan dari berbagai pihak yang merupakan pengalaman yang tidak dapat diukur secara materi. Oleh karena itu dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, MT., Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Bapak Fahrul Indrajaya, ST., MT., Ketua Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Yossa Yonathan H., ST., MT., Sekretaris Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Dr . Stephanus A., ST., MT., Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Ir . Yulian Taruna, M.Si., Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Ferdinandus, ST., MT., Dosen Penguji I.
7. Ibu Novalisae, ST., MT., Dosen Penguji II.
8. Ibu Lisa Virgiyanti, ST., MT., Dosen Penguji III.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Hasil skripsi.

Penulis menyadari bahwa Hasil Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan berupa saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pada umumnya dan khususnya ilmu pertambangan.

Palangka Raya, 19 Mei 2021

Penulis

SARI

PT. Bukit Makmur Mandiri Utama merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang menerapkan sistem tambang terbuka dengan metode *strip mine*. Perusahaan ini melakukan pembongkaran lapisan tanah penutup dengan menggunakan metode peledakan. Kegiatan peledakan akan menghasilkan energi seismik yang berpotensi menimbulkan dampak negatif pada daerah sekitar tambang jika telah melampaui ambang batas ketahanan suatu bangunan, yang dikenal dengan getaran tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor yang berpengaruh terhadap tingkat getaran tanah sehingga dapat memberikan upaya untuk meminimalkannya. Metode pengambilan data adalah dengan metode *purposive sampling*. Jumlah data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah 30 data yang meliputi data tingkat getaran tanah, jarak peledakan, bobot isian bahan peledak, pola dan rangkaian peledakan, dan penggunaan waktu tunda. Pengolahan data dilakukan dengan analisis regresi non-linier model geometrik nilai *Scaled Distance* (SD) terhadap PVS.

Hasil analisis regresi didapatkan persamaan hubungan antara SD dan PVS, yaitu $PVS = 7.5657 SD^{-0.414}$ dengan $R^2 = 74,93\%$ yang menyatakan korelasi kuat. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk melakukan prediksi tingkat getaran tanah dengan nilai rata-rata penyimpangan PVS aktual terhadap PVS prediksi sebesar 0,13 mm/s dan tingkat akurasi 88,92%. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat getaran tanah hasil peledakan di Pit Paringin adalah jarak lokasi peledakan dengan pemukiman warga, penggunaan waktu tunda peledakan nonel dan elektronik yang memungkinkan beberapa lubang meledak bersamaan, bobot isian bahan peledak per waktu tunda karena adanya lubang yang meledak bersamaan, dan pola peledakan. Berdasarkan hasil penelitian, yang dapat dilakukan untuk meminimalkan getaran tanah adalah dengan melakukan perancangan ulang terhadap faktor yang dapat di kontrol, seperti pemilihan letak IP, penggunaan waktu tunda *surface delay* yang lebih kecil pada bagian kontrol, dan merancang kombinasi *surface delay* yang tepat dengan memperhatikan jumlah baris.

Kata Kunci: Peledakan, Getaran Tanah, *Scaled Distance*, PVS.

ABSTRACT

PT. Bukit Makmur Mandiri Utama is one of the coal mining companies that applies open pit mining with the strip mine method. This company unloaded the overburden using a blasting method. Blasting activities will produce seismic energy which has the potential to have a negative impact on the area around the mine if it has exceeded the resistance threshold of a building, known as ground vibration.

The goal of this study is to analyze factors that influence the ground vibration level, so that it can provide an effort to minimize. Data collection method by purposive sampling. The amount of data collected in this study is 30 data which includes data on ground vibration level, blasting distance, explosive fill weight, blasting pattern, and delay time usage. Data processing is done by non-linear regression geometric models of the value of Scaled Distance (SD) against PVS.

The results of the regression analysis found an equation of the relationship between SD and PVS, namely $PVS = 7.5657 SD^{-0.141}$ with $R^2 = 74.93\%$ which states a strong correlation. This equation can be used to predict the ground vibration level with the actual PVS deviation value for predicted PVS of 0.13 mm/s and an accuracy rate of 88.92%. The factors that influence the ground vibrations level in Pit Paringin blasting activities are the distance of blasting locations with residential area, the usage of nonel blasting delay time which allows several explosive holes explode in coincide, the weight of explosive filling per delay time due to the presence of concurrent exploding holes, and blasting pattern. Based on the results of the study, what can be done to minimize ground vibration is by redesign factors that can be controlled, such as the selection of IP location, the use of smaller surface delay delay times in the control section, and design the right combination of surface delay with notice to the amount line.

Key Words: *Blasting, Ground Vibration, Scaled Distance, PVS.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
SARI	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Sistem dan Metode Penambangan.....	6
2.3 Pola Pengeboran.....	13
2.4 Geometri Peledakan.....	16
2.5 Pola Peledakan.....	23
2.6 Energi Peledakan.....	27
2.6.1 <i>Work Energy</i>	28
2.6.2 <i>Waste Energy</i>	29
2.7 Mekanisme Pecahnya Batuan.....	29
2.8 Getaran Tanah (<i>Ground Vibration</i>).....	31
2.8.1 Faktor yang Tidak Dapat Dikontrol.....	32
2.8.2 Faktor yang Dapat Dikontrol.....	35
2.9 Gelombang Seismik.....	37
2.10 Alat Pengukuran Getaran Tanah.....	41
2.11 <i>Scaled Distance</i> (SD).....	42
2.12 Analisis Regresi Sederhana.....	45
2.12.1 Regresi Linier.....	46
2.12.2 Regresi Non-Linier Model Geometrik.....	47
2.12.3 Koefisien Korelasi dan Koefisien Determinasi.....	48
2.13 Metode untuk Mengurangi Getaran Akibat Peledakan.....	49
2.14 Standar Getaran SNI 7571:2010.....	51

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Gambaran Umum Wilayah Penelitian	53
3.1.1	Profil Perusahaan	53
3.1.2	Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah	55
3.1.3	Keadaan Iklim dan Curah Hujan	56
3.2	Kondisi Geologi	57
3.2.1	Kondisi Geologi Regional	57
3.2.2	Kondisi Geologi Daerah Penelitian	62
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	64
3.4	Tata Laksana Penelitian	65
3.4.1	Langkah Kerja	65
3.4.2	Metode Penelitian	67
3.5	Bagan Alir	69
3.6	Waktu Penelitian Skripsi	70

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil	73
4.1.1	Perhitungan Tingkat Getaran Tanah	73
4.1.2	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Getaran Tanah	91
4.1.3	Upaya untuk Meminimalkan Getaran Tanah	97
4.2	Pembahasan	103
4.2.1	Perhitungan Tingkat Getaran Tanah	103
4.2.2	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Getaran Tanah	111
4.2.3	Upaya untuk Meminimalkan Getaran Tanah	114

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	121
5.2	Saran	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pola Pengeboran Square Pattern.....	8
Gambar 2.2	Pola Pengeboran <i>Rectangular Pattern</i>	9
Gambar 2.3	Pola Pengeboran <i>Staggered Pattern</i>	9
Gambar 2.4	Pola Pengeboran <i>Zig-Zag Staggered Pattern</i>	10
Gambar 2.5	Pengaruh Pola Pengeboran terhadap Energi Peledakan.....	10
Gambar 2.6	Geometri Peledakan.....	11
Gambar 2.7	Sistem Waktu Tunda <i>Echelon</i>	19
Gambar 2.8	Sistem Waktu Tunda <i>Row by Row</i>	19
Gambar 2.9	Sistem Waktu Tunda <i>V-Cut</i>	20
Gambar 2.10	Orientasi antar Retakan 90°.....	20
Gambar 2.11	Orientasi antar Retakan 60°.....	21
Gambar 2.12	Peledakan Pojok antar Baris dengan Pola Bujursangkar.....	21
Gambar 2.13	Peledakan Pojok antar Baris dengan Pola <i>Staggered</i>	21
Gambar 2.14	Pola <i>V-Cut</i> Bujursangkar dan Waktu Tunda <i>Close-Interval</i>	22
Gambar 2.15	Pola <i>V-Cut</i> Persegi Panjang dan Waktu Tunda Bebas.....	22
Gambar 2.16	Distribusi Energi Bahan Peledak.....	23
Gambar 2.17	Mekanisme Pecahnya Batuan.....	26
Gambar 2.18	Gelombang Tekan.....	33
Gambar 2.19	Gelombang Geser.....	34
Gambar 2.20	Gelombang <i>Reyleigh</i>	35
Gambar 2.21	Gelombang <i>Love</i>	35
Gambar 2.22	<i>Blastmate III</i>	36
Gambar 2.23	Diagram Pencar dan Garis Regresi Linear.....	41
Gambar 2.24	Diagram Pencar dan Garis Regresi Model Geometri.....	42
Gambar 2.25	Gelombang Seismik pada Peledakan Tunda.....	46
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Burden Ratio</i> Standar (Kb_{std}) menurut R.L. Ash	12
Tabel 2.2	Potensi yang Terjadi Akibat <i>Stiffnes Ratio</i> (L/B)	16
Tabel 2.3	Kekerasan dan Kekuatan Batuan	28
Tabel 2.4	Penentuan Nilai Koefisien k	38
Tabel 2.5	Penentuan Nilai Koefisien x	39
Tabel 2.6	Nilai Eksponen e untuk Tipe Batuan yang Berbeda	39
Tabel 2.7	Nilai Koefisien Korelasi	44
Tabel 2.8	Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Tambang Terbuka	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. BUMA merupakan perusahaan kontraktor tambang batubara yang bekerja melayani produksi batubara dan *overburden* untuk PT. Adaro Indonesia selaku perusahaan pemilik PKP2B (Perjanjian Karya Pengusahaan Pertambangan Batubara).

Kegiatan penambangan di PT. BUMA salah satunya adalah pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden* dan *interburden*). Kegiatan ini didahului dengan proses pemberaian material menggunakan metode peledakan. Lapisan penyusun tanah penutup pada PT. BUMA umumnya terdiri dari material batupasir dan batulempung. Berdasarkan kajian teknis dan nilai ekonomis oleh pihak PT. BUMA, operasi peledakan merupakan upaya yang memungkinkan untuk memberaikan material penyusun *overburden* dan *interburden* dengan lebih efektif dan efisien. Dalam pelaksanaan kegiatan peledakan, selain memperhatikan target produksi juga harus memperhitungkan dampak dari peledakan itu sendiri terutama dalam hal getaran tanah, yang dapat menimbulkan efek negatif pada daerah sekitar tambang jika telah melampaui ambang batas yang ditetapkan.

Lokasi penambangan Pit Paringin berdekatan dengan wilayah pemukiman penduduk, yaitu Desa Sungai ketapi dan Desa Dahai dengan jarak ± 1200 m dari lokasi peledakan. Masyarakat sekitar sering melakukan pengaduan kerusakan bangunan kepada pihak perusahaan sebagai dampak

getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Oleh karena itu, pada saat melakukan kegiatan peledakan harus dilakukan juga pengukuran tingkat getaran tanah di wilayah pemukiman penduduk tersebut, sehingga pihak-pihak terkait dapat selalu mengontrol getaran tanah yang dihasilkan dari setiap kegiatan peledakan. Dengan dilakukan pengukuran getaran tanah secara berkala, maka dapat diketahui faktor-faktor yang menyebabkan getaran tanah dan upaya apa saja yang dapat dilakukan untuk meminimalkan getaran tanah tersebut. Mengacu pada hal tersebut melatarbelakangi penulis untuk melakukan pengamatan dan penelitian mengenai getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan, dengan judul “Analisis Getaran Tanah Menggunakan Teori *Scaled Distance* pada Kegiatan Peledakan *Interburden* B2C di Pit Paringin”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian skripsi ini adalah:

1. Bagaimana hasil perhitungan tingkat getaran tanah menggunakan teori *scaled distance* di Pit Paringin?
2. Apa saja faktor yang mempengaruhi tingkat getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan di Pit Paringin?
3. Apa saja upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat getaran tanah pada kegiatan peledakan di Pit Paringin?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menghitung tingkat getaran tanah dengan menggunakan teori *scaled distance*.
2. Menganalisis faktor yang mempengaruhi getaran tanah hasil peledakan di Pit Paringin.
3. Memberikan masukan sebagai upaya untuk mengurangi tingkat getaran tanah.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian skripsi ini, penulis memberikan batasan masalah pada:

1. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 16 Agustus – 15 Oktober 2019.
2. Dampak yang diamati adalah dampak terhadap pemukiman/bangunan.
3. Penentuan karakteristik getaran tanah menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 7571:2010.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian skripsi ini adalah:

1. Bagi peneliti

Dengan dilakukannya penelitian, penulis dapat mengetahui pengaruh getaran tanah dari kegiatan peledakan terhadap pemukiman disekitar lokasi penambangan dan dapat mengetahui faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap getaran tanah hasil kegiatan peledakan.

2. Bagi Perusahaan

Dengan adanya data dari hasil kegiatan penelitian diharapkan dapat membantu perusahaan dalam mengevaluasi pelaksanaan peledakan terutama dalam pengendalian tingkat getaran tanah hasil peledakan.

3. Bagi pembaca

Dapat memberikan informasi mengenai kegiatan peledakan yang dilakukan oleh perusahaan terutama mengenai hal yang berhubungan dengan tingkat getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

M. Romi Noviansyah (2016), memaparkan bahwa sistem waktu tunda yang digunakan pada aktivitas peledakan harus dirancang sesuai kondisi *freeface* yang ada dan dengan kombinasi waktu tunda yang tepat. Sehingga perlu dilakukan perancangan ulang sistem waktu tunda agar getaran tanah yang dihasilkan dapat dikurangi untuk mengantisipasi dampak terhadap fasilitas tambang. Lokasi peledakan pada kegiatan penelitian terletak pada *Quarry* Karang Putih dan pengukuran getaran tanah dilakukan pada area Departemen Tambang PT. Semen Padang yang memiliki ketinggian lebih rendah daripada lokasi penambangan. Jumlah data getaran tanah yang diukur sebanyak 32 data, dengan menggunakan alat *Micromate*. Jarak pengukuran bervariasi, yaitu 339 – 698 m. Bahan peledak yang digunakan adalah DABEX 73 dengan densitas 1,18 gr/cc dan jumlah isian bahan peledak per lubang antara 50 – 100 kg. Ukuran burden dan spasi yang digunakan yaitu 5 x 5,5 m. Dari hasil analisis regresi data didapatkan persamaan rumus hubungan PPV dan SD, yaitu $PPV = 13305 SD^{-2,58}$ dengan koefisien determinasi atau $R^2 = 0,821$. Getaran tanah yang dihasilkan oleh sistem waktu tunda *echelon* yang memiliki beda tinggi 35 m dengan fasilitas tambang telah melewati ambang batas 3 mm/s dari yang telah ditentukan perusahaan, yaitu 3,05 mm/s dengan nilai *scaled distance*

36,2 m/kg^{1/2}. Setelah dilakukan modifikasi sistem waktu tunda, menghasilkan PPV 2,25 mm/s dengan nilai *scaled distance* 36,9 m/kg^{1/2}.

Jonathan Chiston Silaen (2015), memaparkan bahwa getaran tanah dari hasil peledakan yang tidak terkontrol, maka pada level tertentu apabila telah melampaui ambang batas dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan sekitar. Bahan peledak yang digunakan adalah *emultion synergy* 135 dengan densitas 1,20 gr/cc, ukuran burden spasi yang digunakan yaitu 9 x 10 m, dan kedalaman lubang ledak 3 – 15 m. Jumlah data yang dikumpulkan adalah 30 data dengan menggunakan alat pengukuran getaran tanah Nomis Seismographs. Dari hasil analisis regresi data didapatkan persamaan rumus hubungan PPV dan SD, yaitu $PPV = 1540,1 SD^{-1,524}$ dengan koefisien determinasi atau $R^2 = 0,9435$. Dari persamaan rumus hubungan antara PPV dan SD, untuk batasan PPV yang ditetapkan perusahaan sebesar 3 mm/s maka dapat diketahui jarak dan jumlah isian bahan peledak maksimal yang tidak menghasilkan getaran tanah melebihi ambang batas SNI 7571:2010. Untuk jarak peledakan 500 m dari bangunan, jumlah isian bahan peledak yang direkomendasikan adalah 75 kg. Semakin jauh jarak dari bangunan, semakin banyak juga bahan peledak yang dapat digunakan.

2.2 Sistem dan Metode Penambangan

Secara garis besar sistem penambangan dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

1. Tambang terbuka (*surface mining*), adalah metode penambangan yang segala kegiatan atau aktivitas penambangannya dilakukan di atas (atau

relatif dekat dengan permukaan bumi), dan tempat kerjanya berhubungan langsung dengan udara luar.

2. Tambang dalam/tambang bawah tanah (*underground mining*), adalah metode penambangan yang segala kegiatan atau aktivitas penambangannya dilakukan di bawah permukaan bumi, dan tempat kerjanya tidak langsung berhubungan dengan udara luar.
3. Tambang bawah air (*underwater mining*), adalah metode penambangan yang kegiatan penggaliannya dilakukan di bawah permukaan air atau endapan mineral berharganya terletak dibawah permukaan air.

Menurut Hartman (1987), dari empat kelompok besar metode penambangan tersebut dapat dibagi menjadi metode – metode penambangan yang lebih spesifik.

Tabel 2.1 Klasifikasi Sistem Penambangan (Hartman, 1987)

SISTEM	KELAS	METODE	BAHAN GALIAN
Konvensional			
Tambang Terbuka	Mekanis	<i>Open pit mining*</i> <i>Quarrying*</i> <i>Opencast mining*</i> <i>Auger mining</i>	Metal, non-metal Non-metal Batubara, non-metal Batubara, metal, non-metal
	<i>Aquaeous</i>	<i>Hydraulicking*</i> <i>Dredging *</i>	Metal, non-metal Metal, non-metal
Tambang Bawah Tanah	Swa-sangga (<i>Selfsupported</i>)	<i>Room & Pillar mining*</i> <i>Stope & Pillar mining*</i> <i>Underground gloryhole</i> <i>Gophering</i> <i>Shrinkage stoping</i> <i>Sublevel stoping *</i>	Batubara, non-metal Metal, non-metal Metal, non-metal Metal, non-metal Metal, non-metal Metal, non-metal
	Berpenyangga buatan (<i>Supported</i>)	<i>Cut & Fill stoping *</i> <i>Stull stoping</i> <i>Square set stoping</i>	Metal Metal Metal

	Ambrukkan (<i>Caving</i>)	<i>Longwall mining</i> * <i>Sublevel caving</i> <i>Block caving</i> *	Batubara, non metal Metal Metal
Inkonvensional			
Novel		Penggalian cepat Automasi, Robotik Gasifikasi bawah tanah Retorting bawah tanah Tambang samudera Tambang nuklir Tambang luar bumi	Batuan keras Semua Batubara, batuan lunak Hidrokarbon Metal Non-batubara Metal, non-metal

*) = Metode penambangan yang sering diterapkan

Dalam kegiatan penambangan, hal yang paling utama adalah memilih suatu metode penambangan yang paling sesuai dengan karakteristik unik (alam, geologi, lingkungan dan sebagainya) dari endapan yang akan ditambang dalam batas keamanan, teknologi dan ekonomi, untuk mencapai ongkos yang paling minimum dan keuntungan maksimal. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan tersebut adalah:

1. Karakteristik spasial dari endapan

Merupakan faktor penting yang dominan, karena akan menentukan pemilihan metode penambangan antara tambang terbuka dengan tambang bawah tanah, penentuan tingkat produksi, metode penanganan material, dan bentuk tambang dalam badan bijih. Faktor – faktor tersebut meliputi:

- a. Ukuran (dimensi, terutama tinggi dan tebal)
- b. Bentuk (*tabular, lenticular, massive, irregular*)
- c. Orientasi (*dip/inklinasi*)

d. Kedalaman (rata-rata dan nilai ekstrim, yang akan berimbas pada *stripping ratio*)

2. Kondisi geologi dan hidrogeologi

Karakteristik geologi, baik dari badan bijih maupun batuan sampling, akan mempengaruhi pemilihan metode penambangan, terutama dalam pemilihan antara metode selektif dan nonselektif serta pemilihan sistem penyanggaan pada sistem penambangan bawah tanah. Hidrologi berdampak pada kebutuhan akan penyaliran dan pemompaan, sedangkan aspek mineralogi akan menentukan syarat – syarat pengolahan, yaitu:

- a. Mineralogi dan petrologi (Sulfida vs Oksida)
- b. Komposisi kimia
- c. Struktur endapan (lipatan, sesar, ketidakmenerusan, intrusi)
- d. Bidang lemah, (kekar, rekahan, bidang perlapisan)
- e. Keseragaman, alterasi, erosi (zona dan daerah pembatas)
- f. Air tanah dan hidrologi (kemunculan, debit aliran dan muka air)

3. Sifat-sifat geoteknik (mekanika tanah dan mekanika batuan) untuk bijih dan batuan sekelilingnya. Hal ini akan mempengaruhi pemilihan peralatan pada sistem penambangan terbuka serta pemilihan kelas dan metode dalam sistem penambangan bawah tanah (swasangga, berpenyangga, atau ambrukan). Sifat-sifat geoteknik yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Sifat-sifat fisik (bobot isi, *voids*, porositas, permeabilitas, lengas)

- b. Sifat elastik (kekuatan, modulus elastisitas, nisbah Poisson)
- c. Perilaku elastik atau visko elastik (*flow, creep*)
- d. Keadaan tegangan (tegangan awal, induksi)
- e. Konsolidasi, kompaksi dan kompeten (kemampuan bukaan pada kondisi tanpa penyangga)

4. Pertimbangan ekonomi

Pertimbangan ekonomi akan mempengaruhi hasil, investasi, aliran kas, masa pengembalian dan keuntungan. Faktor ini meliputi:

- a. Cadangan (tonase dan kadar)
- b. Produksi
- c. Umur tambang
- d. Produktivitas
- e. Perbandingan ongkos penambangan untuk metode penambangan yang sesuai

5. Faktor teknologi

Kondisi yang paling sesuai antara kondisi alamiah endapan dan metode penambangan adalah yang paling diinginkan. Sedangkan metode yang tidak sesuai mungkin tidak banyak pengaruhnya pada saat penambangan, tetapi kemungkinan akan berpengaruh pada kegiatan pendukung tambang/terusannya (pengolahan, peleburan, dan lain-lain).

Yang termasuk dalam faktor teknologi adalah:

- a. Perolehan tambang, dilusi (jumlah *waste* yang ikut terambil)
- b. Fleksibilitas metode dengan perubahan kondisi

- c. Selektifitas metode untuk memisahkan bijih dan *waste*
- d. Konsentrasi atau dispersi pekerjaan
- e. Modal, pekerja, dan intensitas mekanisasi

6. Faktor lingkungan

Faktor lingkungan yang dimaksud tidak hanya berupa lingkungan fisik, tetapi juga meliputi lingkungan sosial, politik dan ekonomi. Yang termasuk dalam faktor lingkungan adalah:

- a. Penurunan permukaan tanah (*subsidence*), atau efek ambrukan pada permukaan tanah
- b. Kontrol bawah permukaan untuk merawat kondisi bukaan
- c. Kontrol atmosfer (ventilasi, kontrol kualitas, kontrol panas dan kelembaban)
- d. Kekuatan kerja (pelatihan, *recruitment*, kesehatan dan keselamatan, kehidupan, kondisi pemukiman)

Metode dan prinsip penambangan tersebut melibatkan masalah – masalah geomekanika dan operasional. Selain karakteristik endapan yang mempengaruhi pemilihan metode penambangan, karakteristik operasional khusus untuk setiap metode penambangan secara langsung juga ikut mempengaruhi pemilihan metode penambangan. Karakteristik operasional tersebut meliputi skala penambangan, laju produksi, selektivitas, persyaratan pekerja, dan keluwesan ekstraksi. Pedoman untuk menentukan metode penambangan terbuka berdasarkan kekuatan endapan dan batuan disekitarnya serta geometri cadangan menurut Hartman (1987), yaitu:

1. Tambang terbuka umumnya lebih serba guna, terutama berkaitan dengan kekuatan endapan dan batuan samping, dip endapan, dan kadar endapan, tetapi sangat bergantung dengan bentuk dan ukuran endapan, keseragaman kadar dan kedalaman (keduanya mutlak dan bergantung pada nisbah kupas/*stripping ratio*).
2. Penerapan ideal pada endapan yang besar, perlapisan datar (atau massif) dengan sebaran secara mendatar yang luas dan tebal serta keterdapatannya dekat permukaan.
3. Kurang cocok untuk endapan yang kecil, tipis, kadar tidak merata, kemiringan besar dan posisinya dalam.
4. Penambangan dengan ekstraksi mekanis lebih konvensional, banyak diterapkan, mudah dalam pelaksanaannya dan fleksibel dalam perubahan metode penambangan.
5. Penambangan dengan ekstraksi *aqueous* lebih murah dan cocok untuk diterapkan pada endapan kecil dengan kadar yang bervariasi, tetapi sangat terbatas penerapannya pada endapan yang rentan terhadap terhadap air dan jika pemenuhan kebutuhan air memerlukan biaya yang mahal.

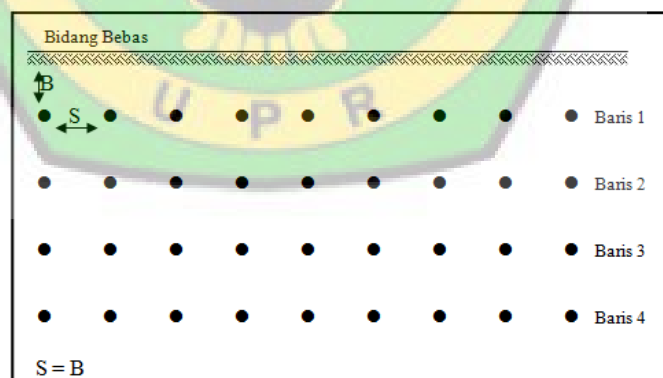
Sistem penambangan yang digunakan pada daerah lokasi penelitian adalah sistem penambangan terbuka dengan metode *strip mine*. Kondisi dan keadaan lapangan pada areal penambangan di Pit Paringin telah banyak mengalami perubahan terutama keadaan topografinya akibat penambangan.

Saat ini topografi Paringin terdiri dari topografi tinggi (bentuk bukit) dan topografi sangat rendah (bentuk kolam).

2.3 Pola Pengeboran

Pengeboran merupakan kegiatan yang pertama kali dilakukan dalam suatu operasi peledakan batuan. Kegiatan ini bertujuan untuk membuat sejumlah lubang ledak yang nantinya akan diisi dengan bahan peledak untuk kemudian diledakkan. Pola pengeboran merupakan suatu pola untuk menempatkan lubang-lubang ledak secara sistematis yang akan berpengaruh terhadap hasil peledakan terutama fragmentasi yang dihasilkan. Dengan pemilihan pola pengeboran yang tepat akan menghasilkan daerah pengaruh energi peledakan yang optimal. Ada empat pola pengeboran lubang tembak yang umum digunakan (Dick, Fletcher, D'Andrea, 1983) yaitu:

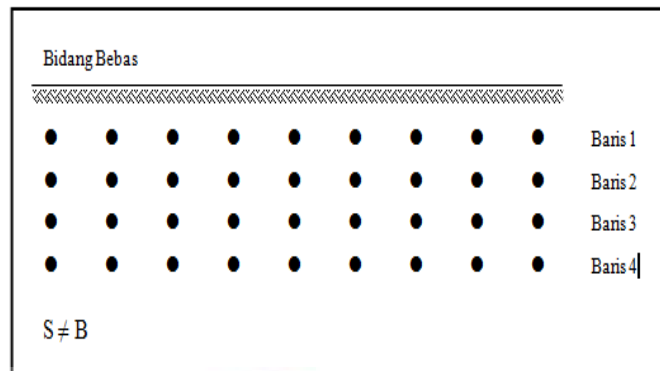
1. *Square pattern* (pola bujur sangkar)



Gambar 2.1 Pola Pengeboran *Square Pattern*

Merupakan pola pengeboran dimana panjang burden sama dengan spasi. Lubang tembak pada baris berikutnya berada tepat sejajar dibelakang lubang tembak pada baris didepannya.

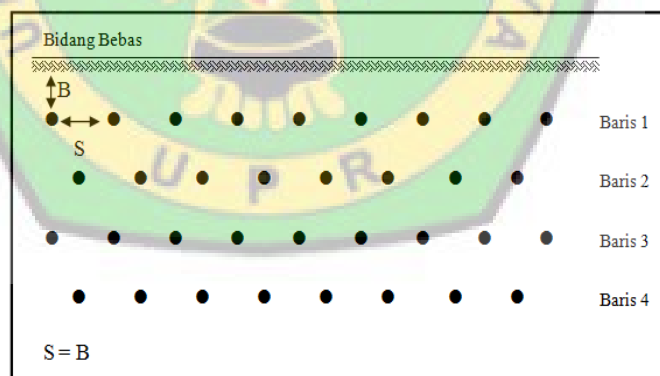
2. *Rectangular pattern* (pola persegi panjang)



Gambar 2.2 Pola Pengeboran *Rectangular Pattern*

Merupakan pola pengeboran dimana panjang spasi lebih besar dari panjang burden. Lubang tembak pada baris berikutnya juga tepat berada sejajar dibelakang lubang tembak pada baris didepannya. Pola ini menghasilkan daerah yang tidak hancur akan menjadi lebih besar.

3. *Square staggered pattern* (pola zig-zag persegi)

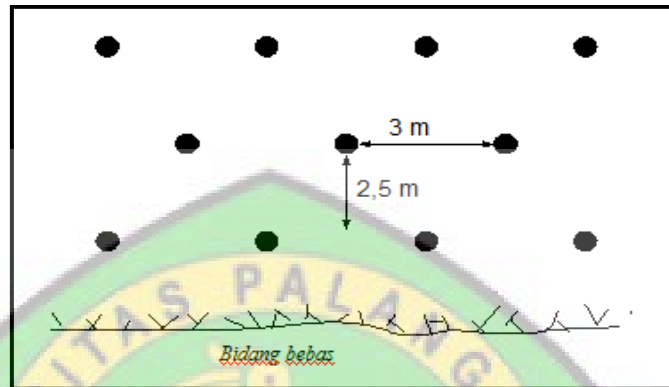


Gambar 2.3 Pola Pengeboran *Square Staggered Pattern*

Merupakan pola pengeboran dimana lubang tembak pada baris berikutnya berada ditengah-tengah spasi baris didepannya. Pola ini dapat diterapkan dengan *burden* sama dengan spasi atau *burden* lebih kecil dari spasi. Pola ini umum digunakan di lapangan karena mampu

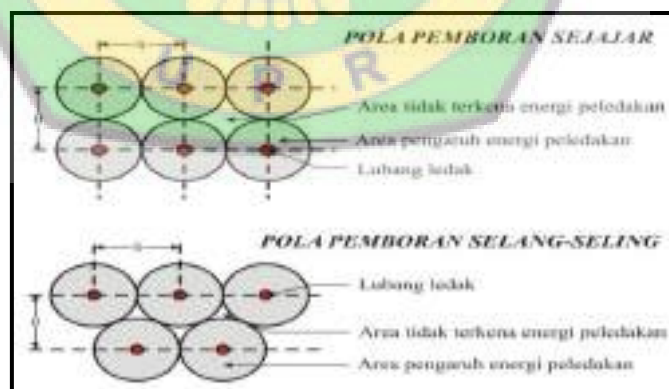
menghasilkan distribusi energi peledakan yang baik, menghasilkan fragmentasi peledakan yang lebih kecil dan seragam, dan menghasilkan daerah yang tidak hancur lebih sedikit dari pola yang lain.

4. *Rectangular staggered pattern* (pola zig-zag persegi panjang)



Gambar 2.4 Pola Pengeboran *Rectangular Staggered Pattern*

Merupakan pola pengeboran dimana lubang tembak pada baris berikutnya berada ditengah-tengah spasi baris didepannya dimana panjang spasi lebih besar dari panjang burden.



Gambar 2.5 Pengaruh Pola Pengeboran terhadap Energi Peledakan

Menurut hasil penelitian di lapangan pada jenis batuan kompak, menunjukkan bahwa hasil produktivitas dan fragmentasi peledakan dengan menggunakan pola pengeboran selang-seling lebih baik daripada pola

perubahan kearah geometri yang mendekati kondisi sesungguhnya. Percobaan di lapangan dilakukan dengan cara *trial and error* sampai diperoleh geometri peledakan yang optimal.

a. Burden (B)

Burden merupakan jarak tegak lurus antara lubang ledak terhadap bidang bebas terdekat yang panjangnya tergantung pada karakteristik batuan dan bahan peledak yang akan digunakan. Jarak burden yang baik adalah jarak yang memungkinkan energi secara maksimal dapat bergerak keluar dari kolom isian menuju bidang bebas.

Tabel 2.2 Burden *Ratio* Standar (K_{Bstd})

<i>Type of explosive</i>	<i>Rock Group</i>		
	<i>Soft</i> ($<2t/m^3$)	<i>Medium</i> ($2-2,5t/m^3$)	<i>Hard</i> ($>2,5 t/m^3$)
<i>Low density (0,8-0,9 g/cc) and low strength</i>	30	25	20
<i>Medium density (1,0-1,2 g/cc) and medium strength</i>	35	30	25
<i>High density (1,3-1,6 g/cc) and high strength</i>	40	35	30

(Sumber: R. L. Ash, 1990)

Dalam rancangan R. L. Ash, burden dihitung berdasarkan diameter lubang ledak dengan mempertimbangkan konstanta K_{Bstd} yang tergantung pada jenis batuan. Apabila batuan yang akan diledakkan sama dengan batuan standar dan bahan peledak yang

dipakai ialah bahan peledak standar, maka digunakan burden *ratio* (Kb) yaitu 30.

Bobot isi batuan standar (De_{std}) = 160 lb/cuft

Bahan peledak:

$$SG_{std} = 1,2$$

$$Ve_{std} (VOD_{std}) = 12000 \text{ fps}$$

$$Kb = 30$$

Maka:

$$B = \frac{Kb \times De}{12} \text{ ft} \dots\dots\dots(2.1)$$

atau,

$$B = \frac{Kb \times De}{39,3} \text{ m} \dots\dots\dots(2.2)$$

Jika batuan yang akan diledakkan tidak sama dengan batuan standar dan bahan peledak yang digunakan bukan pula bahan peledak standar,

K_{B-std} harus dikoreksi menggunakan faktor penyesuaian:

$$K_{b-terkoreksi} = 30 \times Af_1 \times Af_2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

Af_1 = Batuan yang akan diledakkan

Af_2 = Bahan peledak yang dipakai

Dengan:

$$Af_1 = \left(\frac{D_{std}}{D} \right)^{1/3} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Af_2 = \left(\frac{SG \cdot Ve^2}{SG_{std} \cdot Ve_{std}^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

V_e = VOD bahan peledak yang dipakai

SG = berat jenis bahan peledak yang dipakai

D = bobot isi batuan yang diledakkan

D_{std} = bobot isi batuan standar (160 lb/cuft, 2,56 ton/m³)

SG_{std} = berat jenis bahan peledak standar (1,2 gr/cm³)

$V_{e_{std}}$ = VOD bahan peledak standar (12.000 fps, 3657,6m/s)

b. Spasi (S)

Spasi adalah jarak diantara lubang ledak dalam satu garis yang sejajar dengan bidang bebas. Penerapan jarak antar spasi harus mempertimbangkan perbandingannya dengan burden agar didapat pencakupan energi peledakan yang cukup.

$$S = K_s \times B \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

S = spasi (m)

K_s = *spacing ratio* (1,00 – 2,00)

B = burden (m)

c. Stemming (T)

Stemming merupakan tempat material penutup didalam lubang ledak, yang letaknya diatas kolom isian bahan peledak dan diisi material hasil pengeboran (*cutting bor*) atau material berukuran kerikil dan dipadatkan diatas bahan peledak. Untuk menghitung *stemming* digunakan persamaan:

$$T = K_t \times B \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

$$T = \textit{stemming} \text{ (m)}$$

$$K_t = \textit{stemming ratio} \text{ (0,7 – 1,0)}$$

$$B = \textit{burden} \text{ (m)}$$

d. Subdrilling (J)

Subdrilling merupakan tambahan kedalaman pada lubang bor dibagian bawah lantai jenjang yang dimaksudkan agar jenjang terbongkar tepat pada batas lantai jenjang sehingga didapat lantai jenjang yang rata. Untuk menghitung *subdrilling* digunakan persamaan:

$$J = K_j \times B \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

$$J = \textit{subdrilling} \text{ (m)}$$

$$K_j = \textit{subdrilling ratio} \text{ (0,2 – 0,4)}$$

$$B = \textit{burden} \text{ (m)}$$

e. Tinggi Jenjang (H)

Tinggi jenjang maksimum ditentukan oleh kemampuan peralatan bor dan alat muat yang tersedia. Berdasarkan perbandingan tinggi jenjang dan jarak burden yang diterapkan (*stiffness ratio*), maka akan diketahui hasil dari peledakan tersebut (Tabel 2.3). Penentuan ukuran tinggi jenjang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H = 5 \times D_e \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan:

H = tinggi jenjang (m)

De = diameter lubang ledak (inchi)

Tabel 2.3 Potensi yang Terjadi Akibat *Stiffnes Ratio* (L/B)

<i>Stiffness Ratio</i>	Fragmentasi	Ledakan Udara	Batu Terbang	Getaran Tanah	Keterangan
1	Buruk	Besar	Banyak	Besar	Banyak terdapat <i>back-break</i> pada bagian <i>toe</i>
2	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Bila memungkinkan dilakukan perancangan ulang
3	Baik	Kecil	Sedikit	Kecil	Kontrol dan fragmentasi baik
4	Memuaskan	Sangat kecil	Sangat sedikit	Sangat kecil	Tidak akan menambah keuntungan bila <i>stiffness ratio</i> diatas 4

(Sumber: R. L. Ash, 1990)

f. Kedalaman Lubang Ledak (L)

Kedalaman lubang ledak biasanya disesuaikan dengan tingkat produksi (kapasitas alat muat) dan pertimbangan geoteknik. Hubungan kedalaman lubang ledak dengan burden adalah sebagai berikut:

$$L = Kh \times B \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan:

L = kedalaman lubang ledak (m)

Kl = *hole depth ratio* (1,50 – 4,00)

B = burden (m)

g. Panjang Kolom Isian/Charge Length (PC)

Panjang kolom isian merupakan panjang kolom lubang tembak yang akan diisi bahan peledak. Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$PC = L - T \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan:

PC = panjang kolom isian (m)

L = kedalaman lubang ledak (m)

T = *stemming* (m)

h. Loading Density (de)

Loading density adalah jumlah isian bahan peledak per meter panjang kolom isian.

$$de = 0,508 \times De^2 \times SG \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan:

de = *loading density* (kg/m)

De = diameter lubang ledak (inchi)

SG = berat jenis bahan peledak (gr/cc)

i. Powder Factor (PF)

Powder factor adalah perbandingan antara jumlah bahan peledak dengan batuan yang diledakkan. Pemanfaatan PF mengarah pada nilai ekonomis suatu proses peledakan karena berkaitan dengan harga bahan peledak yang digunakan dan perolehan fragmentasi peledakan. Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$PF = \frac{Pc \times de}{(B \times S \times L)} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan:

PF = *powder factor* (kg/m³)

PC = panjang kolom isian (m)

de = *loading density* (kg/m)

B = burden (m)

S = spasi (m)

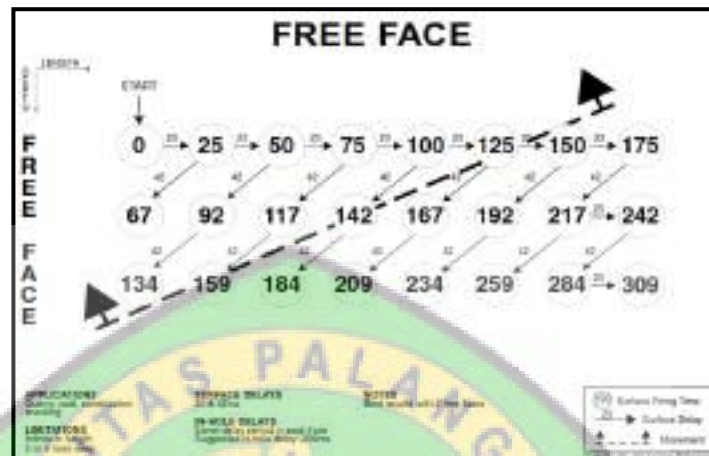
L = kedalaman lubang ledak (m)

2.5 Pola Peledakan

Secara umum pola peledakan menunjukkan urutan atau sekuensial ledakan dari sejumlah lubang ledak. Pola peledakan merupakan urutan waktu peledakan antara lubang ledak dalam satu baris atau antara satu baris dengan baris lainnya. Adanya urutan peledakan berarti terdapat jeda waktu ledakan diantara lubang-lubang ledak yang disebut dengan waktu tunda (*delay time*). Pola peledakan ditentukan berdasarkan arah pergerakan material yang diharapkan (Konya, Walter, 1990). Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menerapkan waktu tunda pada suatu peledakan antara lain adalah untuk mengurangi getaran, mengurangi *overbreak* dan batuan terbang (*fly rock*), mengurangi *airblast* dan suara (*noise*), dan dapat memperbaiki ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan (Jimeno, 1995). Apabila pola peledakan tidak tepat atau seluruh lubang diledakkan sekaligus, maka kegiatan peledakan akan mengganggu lingkungan yang hasilnya tidak efektif dan tidak efisien.

Berikut beberapa contoh sistem waktu tunda dengan menggunakan *non-electric detonator* (nonel) beserta kombinasi nonel *surface delay* yang dipakai dengan perbedaan waktu tunda minimum 8 ms antar lubang ledak:

- a. Pola *echelon*, diterapkan untuk lokasi peledakan yang memiliki minimal dua bidang bebas (*freeface*), arah lemparan hasil peledakan dengan menggunakan pola ini adalah ke arah pojok (*corner*).



(Sumber: Bickford, 1987)

Gambar 2.7 Sistem Waktu Tunda *Echelon*

- b. Pola *row by row (box cut)*, diterapkan untuk lokasi peledakan yang hanya memiliki satu bidang bebas (*freeface*) yakni permukaan yang bersentuhan langsung dengan udara ke arah vertikal. Pola peledakan ini bertujuan untuk menghasilkan bongkahan awal seperti kotak (*box*) dengan *control row* ditengah-tengah membagi dua rangkaian.



(Sumber: Bickford, 1987)

Gambar 2.8 Sistem Waktu Tunda *Row by Row*

- c. Pola *V-cut*, diterapkan untuk lokasi peledakan yang memiliki dua bidang bebas (*freeface*), arah lemparan hasil peledakan dengan menggunakan pola ini adalah ke arah tengah (*center*) dengan pola peledakan menyerupai huruf V.

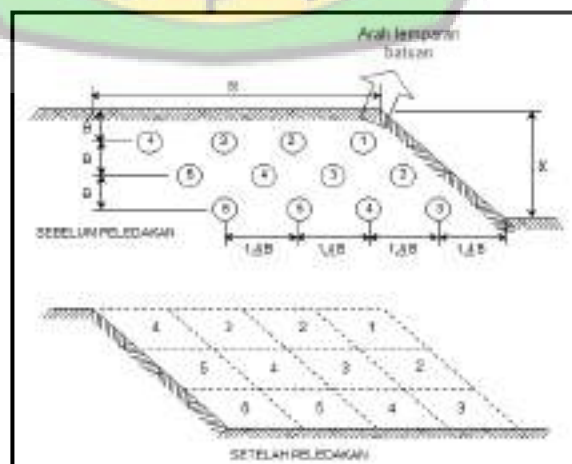


(Sumber: Bickford, 1987)

Gambar 2.9 Sistem Waktu Tunda *V-Cut*

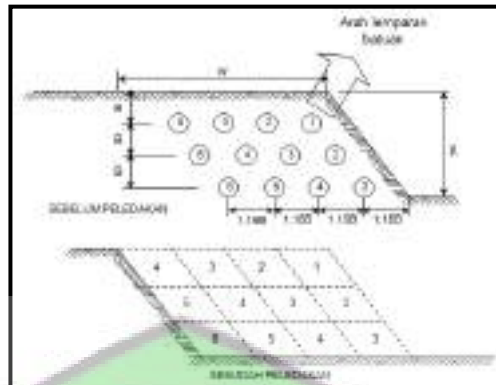
Beberapa contoh kemungkinan perbedaan kondisi di lapangan dan pola peledakannya sebagai berikut:

- a. Bila orientasi antar retakan hampir tegak lurus, sebaiknya $S = 1,41B$.



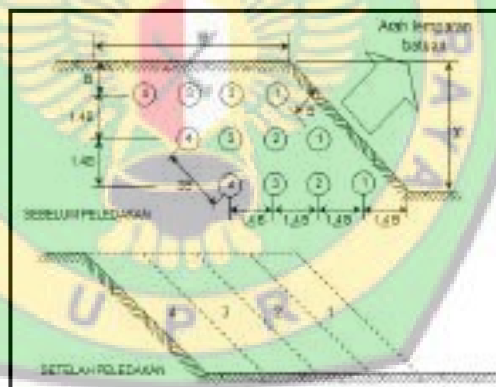
Gambar 2.10 Orientasi antar Retakan 90°

- b. Bila orientasi antar retakan mendekati 60° sebaiknya $S = 1,15B$ dan menerapkan interval waktu *long-delay*.

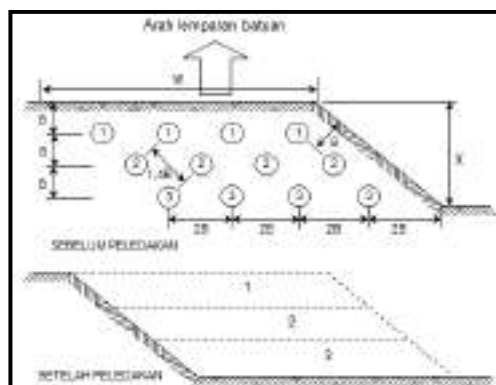


Gambar 2.11 Orientasi antar Retakan 60°

- c. Bila peledakan dilakukan serentak antar baris, maka *ratio* spasi dan *burden* (S/B) dirancang dengan pola bujursangkar (*square pattern*).

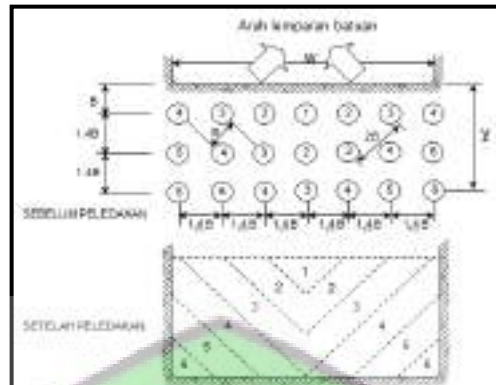


Gambar 2.12 Peledakan Pojok antar Baris dengan Pola Bujursangkar



Gambar 2.13 Peledakan Pojok antar Baris dengan Pola *Staggered*

- d. Bila peledakan dilakukan pada bidang bebas yang memanjang, maka sistem inisiasi dan S/B dapat diatur.



Gambar 2.14 Pola V-Cut Bujursangkar dan Waktu Tunda *Close-Interval*

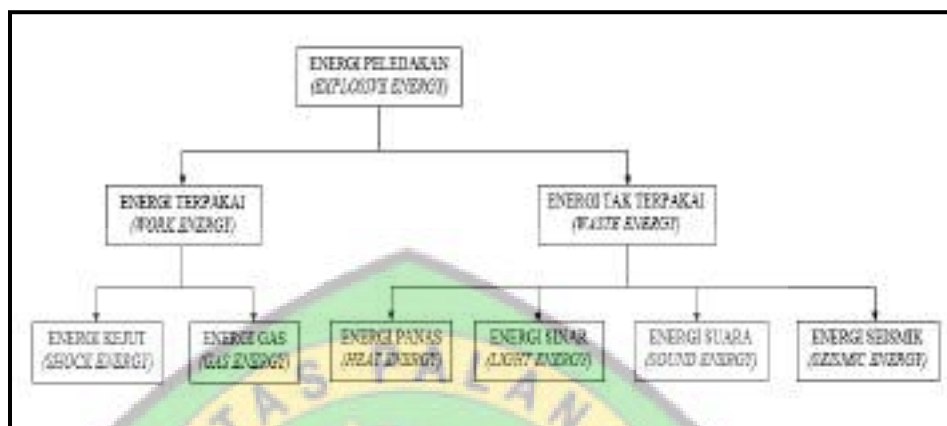


Gambar 2.15 Pola V-Cut Persegi Panjang dan Waktu Tunda Bebas

2.6 Energi Peledakan

Ada dua jenis energi yang dilepaskan saat terjadi ledakan, yaitu *work energy* dan *waste energy*. *Work energy* merupakan energi peledakan yang menyebabkan terpecahnya batuan. Energi ini terbagi menjadi dua, yaitu *shock energy* dan *gas energy*. Pada saat peledakan terjadi, energi yang dihasilkan bahan peledak hanya sebagian yang digunakan untuk memecahkan batuan, sementara sisanya menjadi *waste energy* atau energi sisa (Kuzu dan Hudaverdi, 2005). *Waste energy* terdiri dari *light*, *heat*,

sound dan *seismic energy*. Energi-energi ini (terutama *seismic*) dapat menimbulkan efek yang berbahaya dan tidak menguntungkan dalam kegiatan peledakan.



Gambar 2.16 Distribusi Energi Bahan Peledak

2.6.1 *Work Energy*

Pada peledakan suatu medium padat akan timbul tekanan detonasi (*detonation pressure*) dan tekanan peledakan (*explosion pressure*) yang merupakan efek dari *shock energy* dan *gas energy* hasil dari perubahan kimia bahan peledak. Untuk bahan peledak dari jenis *high explosive*, pertama kali akan terjadi tekanan detonasi yang kemudian diikuti tekanan peledakan, sedangkan untuk bahan peledak *low explosive* hanya terjadi tekanan peledakan (Bhandari, 1997). Hal ini dikarenakan adanya perbedaan kecepatan penjalaran reaksi kimia dalam kolom bahan peledak. Bahan peledak *high explosive* mempunyai kecepatan penjalaran reaksi yang lebih besar dari kecepatan penjalaran suara dalam bahan peledak, yang dikenal sebagai kecepatan detonasi. Kecepatan detonasi ini menyebabkan

timbulnya gelombang kejut (*shock wave*) atau gelombang detonasi (*detonation wave*) yang terletak di depan daerah reaksi utama (*primary reaction zone*) dalam kolom bahan peledak. Gelombang kejut ini yang menyebabkan timbulnya tekanan detonasi.

2.6.2 Waste Energy

Kegiatan peledakan menghasilkan sejumlah energi yang cukup besar hingga melampaui batas elastis batuan, sehingga batuan menjadi pecah. Proses pemecahan batuan akan terus berlangsung sampai energi yang dihasilkan bahan peledak berkurang dan menjadi lebih kecil dari kekuatan batuan. Sehingga proses pemecahan batuan berhenti dan energi yang tersisa (*seismic energy*) akan menjalar melalui batuan dan mengakibatkan deformasi dalam batuan tetapi tidak memecahkan batuan karena masih berada dalam batas elastiknya. Hal ini menghasilkan gelombang seismik yang dirasakan sebagai getaran dan pada batas tertentu dapat menyebabkan kerusakan lingkungan serta mengganggu manusia (Bhandari, 1997).

2.7 Mekanisme Pecahnya Batuan

Proses pecahnya batuan akibat energi ledakan dapat dibagi dalam tiga tingkat, yaitu:

1. Proses pemecahan batuan tingkat I (*Dynamic Loading*)

Pada saat bahan peledak meledak didalam lubang ledak, maka terbentuk temperatur dan tekanan yang tinggi. Hal ini mengakibatkan hancurnya batuan disekitar lubang ledak serta timbulnya gelombang

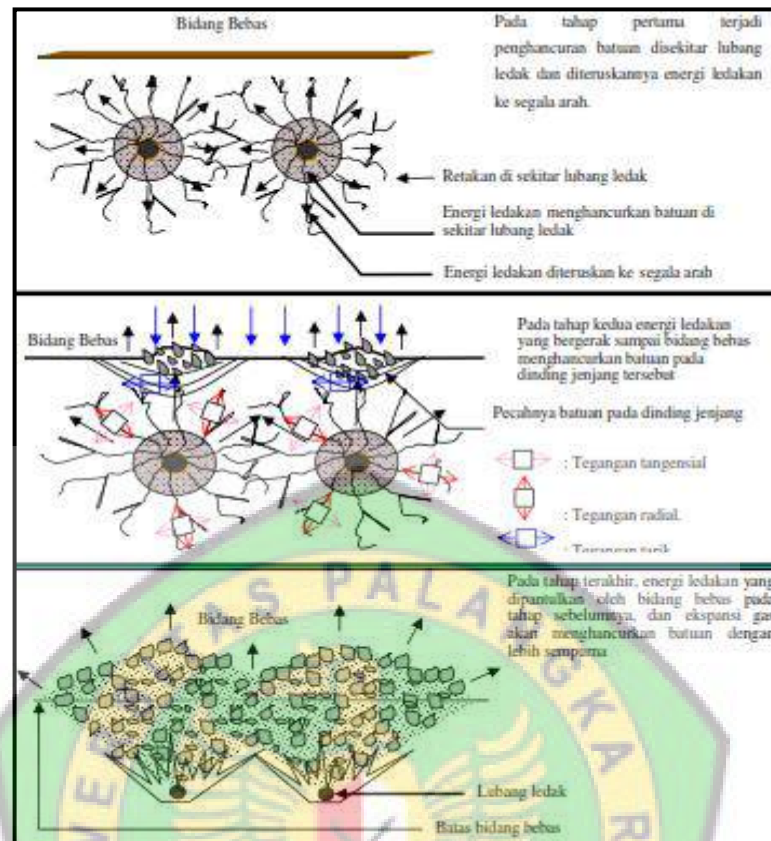
kejut (*shock wave*) yang merambat menjauhi lubang ledak dengan kecepatan 3000-5000 m/s, sehingga menimbulkan tegangan tangensial yang mengakibatkan adanya rekahan radial mengarah keluar disekitar lubang ledak. Rekahan radial pertama terjadi dalam waktu 1-2 ms.

2. Proses pemecahan batuan tingkat II (*Quasi-static Loading*)

Tekanan yang meninggalkan lubang ledak pada proses pemecahan tingkat I adalah positif. Apabila *shock wave* mencapai bidang bebas (*freeface*), gelombang tersebut akan dipantulkan sehingga menimbulkan gelombang tarik (*tensile wave*). Oleh karena ketahanan batuan terhadap gelombang tarik lebih kecil daripada kuat tarik batuan, maka akan terjadi *scabbing* atau *spalling* pada bidang bebas.

3. Proses pemecahan batuan tingkat III (*Release of Loading*)

Karena pengaruh tekanan dan temperatur gas yang tinggi dari hasil peledakan maka rekahan radial yang terjadi pada proses awal akan meluas secara cepat yang diakibatkan oleh kekuatan gelombang tarik dan rekahan radial. Massa batuan yang ada didepan lubang ledak akan terdorong oleh terlepasnya kekuatan gelombang tekan yang tinggi dari dalam lubang ledak, sehingga pemecahan batuan yang sebenarnya akan terjadi. Apabila massa didepan lubang ledak gagal mempertahankan posisinya dan bergerak ke depan, maka tegangan tekan tinggi yang berada dalam batuan akan dilepaskan. Umumnya batuan akan pecah secara alamiah mengikuti bidang-bidang yang lemah, seperti kekar dan bidang perlapisan.



Gambar 2.17 Mekanisme Pecahnya Batuan

2.8 Getaran Tanah (*Ground Vibration*)

Getaran tanah merupakan gelombang yang bergerak didalam tanah akibat dari adanya sumber energi yang berasal dari alam atau adanya aktivitas manusia, salah satu diantaranya adalah peledakan (Bhandari, 1997). Getaran tanah terjadi pada daerah elastis. Di daerah ini tegangan yang diterima material lebih kecil dari kuat material sehingga hanya menyebabkan perubahan bentuk dan volume. Sesuai dengan sifat elastis material, maka bentuk dan volume akan kembali ke keadaan semula setelah tak ada tegangan yang bekerja. Perambatan tegangan pada daerah elastis akan menimbulkan gelombang elastis yang disebut dengan getaran. Getaran

tanah ini pada tingkat tertentu bisa menyebabkan terjadinya kerusakan struktur disekitar lokasi peledakan. Karena itu keadaan bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh operasi peledakan tidak bisa diabaikan.

Faktor yang mempengaruhi pengembangan, penyebaran, dan intensitas getaran tanah dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu faktor yang dapat dikontrol dan yang tidak dapat dikontrol.

2.8.1 Faktor yang Tidak Dapat Dikontrol

Faktor yang tidak dapat dikontrol adalah faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh kemampuan manusia karena prosesnya terjadi secara alamiah. Yang termasuk faktor-faktor ini adalah:

A. Struktur Geologi

Menurut S. Koesnaryo (1988), struktur geologi seperti sesar, kekar, dan bidang perlapisan akan berpengaruh terhadap peledakan batuan. Adanya rekahan-rekahan dan rongga-rongga di dalam massa batuan akan menyebabkan terganggunya perambatan gelombang energi akibat peledakan. Selain itu bentuk dan ukuran bongkah batuan hasil peledakan akan mempunyai kecenderungan mengikuti rekahan-rekahan yang ada.

B. Karakteristik Massa Batuan

Sifat batuan yang penting untuk dipertimbangkan dalam kegiatan peledakan antara lain sifat fisik dan sifat mekanik batuan. Batuan yang masih segar umumnya mempunyai kekuatan yang lebih besar, dan kekuatan tersebut akan berkurang sejalan

dengan proses pelapukan yang dialami. Dalam kegiatan peledakan, karakteristik massa batuan perlu diperhatikan, seperti:

1. Kekerasan

Kekerasan adalah daya tahan permukaan batuan terhadap goresan. Batuan yang keras akan memerlukan energi yang besar untuk menghacurkannya. Pada umumnya batuan yang keras mempunyai kekerasan yang besar pula.

Kekerasan batuan diklasifikasikan dengan Skala Mohs.

Tabel 2.4 Kekerasan dan Kekuatan Batuan

Klasifikasi	Skala Mohs	Kuat Tekan Batuan (MPa)
Sangat Keras	+7	+200
Keras	6 – 7	120 – 200
Kekerasan Sedang	4,5 – 6	60 – 120
Cukup Lunak	3 – 4,5	30 – 60
Lunak	2 – 3	10 – 30
Sangat Lunak	1 – 2	-10

(Sumber: Perencanaan Tambang 2, 2012)

2. Kekuatan

Kekuatan mekanik suatu batuan merupakan daya tahan batuan terhadap gaya dari luar, baik bersifat statik maupun dinamik. Kekuatan batuan dipengaruhi oleh komposisi mineralnya. Batuan yang kuat memerlukan energi yang besar untuk menghancurkannya.

3. Bobot Isi/Berat Jenis

Bobot isi (densitas) batuan merupakan berat batuan per satuan volume. Batuan dengan bobot isi yang besar untuk membongkarnya memerlukan energi yang besar pula.

4. Kecepatan Rambat Gelombang Seismik

Batuan yang masif mempunyai kecepatan rambat gelombang yang besar. Pada umumnya batuan yang mempunyai kecepatan rambat gelombang yang besar akan mempunyai bobot isi dan kekuatan yang besar pula.

5. Elastisitas

Sifat elastisitas batuan dinyatakan dengan modulus elastisitas atau modulus young (E). Modulus elastisitas batuan bergantung pada komposisi mineral dan porositasnya. Umumnya batuan dengan elastisitas yang tinggi memerlukan energi yang besar untuk menghancurkannya.

6. Plastisitas

Plastisitas batuan merupakan perilaku dari batuan yang menyebabkan deformasi (perubahan) permanen setelah tegangan dikembalikan ke kondisi awal, dimana batuan tersebut belum hancur. Sifat ini sangat dipengaruhi oleh komposisi mineral penyusunnya, terutama kuarsa. Batuan yang plastisitasnya tinggi memerlukan energi yang besar untuk menghancurkannya.

C. Pengaruh Air Tanah

Kandungan air tanah dalam jumlah yang cukup banyak dapat mempengaruhi stabilitas kimia bahan peledak yang sudah diisikan kedalam lubang ledak. Kerusakan sebagian isian bahan peledak

dapat mengurangi kecepatan reaksi bahan peledak sehingga akan mengurangi energi peledakan, atau bahkan isian akan gagal meledak (*misfire*).

2.8.2 Faktor yang Dapat Dikontrol

Menurut Wihandoyo Marmer (2008), faktor yang dapat dikontrol oleh kemampuan manusia untuk meminimalisir getaran tanah, yaitu:

A. Geometri Peledakan

Semakin besar diameter lubang ledak, semakin panjang kolom isian bahan peledak pada lubang ledak, maka jumlah bahan peledak yang digunakan akan semakin besar, sehingga meningkatkan jumlah muatan bahan peledak yang meledak per waktu tunda.

B. Jenis Bahan Peledak

Bahan peledak merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi getaran pada kegiatan peledakan. Jenis bahan peledak yang menghasilkan tekanan lubang tembak kecil adalah bahan peledak yang memiliki densitas dan tekanan detonasi yang kecil. Apabila bahan peledak memberikan tekanan kecil terhadap lubang tembak maka akan menghasilkan besaran getaran yang kecil, begitu pula sebaliknya.

C. Waktu Tunda (*Delay Time*)

Pemilihan interval waktu tunda yang tepat sangat penting pada kegiatan peledakan dengan banyak baris (*multirow*). Jika interval waktu tunda semakin besar, maka kemungkinan jumlah bahan peledak yang dianggap meledak bersamaan akan semakin kecil, sehingga tingkat getaran yang dihasilkan semakin kecil juga. Beda waktu tunda minimum antar lubang ledak yang disarankan adalah 8 ms. Desain waktu tunda yang dirancang dengan tepat dapat mengurangi getaran tanah karena jika waktu tunda antar lubang terpisah dengan baik maka jumlah bahan peledak yang meledak pada setiap waktu tunda akan berkurang.

D. Muatan Bahan Peledak per Waktu Tunda

Besarnya getaran yang dihasilkan peledakan dipengaruhi oleh muatan bahan peledak per waktu tunda. Selisih waktu tunda minimal yang disarankan adalah sebesar 8 ms. Jadi lubang-lubang tembak yang mempunyai selisih waktu meledak kurang dari sama dengan 8 ms dianggap meledak bersamaan. Jumlah muatan total bahan peledak yang dianggap meledak bersamaan ini merupakan muatan bahan peledak per waktu tunda. Semakin besar muatan bahan peledak per waktu tunda, besaran getaran yang dihasilkan akan semakin meningkat, begitu juga sebaliknya.

E. Jarak dari Titik Pengukuran ke Lokasi Peledakan

Jarak dari titik pengukuran ke lokasi peledakan juga memberikan pengaruh terhadap besaran getaran yang dihasilkan. Semakin dekat suatu titik pengukuran getaran ke lokasi peledakan, maka getaran yang terukur akan semakin besar. Sebaliknya, semakin jauh jarak dari titik pengukuran getaran ke lokasi peledakan, maka getaran yang terukur akan semakin kecil. Jarak antar lokasi peledakan dan lokasi pengukuran dapat dicari dengan persamaan *Euclidean Distance* (2.14), yaitu perhitungan jarak antar dua lokasi yang telah diketahui titik koordinatnya (Li, 2009). Untuk mendapatkan titik koordinat lokasi peledakan dan lokasi pengukuran getaran dengan menggunakan *Global Navigation System*.

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan:

d = Jarak antar kedua titik (m)

X₁, X₂= Koordinat lokasi titik pertama

Y₁, Y₂= Koordinat lokasi titik kedua

2.9 Gelombang Seismik

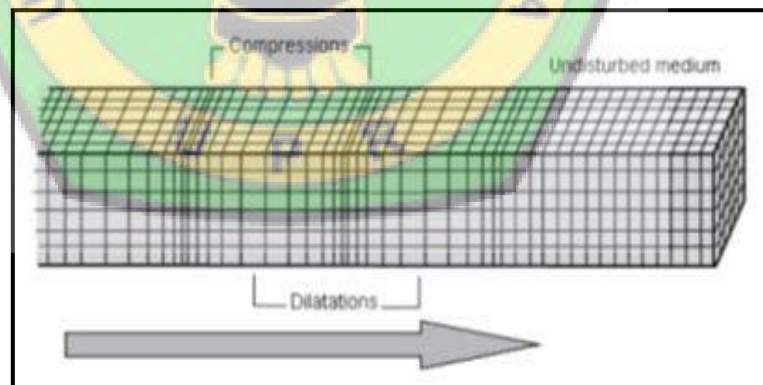
Menurut Elnashai dan Sarno (2008), gelombang seismik merupakan salah satu gelombang yang menggambarkan penjalaran energi melalui bumi yang padat. Gelombang yang merambat adalah gangguan medium yang dapat berlanjut dengan sendirinya dari satu titik ke titik yang lainnya dengan

membawa energi dan momentum. Perambatan tegangan pada daerah elastis akan menimbulkan gelombang elastis yang disebut gelombang seismik. Gelombang seismik dibagi menjadi dua, yaitu:

A. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merambat melalui massa batuan, menembus ke bagian dalam batuan. Untuk jarak dekat getaran lebih didominasi oleh gelombang badan. Gelombang badan ini akan merambat keluar membentuk bola hingga bertemu dengan suatu bidang kontak. Bidang kontak ini dapat berupa perlapisan batuan, bidang bebas, rekahan, kekar, atau permukaan tanah. Ketika gelombang badan ini bertemu dengan bidang kontak tersebut maka gelombang tekan dan gelombang geser akan terbentuk. Gelombang badan dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Gelombang Tekan (*Compressive Wave*)

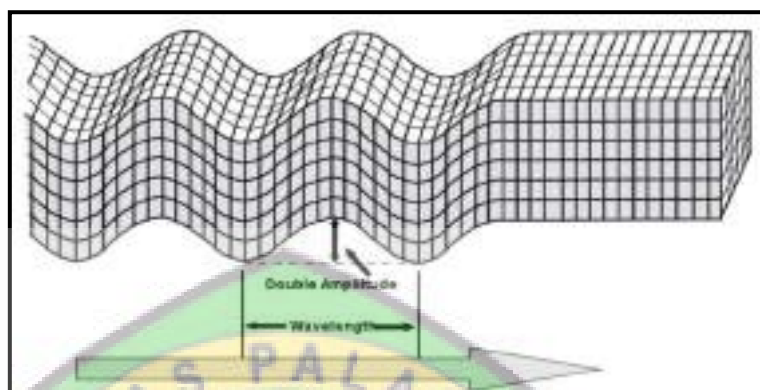


Gambar 2.18 Gelombang Tekan

Gelombang tekan adalah jenis gelombang tekan-tarik, yang akan menghasilkan pemadatan (kompresi) dan pemuaian (dilatasi) pada arah yang sama dengan arah perambatan gelombang. Gelombang ini dapat merambat melalui medium padat, cair,

maupun gas. Gelombang ini juga dapat menyebabkan perubahan volume pada medium yang dilaluinya.

2. Gelombang Geser (*Shear Wave*)



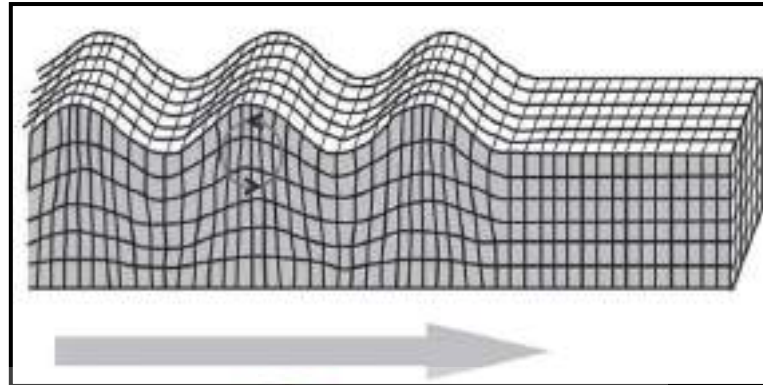
Gambar 2.19 Gelombang Geser

Gelombang geser adalah gelombang yang melintang (transversal) yang bergerak tegak lurus pada arah perambatan gelombang. Gelombang geser hanya dapat melalui medium padat. Gelombang ini dapat menyebabkan perubahan bentuk pada medium yang dilaluinya.

B. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik. Jenis dari gelombang permukaan ada dua, yaitu:

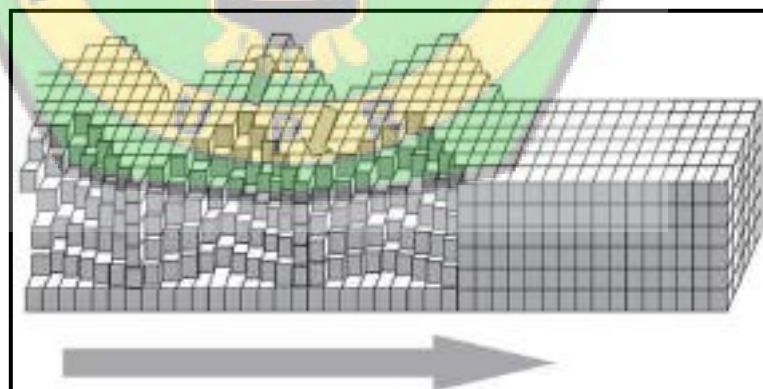
1. Gelombang *Reyleigh*



Gambar 2.20 Gelombang *Reyleigh*

Gelombang *Reyleigh* merupakan gelombang permukaan yang orbit gerakannya tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya. Gelombang jenis ini adalah gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif.

2. Gelombang *Love*



Gambar 2.21 Gelombang *Love*

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal (gelombang horizontal) yang penjarannya paralel dengan permukaannya.

2.10 Alat Pengukuran Getaran Tanah

Alat pengukuran getaran tanah akibat peledakan yang digunakan di lapangan adalah *Blastmate III*, yang merupakan produk instanTEL dari Kanada berjenis seismograf digital. Alat tersebut digunakan untuk mendeteksi getaran tanah (*ground vibration*) dan kebisingan (*noise*) dari penalaran gelombang seismik dan gelombang tekan udara akibat peledakan.



Gambar 2.22 *Blastmate III*

Blastmate III terdiri dari tiga buah sensor yaitu sebuah *geophone*, sebuah *sound level meter (microphone)*, dan *instanTEL monitor*. *Geophone* adalah alat untuk mengukur getaran yang dihasilkan peledakan, sedangkan *microphone* untuk mengukur kebisingan dari suara yang dihasilkan peledakan.

Agar diperoleh hasil pengukuran *ground vibration* dan *air blast* yang akurat maka harus memperhatikan lokasi pemasangan *Blastmate III*. Untuk pemasangan *geophone* dilakukan pada batuan insitu (batuan asli, bukan timbunan) dengan cara ditancapkan kedalam tanah menggunakan 3 buah paku yang telah disediakan dan harus dipastikan dalam posisi yang

mendatar dengan cara *levelling*. Pemasangan *microphone* dan *geophone* harus diarahkan menuju titik peledakan.

2.11 *Scaled Distance (SD)*

Scaled distance dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang mempengaruhi hasil getaran. Berdasarkan buku B. V. Gokhale (2010), tinjauan metode *Scaled Distance* pada kegiatan peledakan menyangkut beberapa faktor yang menghubungkan dengan perkiraan tingkat getaran peledakan berdasarkan pada isian bahan peledak dan jarak suatu bangunan atau daerah dari tempat peledakan. Cara praktis dan efektif untuk mengontrol getaran adalah dengan menggunakan metode *Scaled Distance* yang memungkinkan pelaksanaan dilapangan menentukan jumlah isian bahan peledak atau jarak aman yang digunakan agar menghasilkan getaran peledakan yang diizinkan.

$$SD = \frac{d}{W^{\frac{1}{x}}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan:

SD = *Scaled distance* (m/kg^{1/2})

d = Jarak dari titik peledakan (m)

W = Bahan peledak yang meledak per waktu tunda (kg)

x = Ketetapan terkait pendugaan kerusakan struktur bangunan

Peneliti dari U. S. Bureau of Mines untuk pertama kali mengembangkan model matematis yang disebut *the propagation law* yang berkaitan dengan kecepatan partikel puncak. Gerakan partikel tanah

(getaran) terjadi dalam tiga dimensi yaitu vertikal, radial, dan melintang. Ketika terjadi getaran, setiap partikel tanah memiliki kecepatan dan kecepatan maksimum dari partikel tersebut disebut sebagai *Peak Particle Velocity* (PPV). Dengan *Scaled Distance* dapat diprediksikan besaran nilai PPV dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$PPV = k \left(\frac{D}{W^{\frac{1}{x}}} \right)^{-e} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan:

PPV = *Peak Particle Velocity*/Kecepatan partikel puncak (mm/s)

k = Konstanta terkait dengan kondisi lokasi

D = Jarak dari titik peledakan (m)

W = Bahan peledak yang meledak per waktu tunda (kg)

x = Ketetapan terkait pendugaan kerusakan struktur bangunan

e = Eksponen yang terkait dengan kondisi lokasi

Berikut cara ketentuan *Scaled Distance* secara teoritis:

1. Nilai Konstanta k

Konstanta k disebut sebagai faktor tempat (*site factor*). Konstanta k adalah nilai garis batas hubungan pada saat SD = 1 pada grafik log. Nilai tersebut menyatakan energi yang ditransferkan dari bahan peledak ke batuan sekitarnya.

Tabel 2.5 Penentuan Nilai Koefisien k

k	Kategori Lokasi
500	untuk kondisi yang sangat terstruktur atau <i>hard rock</i>
1140	untuk kondisi rata-rata pada tambang batubara terbuka
5000	untuk berat terbatas, peledakan lapangan dekat dengan titik <i>monitoring</i>

(Sumber: B.V. Gokhale, 2010)

2. Nilai Koefisien x

Ketetapan terkait dengan nilai akar dari *scaled distance* akan berbeda tergantung pendugaan kerusakan struktur bangunan akibat kegiatan peledakan.

Tabel 2.6 Penentuan Nilai Koefisien x

Keterangan	x	SD	Penggunaan
<i>Square Root Scaled Distance</i>	2	$\left(\frac{D}{\sqrt{Q}}\right)$	Digunakan untuk pendugaan kerusakan struktur bangunan akibat peledakan pada jarak $>20 \text{ feet}$ (6,096 m) dari sumber ledakan
<i>Cube Root Scaled Distance</i>	3	$\left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}}\right)$	Digunakan untuk pendugaan kerusakan struktur bangunan akibat peledakan pada jarak $<20 \text{ feet}$ (6,096 m) dari sumber ledakan

(Sumber: B.V. Gokhale, 2010)

3. Nilai Koefisien e

Nilai koefisien e tergantung pada sifat batuan antara lokasi peledakan dengan lokasi pemasangan alat pengukuran getaran tanah. Berkurangnya nilai PPV dipengaruhi geometri penyebaran dan karakteristik batuan yang disebut dengan *slope factor*.

Tabel 2.7 Nilai Eksponen e untuk Tipe Batuan yang Berbeda

Jenis Batuan	Nilai Eksponen e
<i>Rhyolite</i>	2,2-2,5
<i>Granite</i>	2,1-2,4
<i>Limestone</i>	2,1
<i>Ordovician sediments</i>	2,8
<i>Overburden in coal mines</i>	1,5-1,8
<i>Massive basalt</i>	1,9-3,0

(Sumber: B.V. Gokhale, 2010)

Untuk melakukan analisa terhadap *scaled distance*, cara pengaturan *Scaled Distance Value* yang dipergunakan yaitu *Peak Vector Sum vs Scaled Distance*. Metode ini meliputi pengukuran seismik dan perhitungan *scaled distance value* dari data. Data harus tersebar dari harga rendah sampai harga yang tinggi. Data tersebut dapat diperoleh dengan cara peledakan berturut-turut dan setiap kali peledakan dilakukan, *geophone* diletakkan pada jarak yang bervariasi. Data yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam bentuk tabel. Data tersebut kemudian digambarkan pada kertas grafik log-log dengan sumbu tegak sebagai *Peak Particle Velocity* dan *scaled distance* pada sumbu mendatar. Grafik *scaled distance* dapat digunakan untuk menentukan jumlah muatan bahan peledak untuk sembarang jarak dengan *scaled distance* yang telah ditentukan (B. V. Gokhale, 2010).

2.12 Analisis Regresi Sederhana

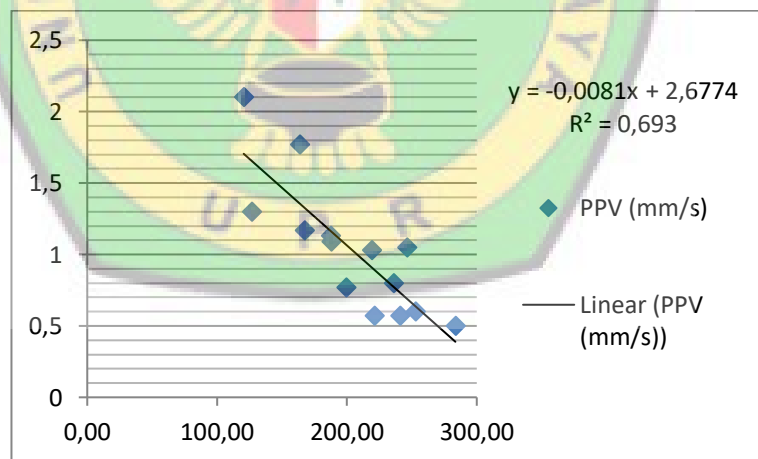
Peneliti atau ilmuwan dituntut untuk mencari kebenaran secara ilmiah atau berdasarkan ilmu. Dan salah satu fungsi ilmu ialah meramalkan. Berdasarkan fungsi ilmu tersebut, maka jika terdapat dua buah variabel atau lebih, maka sudah sewajarnya untuk mempelajari bagaimana variabel-variabel ini berhubungan atau dapat diramalkan. Hubungan yang diperoleh biasanya dinyatakan dalam persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel. Pelajaran yang menyangkut masalah ini disebut analisis regresi. Hubungan fungsional antara satu variabel prediktor dengan satu variabel kriterium disebut analisis regresi

tunggal, sedangkan hubungan fungsional yang lebih dari satu variabel disebut analisis regresi ganda.

2.12.1 Regresi Linier

Persamaan matematik yang memungkinkan untuk melakukan prediksi nilai-nilai suatu peubah tidak bebas dari nilai-nilai satu atau lebih peubah bebas disebut dengan persamaan regresi. Data-data variabel X dan Y akan menghasilkan suatu diagram pencar.

Dengan mengamati diagram pencar, terlihat bahwa titik-titiknya mengikuti suatu garis lurus, menunjukkan bahwa kedua perubah tersebut saling berhubungan secara linier. Bila hubungan linier demikian ini ada, maka dinyatakan secara matematik dengan sebuah persamaan garis lurus yang disebut garis regresi linier.



Gambar 2.23 Diagram Pencar dan Garis Regresi Linier

Persamaan regresi linier adalah:

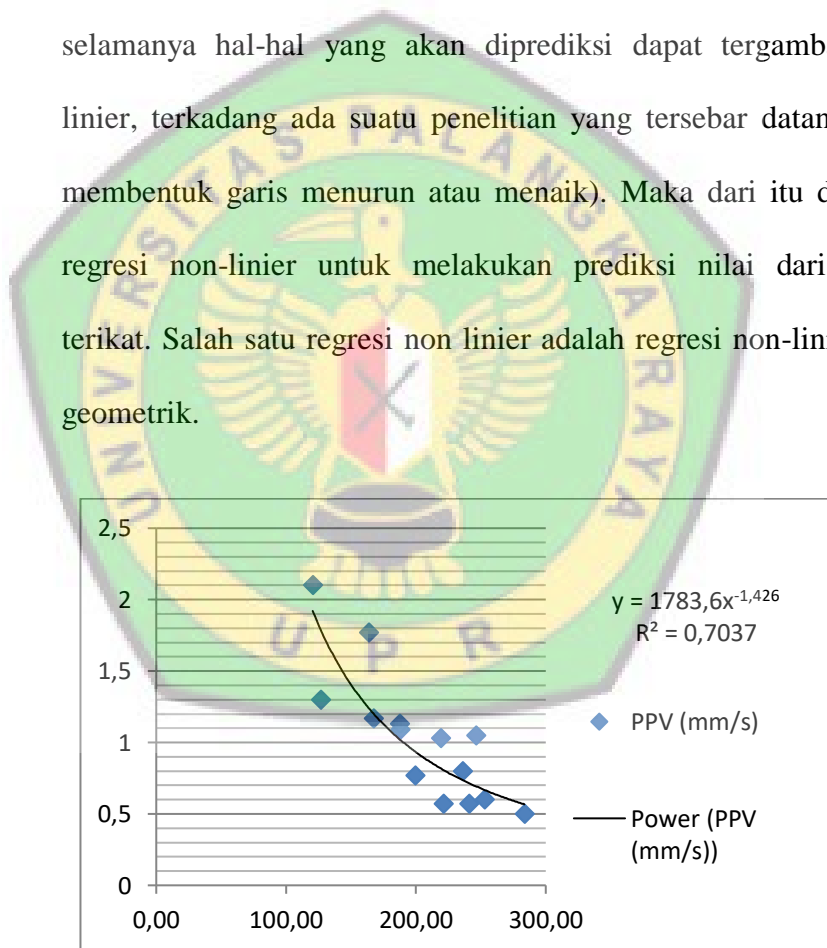
$$Y = a + bX \dots\dots\dots(2.17)$$

Yang dalam hal ini a menyatakan intersep atau perpotongan dengan sumbu tegak, dan b adalah kemiringan atau gradiennya. Lambang Y

digunakan untuk membedakan antara nilai prediksi yang dihasilkan garis regresi dan nilai pengamatan y yang sesungguhnya untuk nilai X tertentu.

2.12.2 Regresi Non-Linier Model Geometrik

Pada regresi non linier, grafiknya berbentuk lengkungan atau hanya sedikit melengkung dari grafik regresi linier. Karena tidak selamanya hal-hal yang akan diprediksi dapat tergambar secara linier, terkadang ada suatu penelitian yang tersebar datanya (tidak membentuk garis menurun atau menaik). Maka dari itu digunakan regresi non-linier untuk melakukan prediksi nilai dari variabel terikat. Salah satu regresi non linier adalah regresi non-linier model geometrik.



Gambar 2.24 Diagram Pencar dan Garis Regresi Model Geometrik

Persamaan garis model geometrik adalah:

$$Y = aX^b \dots\dots\dots(2.18)$$

Jika diambil logaritmanya maka bentuk persamaannya menjadi:

$$\text{Log } Y = \text{Log } a + b \text{ Log } X \dots\dots\dots(2.19)$$

Mengingat nilai X maupun nilai Y diambil logaritmanya, maka dibutuhkan nilai-nilai logaritma dari masing-masing variabel yang dihadapi, sehingga langkah awal yang harus dilakukan peneliti adalah mencari nilai log untuk setiap nilai. Untuk koefisien regresinya digunakan persamaan yang mengandung unsur logaritma sebagai berikut:

$$\text{Log } a = \frac{\sum \log Y}{n} - b \frac{\sum \log X}{n} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$b = \frac{n(\sum \log X \log Y) - (\sum \log X)(\sum \log Y)}{n(\sum \log^2 X) - (\sum \log X)^2} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\log^2 X = (\log X)(\log X) \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\text{Antilog } a = a \dots\dots\dots(2.23)$$

2.12.3 Koefisien Korelasi dan Koefisien Determinasi

Koefisien korelasi (R) merupakan suatu angka yang menunjukkan tinggi atau rendah hubungan antara dua variabel atau lebih. Besar dari koefisien korelasi yaitu variasi antara -1 sampai +1.

1. $R < 0$, derajat hubungan antara dua variabel menunjukkan hal yang berlawanan (koefisien korelasi negatif) dan berarti jika salah satu variabel nilainya menguat maka nilai variabel lain akan menurun.
2. $R > 0$, derajat hubungan antara dua variabel menunjukkan hal yang sejajar atau paralel (koefisien korelasi positif) dan berarti

jika salah satu nilai variabel menguat maka nilai variabel lain akan menguat juga, jika nilai variabel yang satu turun maka nilai variabel yang lain akan turun juga.

3. $R = 0$, tidak hubungan sama sekali antara dua variabel.

Tabel 2.8 Nilai Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat Rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,00	Sangat Kuat

(Sumber: Husaini Usman dan R. Punomo Setiady Akbar, 2009)

Koefisien determinasi (R^2) merupakan kuadrat dari koefisien korelasi (R) yang menyatakan ukuran banyaknya total variasi variabel Y yang dapat dijelaskan secara regresi oleh variabel X . Nilai koefisien determinasi berkisar antara 0-1 atau bila dinyatakan dalam persen berkisar 1% - 100%. Contoh $R = 0,8$ artinya variabel X memiliki korelasi positif dan hubungan yang kuat dengan variabel Y dan $R^2 = 0,64$ atau 64% diantara keragaman total nilai-nilai Y dapat dijelaskan oleh hubungan liniernya dengan nilai-nilai X . atau besarnya sumbangan X terhadap naik-turunnya Y adalah 64% sedangkan 36% disebabkan oleh faktor lain.

2.13 Metode untuk Mengurangi Getaran Akibat Peledakan

Beberapa cara dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat getaran akibat peledakan antara lain:

1. *Line Drilling*

Line drilling adalah suatu teknik yang memanfaatkan lubang bor kosong dengan spasi 2-4 kali diameternya. Lubang bor kosong dengan jarak spasi yang kecil ini apabila ada struktur geologi yang tepat, dapat berperan sebagai tempat pemusatan tekanan atau sebagai pemandu arah retak.

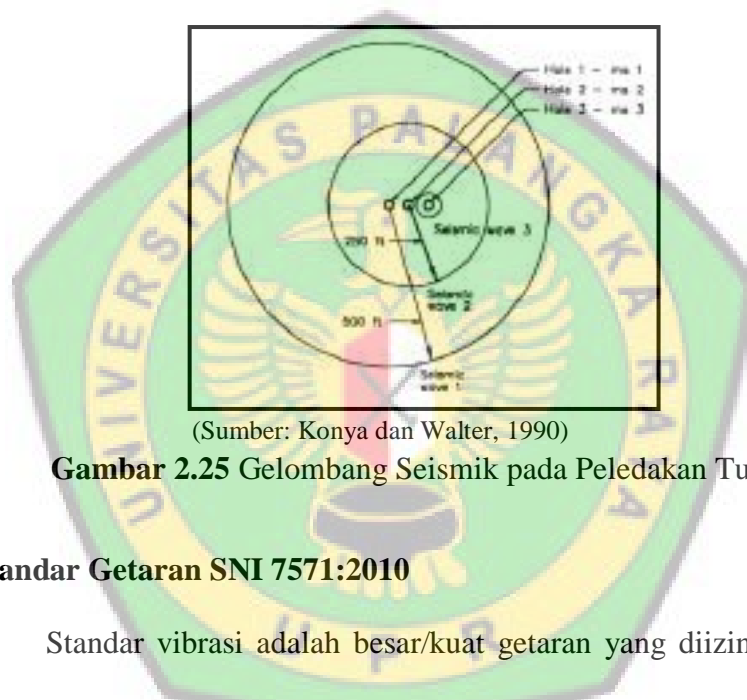
2. *Deck Loading*

Apabila peledakan mendekati struktur, maka jumlah bahan peledak per waktu tunda harus dikurangi untuk mengontrol tingkat getaran. Kolom isian bahan peledak pada lubang bor yang besar dapat menghasilkan getaran lebih besar dari batas yang diperbolehkan, oleh karena itu kolom isian bahan peledak dibagi menjadi beberapa bagian yang berbeda. Metode *deck loading* adalah suatu cara pemuatan bahan peledak yang terbagi atas beberapa kolom yang diselingi lapisan *stemming*. Pada cara ini, tiap *deck* diberi waktu tunda yang berbeda. *Deck* paling atas diberi waktu tunda dengan nomor kecil, sedangkan untuk *deck* selanjutnya diberi waktu tunda dengan nomor besar. Ide dasar metode ini adalah mengurangi muatan yang meledak secara bersamaan, sehingga kecepatan partikel akibat getaran yang terjadi dapat dikurangi.

3. Metode Peledakan Tunda

Salah satu cara untuk mengontrol getaran yang dihasilkan aktivitas peledakan adalah dengan peledakan tunda. Konsep dari metode ini

adalah meledakkan sejumlah bahan peledak dalam jumlah besar dengan cara didetonasikan menjadi beberapa rangkaian peledakan sehingga gelombang seismik dari setiap peledakan terpisah. Penggunaan metode peledakan tunda dapat mengontrol jumlah lubang yang meledak bersamaan dan menyediakan *freeface* untuk peledakan baris selanjutnya.



(Sumber: Konya dan Walter, 1990)

Gambar 2.25 Gelombang Seismik pada Peledakan Tunda

2.14 Standar Getaran SNI 7571:2010

Standar vibrasi adalah besar/kuat getaran yang diizinkan akibat dari kegiatan peledakan pada tambang terbuka yang tidak melewati batas aman. Dalam perkembangannya, Indonesia kini telah memiliki Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan, yaitu SNI 7571:2010. Dengan adanya SNI 7571:2010 perusahaan tambang terbuka di Indonesia telah memiliki acuan untuk mengontrol efek dari kegiatan peledakan yang dilakukan.

Tabel 2.9 Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Tambang Terbuka

Kelas	Jenis bangunan	Peak Vector Sum (mm/detik)
1	Bangunan kuno yang dilindungi Undang-Undang benda cagar budaya (Undang-Undang NO. 5 tahun 1992)	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen	3
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan <i>slope</i> beton	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen <i>slope</i> beton, kolom dan rangka diikat ring balik	7-20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, <i>slope</i> beton, kolom dan diikat dengan rangka baja	12-40

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional Indonesia 7571:2010)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

3.1.1 Profil Perusahaan

PT. Bukit Makmur Mandiri Utama merupakan perusahaan kontraktor pertambangan batubara. Berawal dari sebuah perusahaan kontraktor perkebunan kelapa sawit, dengan berbekal satu unit *Bulldozer (second)* tipe D85A, Johan Lensa yang merupakan perintis dari PT. Bukit Makmur Mandiri Utama mulai meniti karir dalam sebuah Proyek pertamanya pada tahun 1988 di kota Singkil, Kabupaten Aceh Selatan. Pada akhir tahun 1988, mulailah proyek yang ke-II oleh Johan Lensa di Aceh Barat. Seiring dengan bertambahnya proyek-proyek yang dipercayakan oleh *client*, maka Johan Lensa berupaya untuk menambahkan armada alat-alat berat berupa Komatsu dengan tipe D60 dan D6. Pada saat yang bersamaan Johan Lensa kembali dipercayakan untuk membuka proyek perkebunan kelapa sawit yang ke-III di Kota Waru, Kabupaten Pasir, Kalimantan Timur. Tidak hanya mendapatkan proyek pada pulau Sumatra dan Kalimantan saja, pada akhir tahun 1989 Johan Lensa mendapat proyek ke-IV berupa proyek perkebunan kelapa sawit dan perumahan transmigrasi di Sulawesi, tepatnya di Kota Sarudu Kabupaten Mamuju Sulawesi Selatan. Pada akhir tahun 1990 muncul proyek ke-V di Sumatra tepatnya di Kota Jambi, Kabupaten Muara Bungo. Menginjak tahun 1993 dimulailah proyek yang ke-VI di Kalimantan Selatan tepatnya di Indo Agri. Seiring dengan berjalannya waktu serta kerja

keras yang dijalani oleh Johan Lensa dari setiap proyek yang ada, disertai dengan adanya kerjasama yang baik dengan Budikwanto-Kuesar yang saat itu menjabat sebagai Direktur Area di Divisi III (Astra Agro Niaga-Pangkalan Bun). Johan Lensa dipercaya kembali untuk membuka proyek ke-VII di Pangkalan Bun dengan Sofyan sebagai *Site Manager* disana.

Pada akhir tahun 1994, PT. Bukit Makmur Mandiri Utama ditarik untuk berkecimpung dalam bisnis kontraktor tambang, dengan langkah awalnya sebagai sub-kontraktor PT. PAMA Persada Nusantara di Kabupaten Berau Kalimantan Timur tepatnya di sungai Lati, saat itu PT. Bukit Makmur Mandiri Utama masih bernama PT. Bukit Makmur Widya. Setelah selesai dengan proyek di sungai Lati, tahun 1995, PT. Bukit Makmur Mandiri Utama melanjutkan sebagai sub-kontraktor PT. PAMA Persada Nusantara di Tenggarong (PT. Fajar Bumi Sakti) dan pada tahun 1997 kembali melanjutkan di sungai Lati sampai tahun 1998, dimana PT. PAMA Persada Nusantara hengkang dari Kabupaten Berau. Akhirnya berkat kinerja dan performa yang baik dari PT. Bukit Makmur Mandiri Utama, mulai berdiri sebagai kontraktor tunggal di Sungai Lati. Setelah berhasil berkompetisi dengan kompetitor kontraktor lain selama 3 bulan, akhirnya PT. Bukit Makmur Mandiri Utama memperoleh kepercayaan dari PT. Berau Coal untuk membuka project Hauling Suaran dan Binungan. Seiring dengan bertambahnya waktu, PT. Bukit Makmur Mandiri Utama terus melakukan ekspansi dengan menambah dua proyek tambang di Kota Samarinda tepatnya di Jongkang *site* BBE yang kemudian disusul dengan

berdirinya *site* Lanna di Sei Siring. Akhir tahun 2001 PT. Bukit Makmur Mandiri Utama memperoleh prestasi yang membanggakan yaitu bendera PT. Bukit Makmur Mandiri Utama dapat berkibar di PT. Adaro Indonesia, Tanjung Tabalong. Dan di penghujung tahun 2007 ini telah berdiri satu *site* lagi yaitu Gunung Bayan. Hingga saat ini PT. Bukit Makmur Mandiri Utama menjadi kontraktor yang bergerak dibidang jasa pertambangan batubara terbesar kedua.

3.1.2 Lokasi Penelitian dan Kesempaan Daerah

PT. Bukit Makmur Mandiri Utama merupakan perusahaan kontraktor yang diberikan hak pengelolaan oleh PT. Adaro Indonesia. Daerah operasional PT. Adaro Indonesia secara geografis terletak pada $115^{\circ} 26' 10'' - 115^{\circ} 33' 30''$ Bujur Timur dan $2^{\circ} 7' 30'' - 2^{\circ} 25' 30''$ Lintang Selatan. Secara administratif lokasi pertambangan PT. Adaro Indonesia masuk ke dalam 2 kabupaten dan 20 kecamatan.

- a. Provinsi Kalimantan Selatan meliputi Kabupaten Tabalong yang terdiri dari Kecamatan Banua lawas, Bintang Ara, Haruai, Jaro, Kelua/Klua, Muara Harus, Muara Uya, Murung Pudak, Pugaan, Tanjung, Tanta dan Upau.
- b. Kabupaten Balangan terdiri dari Kecamatan Paringin, Juai, Awayan, Lampihung, Halong, Tebing Tinggi, Paringin Selatan dan Batu Mandi.

Infrastruktur berupa jalan angkut batubara sepanjang ± 80 km, bengkel, perkantoran, perumahan, dan pelabuhan khusus batubara

yang terletak di Kelanis dan tersebar di Kabupaten Balangan dan Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan, serta Kabupaten Barito Timur dan Kabupaten Barito Selatan Provinsi Kalimantan Tengah.

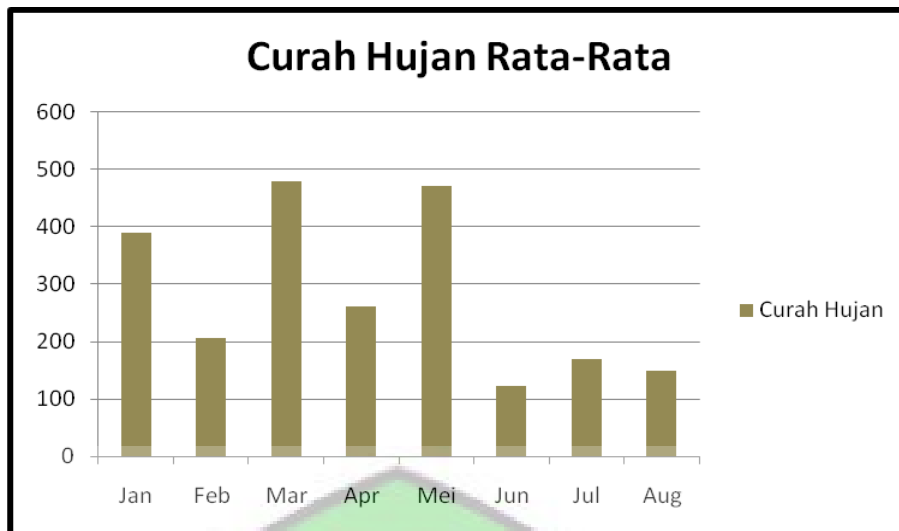
3.1.3 Keadaan Iklim dan Curah Hujan

- 4 Daerah tambang Paringin memiliki iklim tropis dengan suhu rata-rata 28⁰C - 35⁰C, dan suhu tahunan rata-rata 29⁰C hal ini dimungkinkan karena posisi dari tambang Paringin yang dekat dengan garis khatulistiwa sehingga daerah ini dipengaruhi oleh dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Daerah Kalimantan Selatan termasuk daerah yang beriklim tropis. Dari data curah hujan tahun 2018 di wilayah Paringin, curah hujan bulanan maksimum terjadi bulan Mei mencapai 504 mm dan curah hujan bulanan minimum mencapai 118 pada bulan Juni.

5 **Tabel 3.1** Curah Hujan Bulan Januari - Agustus

Area	Curah Hujan (mm)							
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
Pit North	396	212	482	227	437	118	180	150
Pit Central	383	201	478	295	504	126	158	150
Jumlah	779	413	960	522	941	244	338	300
Rata-Rata	389.5	206.5	480	261	470.5	122	169	150

6 Sumber: *Project Control* PT. BUMA



7

Sumber: *Project Control* PT. BUMA

8 **Gambar 3.2** Grafik Curah Hujan Rata-Rata

3.2 Kondisi Geologi

3.2.1 Kondisi Geologi Regional

3.2.1.1 Fisiografi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Amuntai, Kalimantan yang dibuat oleh R.Heryanto dan P. Santoyo pada tahun 1994, wilayah Kabupaten Tabalong termasuk dalam Cekungan Barito. Cekungan Barito merupakan cekungan yang berumur Tersier yang terletak di bagian tenggara Schwaner Shield di daerah Kalimantan Selatan. Cekungan Barito pada bagian utara dibatasi oleh Cekungan Kutai dan bagian selatan dibatasi oleh Laut Jawa. Sedangkan, pada bagian timur berbatasan dengan Pegunungan Meratus dan bagian barat dibatasi oleh Paparan Sunda. Cekungan Barito meliputi daerah seluas 70000 km² di Kalimantan Selatan

bagian tenggara dan terletak di sepanjang batas tenggara Lempeng Mikro Sunda.

3.2.1.2 Stratigrafi

Secara umum sedimentasi di Cekungan Barito merupakan suatu daur lengkap sedimentasi yang terdiri dari seri *transgresi* dan *regresi*. *Fase transgresi* terjadi pada kala *Eosen-Miosen Awal* dan disertai dengan diendapkannya Formasi Tanjung dan Formasi Berai. Sedangkan fase *regresi* berlangsung pada kala *Miosen Tengah* hingga *Pliosen* bersamaan dengan diendapkannya Formasi Warukin dan Formasi Dahor. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Amuntai (Sumber : R. Heryanto dan P. Santoyo, 1994), urutan stratigrafi Cekungan Barito dari muda ke tua adalah sebagai berikut.

1. Aluvium (Qa)

Endapan ini disusun material aluvial sungai berukuran lempung, pasir, kerikil, kerakal sampai bongkah dengan 57 bentuk menyudut tanggung sampai membulat. Terdiri dari batuan sedimen dan batuan beku yang telah mengalami pelapukan, kemudian tererosi dan terendapkan. Proses pengendapan satuan endapan ini masih berlangsung sampai sekarang. Satuan endapan aluvial merupakan satuan

termuda yang ada di daerah Cekungan Barito. Hubungan stratigrafi satuan endapan aluvial dengan satuan batuan yang lebih tua di bawahnya dibatasi oleh bidang erosi. Berdasarkan dari pengelompokan satuan batuan yang terdapat di Cekungan Barito, Satuan batuan yang terdapat di daerah penelitian mulai dari yang tua ke muda adalah: Satuan Batuan Batugamping selang seling Batulempung dibandingkan dengan Formasi Berai, Satuan Batuan Batupasir selang seling Batulempung sisipan Batubara dibandingkan dengan Formasi Warukin, dan Satuan Batuan Rolit. kesebandingan stratigrafi. (Sumber : R. Heryanto dan P. Santoyo, 1994)

2. Formasi Dahor (TQd)

Formasi Dahor diendapkan secara tidak selaras diatas Formasi Warukin. Formasi Dahor berumur Miosen Akhir sampai Pliosen. Formasi ini tersusun oleh batupasir kuarsa lepas berbutir sedang terpilah buruk, konglomerat lepas dengan komponen kuarsa berdiameter 1-3 cm, batulempung lunak, serta dijumpai lignit dan limonit. Formasi Dahor terendapkan dalam lingkungan fluvial dengan tebal sekitar 250 m. (Sumber : R. Heryanto dan P. Santoyo, 1994)

3. Formasi Warukin (Tmw)

Formasi Warukin terletak selaras di atas Formasi Berai dan ditutupi secara tidak selaras oleh Formasi Dahor. Formasi Warukin terdiri dari tiga anggota yang dibedakan berdasarkan susunan litologinya dari tua ke muda yaitu:

- a. Warukin Bawah, merupakan selang seling napal, batugamping, serpih dan serpihgampingan. Batubaranya mempunyai ketebalan tidak lebih dari 5 m, sedangkan batupasir bisa mencapai ketebalan lebih dari 30 m.
- b. Warukin Tengah, disusun oleh batupasir, batulempung, batugampingan dan batubara. Dan diendapkan pada lingkungan Dataran Delta.
- c. Warukin Atas, terdiri dari batubara dengan sisipan lempung karbonat dan batupasir. Tebal lapisan batubara mencapai lebih dari 40 m, sedangkan batupasir tidak begitu tebal, biasanya mengandung air tawar.

Formasi Warukin berumur Miosen Awal - Miosen Akhir. Formasi ini mempunyai ketebalan 400 m dengan lingkungan pengendapan paralik-delta. Formasi Warukin pertama kali ditemukan di desa Warukin, Tanjung Raya Kalimantan Selatan. Penyebaran formasi ini meliputi seluruh Cekungan Barito. Fosil penunjuk

Formasi Warukin yaitu *Heterosgina* sp, *Lepidocyclina* sp dan *Spyroclypeus leupoldi*. (Sumber : R. Heryanto dan P. Santoyo, 1994)

4. Formasi Berai (Tomb)

Formasi Berai terletak selaras diatas Formasi Tanjung. Formasi

Berai dibagi menjadi tiga anggota, dari tua ke muda yaitu:

- a. Berai bawah, merupakan selang seling batugamping, batulempung dan napal.
- b. Berai Tengah, merupakan batugamping masif.
- c. Berai Atas, merupakan selang seling serpih, batulanau dan batugamping dengan sisipan tipis batubara.

Formasi Berai berumur Oligosen-Miosen Awal yang ditunjukkan dengan adanya fosil penunjuk Formasi

Berai adalah *Heterosgina borneoensis*, *Nummulites fichtel*, dan *Spyroclypeus leupoldi* pada batugamping.

Formasi Berai mempunyai ketebalan 1000 m yang terendapkan pada lingkungan neuritik. Formasi Berai pertama kali ditemukan di Gunung Berai dan penyebarannya meliputi seluruh daerah Cekungan Barito.

(Sumber : R. Heryanto dan P. Santoyo, 1994)

5. Formasi Tanjung (Tet)

Formasi Tanjung diendapkan secara tidak selaras diatas batuan *pra- Tersier*. Formasi ini dibagi menjadi dua anggota, dari tua ke muda yaitu:

- a. Tanjung Bawah, terdiri dari konglomerat, batupasir, batubara sebagai hasil endapan pantai-paralik.
- b. Tanjung Atas, terdiri dari batulempung, napal, dan batugamping fosil yang merupakan endapan laut dangkal.

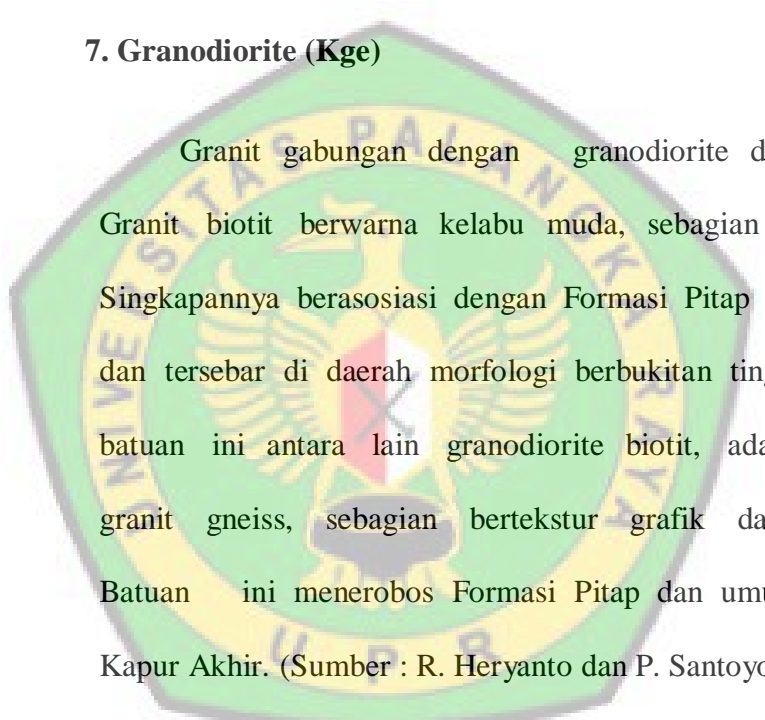
Formasi Tanjung berumur Eosen yang ditunjukkan dengan adanya kandungan fosil *Discocyclus* sp, *Nummulites djogjakartae*, *Nummulites pengaronensis* dan *Sigmoilina personata*. Formasi Tanjung mempunyai ketebalan 750 m dengan lingkungan pengendapan paralik-delta-laut dangkal. Formasi Tanjung pertama kali ditemukan di kampung Tanjung, Panaan dan Manunggal di Daerah Tanjung Raya. (Sumber : R. Heryanto dan P. Santoyo, 1994)

6. Kelompok Haruyan (Kvh)

Breksi gunungapi dan lava basal, berumur Kapur Akhir dan berkedudukan menjemari dengan Formasi Pitap. Berupa retas, sumbat, stocks yang umumnya terdiri atas basal

piroksin kelabu hijau, porfiritik sampai pilotaksit. Sebagian besar berubah membentuk mineral lempung, klorit dan kasit. Unit ini mencapai tebal 50 meter dan menempati daerah morfologi perbukitan tinggi serta dikorelasikan dengan Formasi Haruyan yang berumur Kapur Akhir. (Sumber : R. Heryanto dan P. Santoyo, 1994)

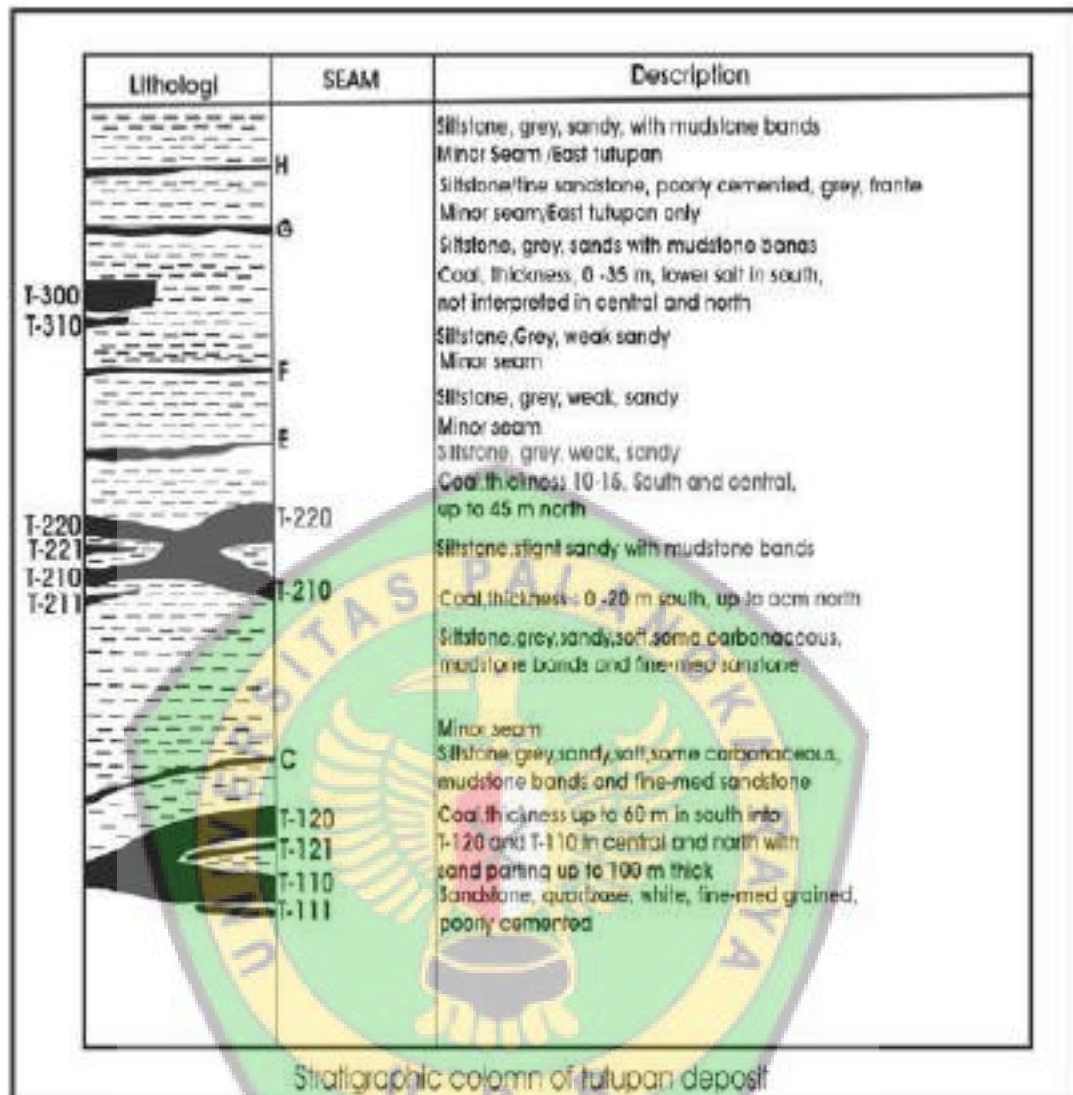
7. Granodiorite (Kge)



Granit gabungan dengan granodiorite dan diorite. Granit biotit berwarna kelabu muda, sebagian terkekarkan. Singkapannya berasosiasi dengan Formasi Pitap dan Haruyan dan tersebar di daerah morfologi berbukitan tinggi. Variasi batuan ini antara lain granodiorite biotit, adamalit biotit, granit gneiss, sebagian bertekstur grafik dan mirmekit. Batuan ini menerobos Formasi Pitap dan umurnya diduga Kapur Akhir. (Sumber : R. Heryanto dan P. Santoyo, 1994)

3.2.1.3 Struktur Geologi Regional

Struktur geologi yang terdapat di Kalimantan Selatan adalah *antiklin*, *sinklin* sesar naik, sesar mendatar, dan sesar turun. Sumbu lipatan umumnya berarah timur laut – barat daya dan umumnya sejajar dengan arah sesar normal.



Sumber: Amuzigi.com, 2016

Gambar 3.4 Stratigrafi Lokal Daerah Paringin

3.2.2 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

3.2.2.1 Morfologi Daerah Penelitian

Morfologi daerah penelitian berdasarkan pengamatan berupa perbedaan tinggi dan relief yang tercermin dalam kerapatan dan bentuk penyebaran kontur pada peta topografi

dan pengamatan secara langsung di lapangan, berupa rangkaian perbukitan, dataran, dan lembah. Berdasarkan peta topografi, daerah penelitian didominasi pola kontur yang rapat dan kasar yang menunjukkan adanya perbedaan ketinggian dan relief yang cukup besar dengan kisaran ketinggian 30 – 200 m dari permukaan air laut. Berdasarkan pengamatan di lapangan, morfologi daerah penelitian berupa perbukitan curam disisi timur dan barat. Dan diantaranya berupa perbukitan landai yang dibatasi lembah dan aliran sungai.

3.2.2.2 Litologi

Secara garis besar lokasi kontrak kerja PT. Adaro Indonesia terletak pada formasi Warukin yang banyak mengandung endapan batubara yang diselingi oleh batulempung dan batupasir.

Daerah penelitian berada pada *Pit Paringin*. Berdasarkan peta penyebaran batuan pada *Pit Paringin* mengandung lapisan batubara utama (*major seam*) yaitu P711, P712, P720, P721, P722 serta beberapa lapisan *minor seam* yaitu berupa *seam* P800, P811, P812, P813, P81. Satuan batuan yang mendominasi pada *Pit Paringin* yaitu batulempung dimana 40% – 50% nya dipenuhi dengan batuan ini.

3.2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian adalah kemiringan lapisan, perlipatan dan pensesaran. Pada *Pit Paringin* terdapat sesar normal dan satu sesar yang diperkirakan. Lapisan batumannya berupa perlipatan sinklin.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan data penelitian skripsi ini adalah:

1. Alat Pelindung Diri (APD).
2. Alat Tulis, untuk mencatat data–data yang diperlukan selama pengambilan data di lapangan.
3. Kamera, untuk mengambil gambar–gambar proses kegiatan yang berlangsung dilapangan.
4. GPS (*Global Positioning System*), untuk mengetahui koordinat lokasi peledakan dan koordinat lokasi pengukuran getaran tanah.
5. *Blastmate III*, untuk mengukur tingkat getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan.
6. Kalkulator, untuk menghitung data–data dalam penelitian.
7. Laptop, untuk mengolah data–data yang diperoleh di lapangan maupun dari buku–buku referensi. Digunakan untuk pembuatan laporan, pengolahan dan analisis data (dibantu perangkat lunak, seperti: *Blastware*, *ShotPlus*, *Microsoft Office Word*, dan *Microsoft Excel*).

8. Aplikasi perangkat lunak *Blastware*, untuk mengetahui data lengkap hasil pengukuran getaran tanah menggunakan *Blastmate III*.
9. Aplikasi perangkat lunak *ShotPlus*, untuk mengetahui jumlah lubang yang meledak bersamaan dalam satu waktu tunda.
10. Aplikasi *Microsoft Office Word*, untuk penyusunan laporan.
11. Aplikasi *Microsoft Excel*, untuk mengalisis data yang telah diperoleh dengan analisis regresi model geometrik.

3.4 Tata Laksana Penelitian

1.4.1 Langkah Kerja

A. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan penyusunan usulan Skripsi dan mempelajari buku-buku literatur yang berkaitan dengan Getaran Tanah dan Kegiatan Peledakan.

B. Tahap Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini mencakup data primer dan data sekunder.

1. Data primer: geometri peledakan, isian bahan peledak, koordinat lokasi peledakan, koordinat lokasi pengukuran getaran tanah, pola dan rangkaian peledakan, dan nilai PVS. Pengambilan data primer dilakukan dengan cara observasi langsung di lapangan.
2. Data sekunder: curah hujan, stratigrafi dan litologi daerah penelitian, peta kesampaian daerah, peta geologi regional,

peta lokasi penelitian, peta foto udara lokasi penambangan Pit Banko Barat dan data-data yang dianggap perlu. Pengambilan data sekunder dilakukan dengan mengumpulkan data yang telah dimiliki oleh perusahaan.

C. Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan metode analisis regresi, yaitu dengan cara pengaturan perhitungan *Scaled Distance vs Peak Velocity Sum*, untuk mencari korelasi antara variabel terikat (PVS) dan variabel bebas (SD). Perhitungan SD vs PVS dilakukan dengan regresi non-linier model geometrik menggunakan aplikasi perangkat lunak *Microsoft Excel* sehingga di dapat persamaan yang menyatakan hubungan antara SD dan PVS.

Persamaan korelasi SD terhadap PVS yang telah diperoleh digunakan untuk menganalisis faktor yang mempengaruhi getaran tanah. Dengan diketahui faktor yang mempengaruhi getaran tanah, maka dapat dilakukan beberapa upaya meminimalkannya.

D. Tahap Penyusunan Laporan Skripsi

Setelah menganalisis data, maka dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan rumusan masalah dari penelitian. Hasil dari pengambilan dan pengolahan data keseluruhan dirangkum

menjadi laporan tertulis untuk dipertanggungjawabkan dalam bentuk Laporan Penelitian Skripsi.

1.4.2 Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian korelasional kuantitatif, karena data yang dikumpulkan akan dicari hubungan serta tingkat hubungan setiap variabelnya. Metode yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah cara atau prosedur yang digunakan oleh peneliti untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dengan tujuan tertentu. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Teknik Pengumpulan Data Studi Pustaka

Dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai referensi dari buku, penelitian terdahulu, dan jurnal sebagai bahan tambahan dan dasar teori untuk memecahkan masalah mengenai getaran tanah hasil kegiatan peledakan.

b. Teknik Pengumpulan Data Observasi

Dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung di lapangan terhadap kegiatan peledakan. Observasi dilakukan untuk mendapatkan data primer yang berupa geometri

peledakan, isian bahan peledak, koordinat lokasi peledakan, koordinat lokasi pengukuran getaran tanah, pola dan rangkaian peledakan, dan nilai PVS.

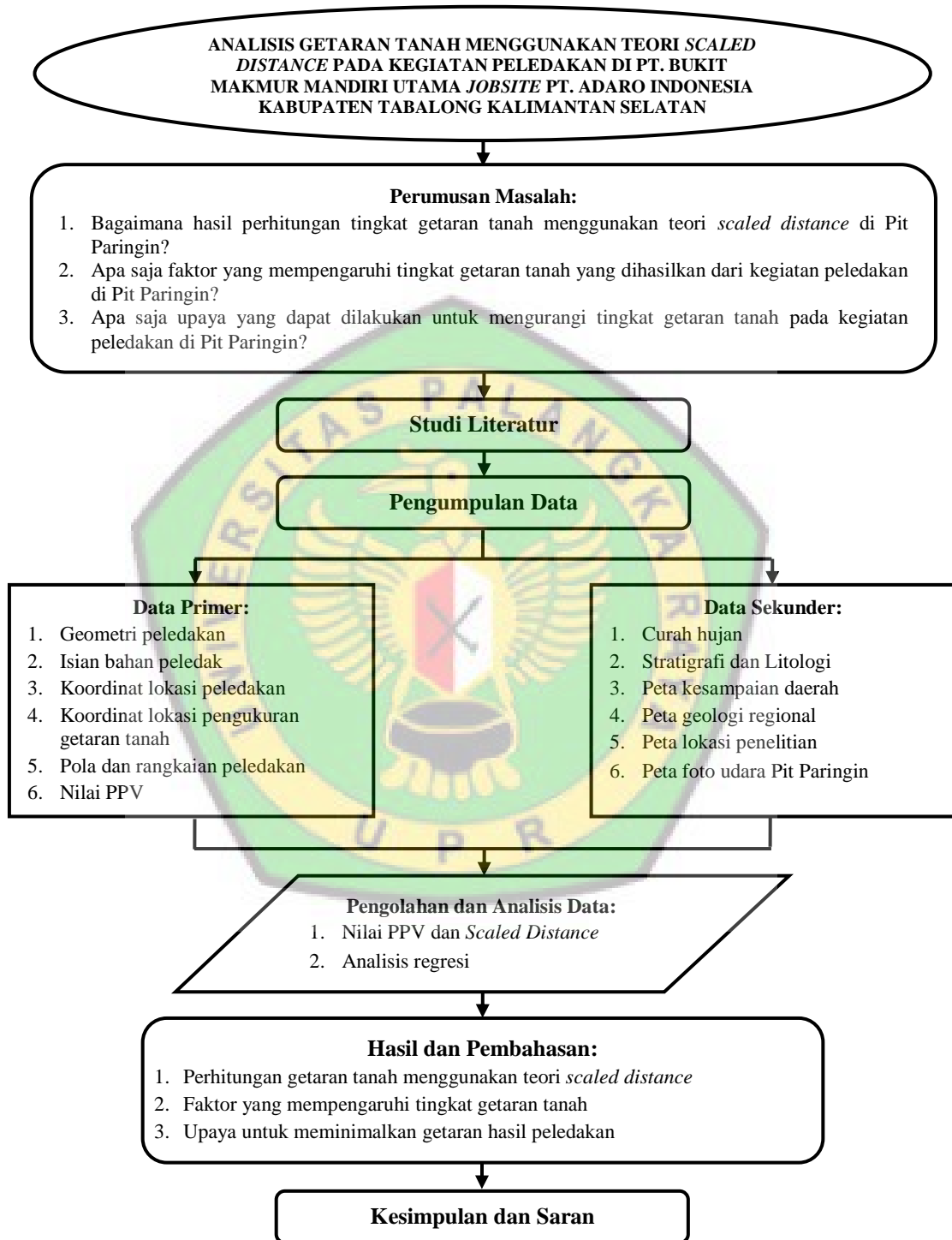
2. Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data pada penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling*. *Purposive sampling* adalah teknik pengambilan sampel dengan beberapa pertimbangan tertentu yang sesuai dengan tujuan penelitian sehingga data yang diperoleh bisa lebih representatif dan dapat menjawab permasalahan dari penelitian.

3. Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan menggunakan teknik analisis korelasi. Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan matematis antara nilai *Scaled Distance* dan PVS sehingga dapat membuat peramalan dan penarikan kesimpulan.

3.5 Bagan Alir

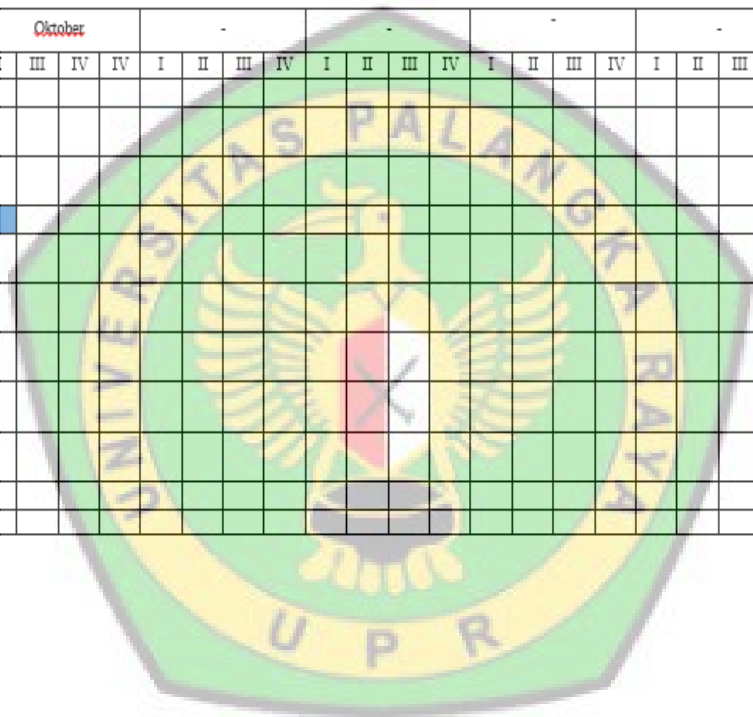


Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.6 Waktu Penelitian Skripsi

Table 3.3 Waktu Penelitian Skripsi

Uraian Kegiatan	Agustus				September				Oktober				-				-				-				-							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Studi Literatur	■																															
Orientasi Lapangan		■	■	■	■	■																										
Pengambilan Data		■	■	■	■	■																										
Pengolahan Data									■	■	■																					
Konsultasi Proposal Skripsi																																
Seminar Proposal Skripsi																																
Pembuatan Laporan																																
Konsultasi Laporan Skripsi																																
Seminar Hasil Skripsi																																
Revisi Skripsi																																
Ujian Skripsi																																



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Perhitungan Tingkat Getaran Tanah

A. Lokasi Pengukuran Getaran Tanah

Lokasi penelitian untuk kegiatan pemantauan dampak peledakan lapisan *interburden* berada pada pemukiman desa Sungai Ketapi, Kabupaten Tanjung Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan. Terdekat dari lokasi peledakan Pit Paringin PT. Bukit Makmur Mandiri Utama dengan jarak ± 1000 m.



(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.1 Lokasi Pengukuran Getaran Tanah

B. Pengeboran dan Peledakan

1. Pola Pengeboran

Pola pengeboran yang digunakan di PT. Bukit Makmur Mandiri Utama adalah pola pengeboran *Achelon* dengan arah pengeboran tegak. Pengeboran dilakukan menggunakan mesin bor DM45 (*atlas copco*) dengan tipe mata bor *tricone bit* dan jenis

pengeboran *hydraulic rotary*. Hasil penetrasi mesin bor berupa gerusan (*crushing*) berbentuk *cutting* maupun debu.



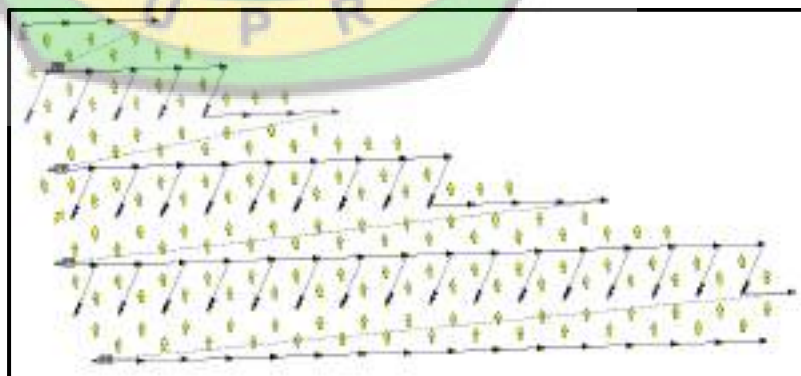
(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.2 Kegiatan Pengeboran

2. Pola Peledakan

Pola peledakan pada Pit Paringin menggunakan pola peledakan *Echelon* dengan peledakan beruntun antar lubang (*hole by hole*) sebagai berikut:

a. *Echelon*



(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.3 Pola Peledakan *Echelon*

Pada pola peledakan *echelon*, yang berfungsi sebagai *control line* adalah baris yang berbatasan dengan bidang bebas

(*freeface*). Arah lemparan material mengarah ke bidang bebas seperti terlihat pada gambar di atas.

3. Geometri Peledakan

Getaran tanah sebagian besar dipengaruhi oleh geometri peledakan seperti burden, spasi, diameter lubang ledak, kedalaman lubang ledak, panjang kolom isian, *stemming*, dan *powder charge*.

- a. Burden yang diterapkan pada lokasi peledakan Pit Paringin adalah 6 – 7 meter.
- b. Spasi yang diterapkan pada lokasi peledakan Pit Paringin adalah 7 – 8 meter.
- c. Diameter lubang ledak yang diterapkan pada lokasi peledakan Pit Paringin adalah $7\frac{7}{8}$ inch (200 mm).
- d. Kedalaman lubang ledak pada lokasi peledakan Paringin adalah seragam untuk setiap lubangnya, yaitu 7 meter.
- e. Panjang kolom isian, merupakan panjang dari lubang ledak yang di isi dengan bahan peledak. Panjang kolom isian bahan peledak di Pit Paringin adalah 3 – 4 meter.
- f. *Stemming* yang digunakan pada kegiatan peledakan Pit Paringin Barat adalah 3 – 4 meter.
- g. *Powder charge* yang digunakan pada kegiatan peledakan Pit Paringin Barat adalah 45 – 60 kg.

4. Jenis Bahan Peledak

Bahan peledak merupakan hal yang penting dalam kegiatan peledakan. Bahan peledak yang dipilih oleh PT. Adaro Indonesia adalah bahan peledak berbasis *Emulsion Matrix*. *Emulsion Matrix* merupakan bahan peledak campuran emulsi dan AN. Produk *emulsion matrix* pada PT. Dahana disebut dengan *DABEX 73* sedangkan PT. DNX menyebutnya *Trojan*.

Dipilihnya bahan peledak *emulsion* karena memiliki kelebihan sebagai berikut.

- a. Berat jenis *emulsion* lebih tinggi dari berat jenis air yang membuat ketahanannya terhadap air tinggi. Sehingga dapat digunakan pada lubang basah dan lubang kering.
- b. Energi peledakan yang terjadi lebih besar karena *emulsion* memiliki densitas yang tinggi yaitu sebesar 1,1 - 1,35 gr/cc. Semakin besar densitas suatu bahan peledak maka semakin besar pula energi peledakan yang terjadi. Standar densitas bahan peledak yang digunakan PT. Adaro Indonesia yaitu 1,15 gr/cc.
- c. *Emulsion* mempunyai *sleeping time* selama 3 hari sehingga dapat digunakan pada kegiatan *sleep blast*.
- d. Menghasilkan kecepatan detonasi (*VOD*) yang tinggi yaitu lebih dari 5000 m/s (tergantung diameter lubang ledak dan densitas *emulsion*). Standar *VOD* yang diterapkan PT. Adaro Indonesia yaitu > 4800 m/s .

- e. Tingkat kepekaan yang tinggi pada penerapan lubang tembak yang berdiameter kecil.



(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.5 Bahan Peledak Emulsions



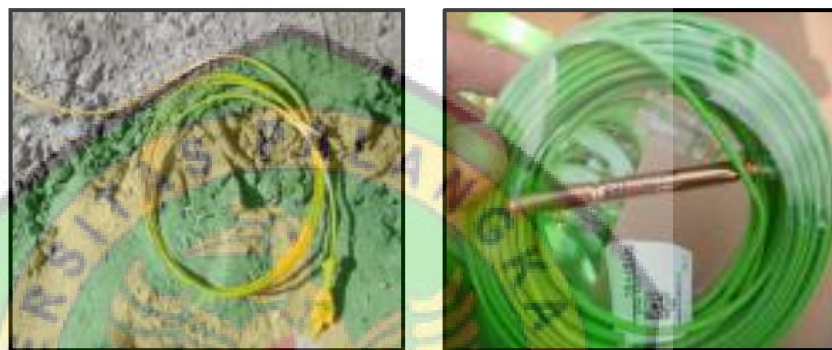
(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.6 *Booster*

5. Metode Peledakan

Metode peledakan yang diterapkan pada Pit Paringin adalah dengan metode peledakan *Non-Electric* (Nonel) dan *Electronic*. Pola peledakan yang diterapkan adalah pola peledakan beruntun antar lubang (*hole by hole*) dengan *in hole delay* (IHD) 500 ms. *Elektronik* detonator adalah detonator yang menggunakan

komponen electronic (*Printed circuit Board*) yang terpasang Chip dan komponen *electronic* lainnya yang berguna untuk memprogram detonator serta sebagai feature keselamatan (*safety feature*). Proses penyalan awal menggunakan *blasting machine* yang meledakkan *lead wire* dan disambungkan dengan *surface delay* pada *initiation point* (IP).



a) IHD 500 ms pada peledakan NONEL

b) IHD elektronik pada peledakan elektronik

(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.7 *In Hole Delay (IHD) & Bell Wire*

6. *Surface Delay*

Surface delay merupakan waktu tunda yang digunakan pada permukaan lubang ledak dan berfungsi untuk menghubungkan setiap lubang ledak. Waktu tunda yang digunakan pada lokasi peledakan Pit 2 Banko Barat bervariasi, terdiri dari 42 ms, 67 ms, dan 109 ms.

a) *Surface Delay* 17 msb) *Surface Delay* 25 ms

(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.8 *Surface Delay* 42 ms dan 67 ms

(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.9 *Surface Delay* 109 ms & Gabungan *Booster* dan Detonator (Primer)

C. Hasil Pengukuran Getaran Tanah

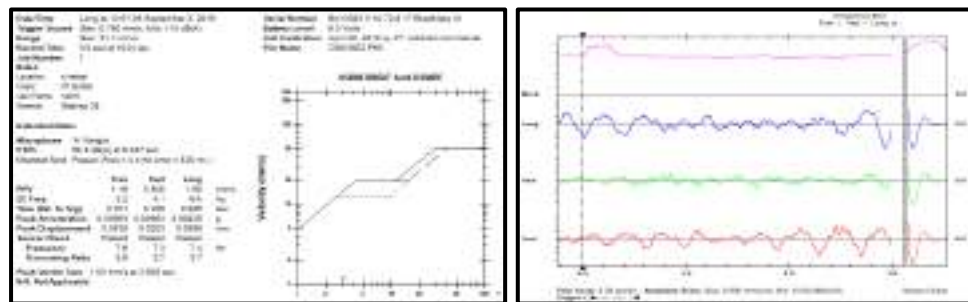
Pengukuran getaran tanah pada Pit Paringin dilakukan di Desa Sungai Ketapi 1, dimana lokasi tersebut merupakan pemukiman masyarakat yang rentan terhadap getaran tanah hasil peledakan. Pengukuran dilakukan dari 30 kali kegiatan peledakan.



(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.10 Kegiatan Pengukuran Getaran Tanah

Dalam pemantauan getaran peledakan dilakukan pengukuran PPV (kecepatan partikel puncak) dengan menggunakan alat *Blastmate III*. Pada saat pengukuran PPV, *Blastmate III* dipasang dengan posisi *geophone* dan *microphone* yang mengarah ke arah lokasi peledakan. *Geophone* dan *microphone* akan merekam getaran tanah dan suara ledakan (*noise*) yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Penggunaan *Blastmate III* dikombinasikan dengan aplikasi perangkat lunak *Blastware* untuk mengetahui hasil pengukuran getaran tanah secara lebih lengkap. Hasil pengukuran PPV pada kegiatan peledakan di Pit Paringin pada tanggal 3 September 2019 dapat dilihat pada Gambar 4.11.



(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Gambar 4.11 Hasil Perekaman Data Getaran Tanggal 3 September 2019

Peledakan tanggal 3 September 2019 pada pukul 12:51 tercatat tiga macam gelombang seismik yang di rekam oleh *Blastmate III* yaitu gelombang transversal 1,19, vertikal, dan longitudinal. Nilai PPV gelombang transversal sebesar 1,83 mm/s, gelombang vertikal sebesar 0,508 mm/s dan gelombang longitudinal sebesar 1,68mm/s. Adapun data pengukuran getaran tanah hasil peledakan Pit Paringin dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Getaran Tanah

No	Tanggal	Jumlah Lubang	Jarak (m)	Muatan Bahan Peledak Per Waktu Tunda (Kg)	Hasil Pengukuran					Pola Peledakan	Initiation Point	Arah Rambatan Getaran
					Transversal (mm/s)	Vertikal (mm/s)	Longitudinal (mm/s)	PVS (mm/s)	Noise (dB(A))			
1	21-Aug-19	170	1362	101.580	0.778	0.571	0.810	0.86	63.6	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
2	21-Aug-19	35	1171	94.850	0.333	0.381	0.762	0.77	67.5	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
3	21-Aug-19	36	1787	94.850	1.11	0.508	0.444	1.13	68.1	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
4	21-Aug-19	36	1559	94.850	0.587	0.603	0.794	0.89	62.0	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
5	22-Aug-19	142	1766	79.640	1.48	0.937	1.16	1.47	73.6	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
6	22-Aug-19	142	1646	79.640	0.762	0.508	0.905	0.92	69.1	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
7	23-Aug-19	122	1290	88.600	0.778	0.460	1.05	1.07	67.0	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
8	23-Aug-19	115	1373	74.860	0.778	0.460	1.05	1.07	67.0	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
9	23-Aug-19	155	1473	74.860	0.841	0.444	0.730	0.95	67.9	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
10	24-Aug-19	90	1442	53.920	1.29	1.02	1.02	1.52	74.9	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
11	24-Aug-19	90	1376	53.920	0.937	0.651	1.16	1.19	69.4	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
12	24-Aug-19	75	1222	93.600	0.603	0.762	0.619	0.90	68.1	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
13	24-Aug-19	75	970	93.600	0.762	0.683	0.905	1.20	67.8	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
14	24-Aug-19	85	1685	85.880	1.24	1.24	1.38	1.58	75.2	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
15	24-Aug-19	85	1435	85.880	0.524	0.429	1.02	1.13	65.3	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
16	24-Aug-19	85	1671	85.880	0.397	0.476	0.524	1.02	66.1	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
17	25-Aug-19	19	970	84.210	1.11	0.698	0.905	1.18	69.3	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati

No	Tanggal	Jumlah Lubang	Jarak (m)	Muatan Bahan Peledak Per Waktu Tunda (Kg)	Hasil Pengukuran					Pola Peledakan	Initiation Point	Arah Rambatan Getaran
					Transversal (mm/s)	Vertikal (mm/s)	Longitudinal (mm/s)	PVS (mm/s)	Noise (dB(A))			
18	25-Aug-19	47	966	63.610	1.05	0.492	0.667	1.21	68.7	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
19	25-Aug-19	153	1511	86.980	0.921	0.762	1.00	1.05	67.2	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
20	25-Aug-19	153	1789	86.980	1.46	0.825	0.984	1.61	67.2	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
21	25-Aug-19	153	1789	86.980	1.24	0.873	1.21	1.41	65.8	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
22	26-Aug-19	76	798	41.970	1.19	0.508	1.68	1.83	68.9	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
23	26-Aug-19	76	858	41.970	1.03	0.968	1.40	1.62	68.8	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
24	27-Aug-19	56	1069	84.010	0.968	0.365	0.683	1.02	69.5	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
25	28-Aug-19	217	1213	91.890	0.635	0.651	0.937	0.98	70.0	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
26	28-Aug-19	105	1215	60.230	0.0794	0.556	0.952	0.98	65.9	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
27	28-Aug-19	105	845	60.230	0.635	0.889	0.889	0.93	66.2	<i>Echelon</i>	IP Utara	Menjauhi
28	28-Aug-19	105	1021	60.230	0.635	0.889	0.889	0.93	66.2	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
29	29-Aug-19	93	1173	57.520	0.762	0.762	1.02	1.14	71.8	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati
30	29-Aug-19	93	785	57.520	0.889	0.762	1.02	1.28	69.2	<i>Echelon</i>	IP Selatan	Mendekati

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2019)

D. Perhitungan Tingkat Getaran Tanah

Scaled distance (SD) dapat diartikan sebagai perbandingan jarak pengukuran dengan nilai akar isian bahan peledak per waktu tunda. SD merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai PVS dari suatu kegiatan peledakan. Semakin tinggi nilai SD maka nilai PVS akan semakin rendah. Nilai dari SD dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Untuk contoh perhitungan SD pada tanggal 24 Agustus 2018:

$$S = \frac{D}{\sqrt{W}} = \frac{1000}{\sqrt{140,000}} = 84,48 \text{ m/kg}$$

Hubungan PVS dan SD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $Y = aX^b$ atau $\text{Log } Y = \text{Log } a + b \text{ Log } X$.

Tabel 4.2 Perhitungan Persamaan Rumus Hubungan PVS dan SD

No.	PVS (mm/s)	<i>Scaled Distance</i> (m/kg ^{-1/2})	X	Y	X.Y	Log ² X
			Log SD	Log PVS		
1	0.86	135.14	2.52	-0.07	-0.17	6.35
2	0.90	120.24	2.08	-0.05	-0.10	4.33
3	0.81	183.49	2.26	-0.09	-0.21	5.12
4	1.01	113.19	2.05	0.00	0.01	4.22
5	0.94	197.89	2.30	-0.03	-0.06	5.27
6	0.78	184.44	2.27	-0.11	-0.24	5.13
7	0.77	96.91	1.99	-0.11	-0.23	3.95
8	0.78	158.69	2.20	-0.11	-0.24	4.84
9	0.66	170.25	2.23	-0.18	-0.40	4.98
10	0.89	196.38	2.29	-0.05	-0.12	5.26
11	0.89	187.39	2.27	-0.05	-0.12	5.17
12	1.47	89.31	1.95	0.17	0.33	3.81
13	1.57	70.90	1.85	0.20	0.36	3.42
14	1.03	128.57	2.11	0.01	0.03	4.45
15	1.13	109.49	2.04	0.05	0.11	4.16

No.	PVS (mm/s)	Scaled Distance (m/kg ^{-1/2})	X	Y	X.Y	Log ² X
			Log SD	Log PVS		
16	0.92	127.50	2.11	-0.04	-0.08	4.43
17	1.07	74.74	1.87	0.03	0.06	3.51
18	1.07	121.12	2.08	0.03	0.06	4.34
19	1.05	114.56	2.06	0.02	0.04	4.24
20	1.18	135.64	2.13	0.07	0.15	4.55
21	0.95	135.64	2.13	-0.02	-0.05	4.55
22	1.26	123.18	2.09	0.10	0.21	4.37
23	1.52	132.44	2.12	0.18	0.39	4.50
24	1.19	82.47	1.92	0.08	0.14	3.67
25	0.90	89.48	1.95	-0.05	-0.09	3.81
26	0.97	156.56	2.19	-0.01	-0.03	4.82
27	0.91	108.88	2.04	-0.04	-0.08	4.15
28	1.20	131.56	2.12	0.08	0.17	4.49
29	1.07	154.66	2.19	0.03	0.06	4.79
30	1.58	103.50	2.01	0.20	0.40	4.06
Jumlah			63.44	0.25	0.32	134.74

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2019)

Dengan Y sebagai variabel terikat (nilai PVS) dan X sebagai variabel bebas (nilai SD), maka:

$$b = \frac{n(\sum \log X \log Y) - (\sum \log X)(\sum \log Y)}{n(\sum \log^2 X) - (\sum \log X)^2}$$

$$b = \frac{30(0.32) - (63.44)(0.25)}{30(134.74) - (63.44)^2}$$

$$b = -0,35636$$

$$\text{Log } a = \frac{\sum \log Y}{n} - b \frac{\sum \log X}{n}$$

$$\text{Log } a = \frac{0.25}{30} - (-0,35636) \frac{63.44}{30}$$

$$\text{Log } a = 0,17685$$

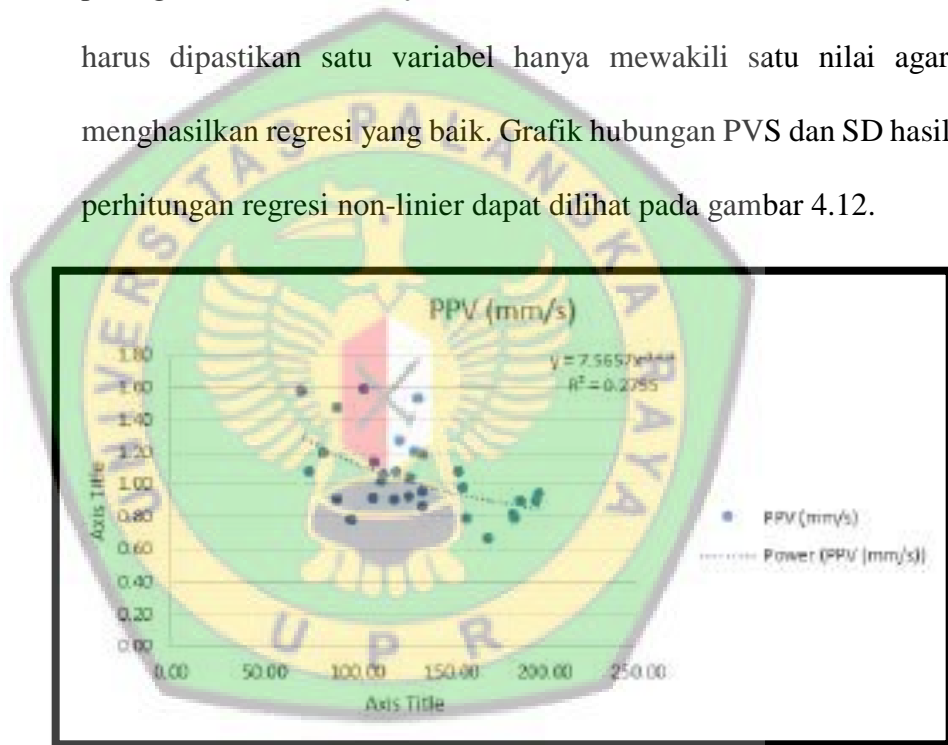
$$\text{Antilog } 0,17685 = 7.5657 \text{ maka } a = 7.5657$$

Sehingga didapatkan persamaan:

$$Y = 7.5657 X^{-0.414}$$

$$PVS = 7,5657 SD^{-0,414}$$

Persamaan rumus hubungan PVS dan SD juga dapat dihitung dengan menggunakan regresi non-linier model geometrik pada perangkat lunak *Microsoft Excel*. Namun sebelum dianalisis, data harus dipastikan satu variabel hanya mewakili satu nilai agar menghasilkan regresi yang baik. Grafik hubungan PVS dan SD hasil perhitungan regresi non-linier dapat dilihat pada gambar 4.12.



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.12 Hasil Analisa Regresi Non-Linier Model Geometrik

Dari hasil regresi di atas, di dapatkan persamaan rumus hubungan PVS dan SD, yaitu $Y = 7.5657 X^{-0.414}$ dengan koefisien determinasi (R^2) = 0.2795 dan $R = 0.5285$ yang merupakan nilai akar dari R^2 . Konstanta yang didapatkan adalah $K = 7.5657$ dan $e = 0.414$

Persamaan rumus hubungan PVS dan SD dapat digunakan untuk melakukan prediksi nilai getaran tanah yang akan dihasilkan dari kegiatan peledakan. Prediksi ini dilakukan untuk mengetahui apakah getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan yang akan dilakukan masih dalam batas aman atau tidak. Berikut adalah contoh prediksi getaran tanah berdasarkan jarak terdekat dan jarak terjauh:

a. Jarak Terdekat

Peledakan pada tanggal 29 agustus

Diketahui:

Konstanta k = 7.5657

Konstanta e = 0.414

Nilai x = 2

Isian bahan peledak/delay (W) = 57.520 kg/delay

Jarak pengukuran (D) = 785 m

Penyelesaian:

$$PVS = kSD^{-e}$$

$$= k \left(\frac{D}{W^{\frac{1}{x}}} \right)^{-e}$$

$$= 7.5657 \left(\frac{785}{\sqrt{57.520}} \right)^{-0.414}$$

$$= 7.5657 (103.50)^{-0.414}$$

$$= 1,58 \text{ mm/s}$$

b. Jarak Terjauh

Peledakan pada tanggal 25 Agustus

Diketahui:

$$\text{Konstanta } k = 7.5657$$

$$\text{Konstanta } e = 0.141$$

$$\text{Nilai } x = 2$$

$$\text{Isian bahan peledak/delay (W)} = 86.980 \text{ kg/delay}$$

$$\text{Jarak pengukuran (D)} = 1789 \text{ m}$$

Penyelesaian:

$$PVS = kSD^{-e}$$

$$= k \left(\frac{D}{W^x} \right)^{-e}$$

$$= 7.5657 \left(\frac{1789}{\sqrt{86.980}} \right)^{-0.141}$$

$$= 7.5657 (135.64)^{-0.141}$$

$$= 0.95 \text{ mm/s}$$

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan prediksi tingkat getaran tanah dengan menggunakan persamaan rumus hubungan PVS dan SD:

Tabel 4.3 Prediksi Tingkat Getaran Tanah

No	Tanggal	Jarak (m)	Muatan Bahan Peledak Per Waktu Tunda (Kg)	Koefisien			<i>Scaled Distance</i> (m/kg ^{-1/2})	PVS Prediksi (mm/s)	PVS Aktual (mm/s)	Penyimpangan	Akurasi (%)
				k	M	X					
1	21-Aug-19	1362	101.580	7.5657	0.414	2	135.14	0.99	0.86	-0.13	115
2	21-Aug-19	1171	94.850	7.5657	0.414	2	120.24	1.04	0.90	-0.14	116
3	21-Aug-19	1787	94.850	7.5657	0.414	2	183.49	0.87	0.81	-0.06	108
4	21-Aug-19	1559	94.850	7.5657	0.414	2	160.08	0.93	1.01	-0.08	109
5	22-Aug-19	1766	79.640	7.5657	0.414	2	197.89	0.85	0.94	-0.09	111
6	22-Aug-19	1646	79.640	7.5657	0.414	2	184.44	0.87	0.78	0.09	89
7	23-Aug-19	1290	88.600	7.5657	0.414	2	137.05	0.99	0.77	0.22	78
8	23-Aug-19	1373	74.860	7.5657	0.414	2	158.69	0.93	0.78	-0.15	119
9	23-Aug-19	1473	74.860	7.5657	0.414	2	170.25	0.90	0.66	0.24	73
10	24-Aug-19	1442	53.920	7.5657	0.414	2	196.38	0.85	0.89	0.04	96
11	24-Aug-19	1376	53.920	7.5657	0.414	2	187.39	0.87	0.89	0.02	97
12	24-Aug-19	1222	93.600	7.5657	0.414	2	126.31	1.02	1.47	0.45	69
13	24-Aug-19	970	93.600	7.5657	0.414	2	100.26	1.12	1.57	-0.45	140
14	24-Aug-19	1685	85.880	7.5657	0.414	2	181.83	0.88	1.03	0.15	85
15	24-Aug-19	1435	85.880	7.5657	0.414	2	154.85	0.94	1.13	-0.19	120
16	24-Aug-19	1671	85.880	7.5657	0.414	2	180.31	0.88	0.92	0.04	96
17	25-Aug-19	970	84.210	7.5657	0.414	2	105.70	1.10	1.07	0.03	97

No	Tanggal	Jarak (m)	Muatan Bahan Peledak Per Waktu Tunda (Kg)	Koefisien			Scaled Distance (m/kg ^{-1/2})	PVS Prediksi (mm/s)	PVS Aktual (mm/s)	Penyimpangan	Akurasi (%)
				K	M	X					
18	25-Aug-19	966	63.610	7.5657	0.414	2	121.12	1.04	1.07	0.03	97
19	25-Aug-19	1511	86.980	7.5657	0.414	2	162.01	0.92	1.05	0.13	88
20	25-Aug-19	1789	86.980	7.5657	0.414	2	191.82	0.86	1.18	0.32	73
21	25-Aug-19	1789	86.980	7.5657	0.414	2	191.82	0.86	0.95	-0.09	111
22	26-Aug-19	798	41.970	7.5657	0.414	2	123.18	1.03	1.26	0.23	82
23	26-Aug-19	858	41.970	7.5657	0.414	2	132.44	1.00	1.52	-0.52	152
24	27-Aug-19	1069	84.010	7.5657	0.414	2	116.63	1.05	1.19	-0.14	113
25	28-Aug-19	1213	91.890	7.5657	0.414	2	126.54	1.02	0.90	0.12	88
26	28-Aug-19	1215	60.230	7.5657	0.414	2	156.56	0.93	0.97	-0.04	104
27	28-Aug-19	845	60.230	7.5657	0.414	2	108.88	1.09	0.91	-0.18	119
28	28-Aug-19	1021	60.230	7.5657	0.414	2	131.56	1.00	1.20	0.20	84
29	29-Aug-19	1173	57.520	7.5657	0.414	2	154.66	0.94	1.07	-0.13	114
30	29-Aug-19	785	57.520	7.5657	0.414	2	103.50	1.11	1.58	-0.47	143
Rata-Rata								0.96	1.04	-0.02	102.87

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

4.1.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Getaran Tanah

A. Jarak Peledakan

Jarak peledakan yang dimaksud adalah jarak antara lokasi peledakan dengan titik pengukuran getaran tanah. Jarak peledakan dihitung dengan menggunakan rumus mencari jarak antara dua titik koordinat yang telah diketahui. Untuk contoh perhitungan jarak pada tanggal 15 Agustus 2019:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$$d = \sqrt{(368842 - 368539)^2 + (9581769 - 9583174)^2}$$

$$d = \sqrt{2065834}$$

$$d = 1437,3$$

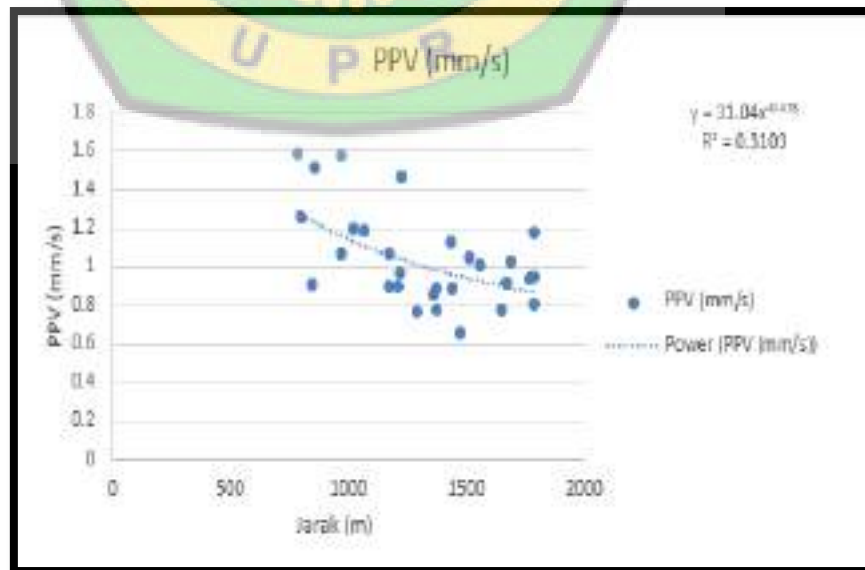
Tabel 4.4 Koordinat Lokasi Peledakan dan Pengukuran Getaran Tanah

No	Tanggal	Koordinat Pit		Koordinat Lokasi Pengukuran Getaran Tanah		Jarak Pengukuran (m)	PVS (mm/s)
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>		
1	21-Aug-19	368842	9581769	368218	9583087	1362	0.86
2	21-Aug-19	368824	9581773	368218	9583087	1171	0.90
3	21-Aug-19	368902	9581790	368218	9583087	1787	0.81
4	21-Aug-19	368990	9581825	368218	9583087	1559	1.01
5	22-Aug-19	368942	9581791	368218	9583087	1766	0.94
6	22-Aug-19	368921	9581860	368218	9583087	1646	0.78
7	23-Aug-19	368812	9581794	368218	9583087	1290	0.77
8	23-Aug-19	368904	9581771	368218	9583094	1373	0.78
9	23-Aug-19	368999	9581811	368218	9583094	1473	0.66
10	24-Aug-19	368993	9581834	368218	9583094	1442	0.89
11	24-Aug-19	368842	9581769	368539	9583174	1376	0.89
12	24-Aug-19	368824	9581773	368539	9583174	1222	1.47
13	24-Aug-19	368924	9581761	368583	9583173	970	1.57
14	24-Aug-19	369009	9582121	368539	9583174	1685	1.03
15	24-Aug-19	368940	9582000	368537	9583170	1435	1.13

No	Tanggal	Koordinat Pit		Koordinat Lokasi Pengukuran Getaran Tanah		Jarak Pengukuran (m)	PVS (mm/s)
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>		
16	24-Aug-19	368956	9582069	368537	9583170	1671	0.92
17	25-Aug-19	369009	9581478	368543	9583171	970	1.07
18	25-Aug-19	368979	9481438	368541	9583178	966	1.07
19	25-Aug-19	368997	9581393	368541	9583178	1511	1.05
20	25-Aug-19	368846	9581480	368541	9583178	1789	1.18
21	25-Aug-19	368934	9581898	368543	9583174	1789	0.95
22	26-Aug-19	368986	9581872	368543	9583174	798	1.26
23	26-Aug-19	369056	9581488	368539	9583174	858	1.52
24	27-Aug-19	369017	9581489	368539	9583174	1069	1.19
25	28-Aug-19	369021	9581560	368583	9583173	1213	0.90
26	28-Aug-19	369022	9581562	368539	9583174	1215	0.97
27	28-Aug-19	368988	9581533	368537	9583170	845	0.91
28	28-Aug-19	369069	9581949	368537	9583170	1021	1.20
29	29-Aug-19	368961	9581933	368543	9583171	1173	1.07
30	29-Aug-19	368920	9581840	368541	9583178	785	1.58

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Berikut ini grafik tingkat getaran tanah pada jarak pengukuran yang berbeda:



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.13 Grafik Jarak Pengukuran terhadap PVS**B. Waktu Tunda Peledakan**

Penggunaan waktu tunda pada suatu peledakan dapat meminimalkan kuantitas bahan peledak yang meledak secara bersamaan. Penggunaan waktu tunda pada *blasting report* disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *SHOT-plus* versi *trial* oleh penulis, untuk mengetahui jumlah lubang yang meledak bersamaan. Berikut ini jumlah lubang yang meledak bersamaan dalam satu waktu tunda:

Tabel 4.5 Jumlah Lubang yang Meledak Bersamaan

No	Tanggal	Jumlah Lubang	Lubang yang Meledak Bersamaan	PVS (mm/s)
1	21-Aug-19	170	1	0.86
2	21-Aug-19	35	1	0.90
3	21-Aug-19	36	1	0.81
4	21-Aug-19	36	2	1.01
5	22-Aug-19	142	1	0.94
6	22-Aug-19	142	1	0.78
7	23-Aug-19	122	2	0.77
8	23-Aug-19	115	1	0.78
9	23-Aug-19	155	1	0.66
10	24-Aug-19	90	1	0.89
11	24-Aug-19	90	1	0.89
12	24-Aug-19	75	2	1.47
13	24-Aug-19	75	2	1.57
14	24-Aug-19	85	2	1.03
15	24-Aug-19	85	2	1.13
16	24-Aug-19	85	2	0.92
17	25-Aug-19	19	2	1.07
18	25-Aug-19	47	1	1.07
19	25-Aug-19	153	2	1.05

No	Tanggal	Jumlah Lubang	Lubang yang Meledak Bersamaan	PVS (mm/s)
20	25-Aug-19	153	2	1.18
21	25-Aug-19	153	2	0.95
22	26-Aug-19	76	1	1.26
23	26-Aug-19	76	1	1.52
24	27-Aug-19	56	2	1.19
25	28-Aug-19	217	2	0.90
26	28-Aug-19	105	1	0.97
27	28-Aug-19	105	1	0.91
28	28-Aug-19	105	1	1.20
29	29-Aug-19	93	1	1.07
30	29-Aug-19	93	1	1.58

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

C. Bobot Isian Bahan Peledak per Waktu Tunda

Bobot isian bahan peledak per waktu tunda yang dimaksud adalah jumlah bahan peledak yang meledak dalam satu waktu tunda, yang dapat menentukan besarnya getaran tanah yang akan dihasilkan. Bobot isian bahan peledak per waktu tunda ditentukan dengan persamaan:

$$W = (AN + FO + Powergel) \times n$$

Dengan:

W = Isian bahan peledak per waktu tunda (kg)

AN = Massa *Ammonium Nitrate* (kg)

FO = Massa *Fuel Oil* (kg), densitas FO = 0,8 kg/L

Powergel = Massa powergel (kg)

n = jumlah lubang yang meledak bersamaan

Berikut ini tabel tingkat getaran tanah pada muatan bahan peledak per waktu tunda yang berbeda:

D. Pola Peledakan

Berikut ini pola peledakan yang digunakan dalam setiap kegiatan peledakan:

Tabel 4.7 Penggunaan Pola Peledakan

No	Tanggal	Jumlah Lubang	Pola Peledakan	Scaled Distance (m/kg ^{-1/2})	PVS (mm/s)
1	21-Aug-19	170	<i>Echelon</i>	135.14	0.86
2	21-Aug-19	35	<i>Echelon</i>	120.24	0.90
3	21-Aug-19	36	<i>Echelon</i>	183.49	0.81
4	21-Aug-19	36	<i>Echelon</i>	113.19	1.01
5	22-Aug-19	142	<i>Echelon</i>	197.89	0.94
6	22-Aug-19	142	<i>Echelon</i>	184.44	0.78
7	23-Aug-19	122	<i>Echelon</i>	96.91	0.77
8	23-Aug-19	115	<i>Echelon</i>	158.69	0.78
9	23-Aug-19	155	<i>Echelon</i>	170.25	0.66
10	24-Aug-19	90	<i>Echelon</i>	196.38	0.89
11	24-Aug-19	90	<i>Echelon</i>	187.39	0.89
12	24-Aug-19	75	<i>Echelon</i>	89.31	1.47
13	24-Aug-19	75	<i>Echelon</i>	70.90	1.57
14	24-Aug-19	85	<i>Echelon</i>	128.57	1.03
15	24-Aug-19	85	<i>Echelon</i>	109.49	1.13
16	24-Aug-19	85	<i>Echelon</i>	127.50	0.92
17	25-Aug-19	19	<i>Echelon</i>	74.74	1.07
18	25-Aug-19	47	<i>Echelon</i>	121.12	1.07
19	25-Aug-19	153	<i>Echelon</i>	114.56	1.05
20	25-Aug-19	153	<i>Echelon</i>	135.64	1.18
21	25-Aug-19	153	<i>Echelon</i>	135.64	0.95
22	26-Aug-19	76	<i>Echelon</i>	123.18	1.26
23	26-Aug-19	76	<i>Echelon</i>	132.44	1.52
24	27-Aug-19	56	<i>Echelon</i>	82.47	1.19

No	Tanggal	Jumlah Lubang	Pola Peledakan	Scaled Distance (m/kg ^{-1/2})	PVS (mm/s)
25	28-Aug-19	217	<i>Echelon</i>	89.48	0.90
26	28-Aug-19	105	<i>Echelon</i>	156.56	0.97
27	28-Aug-19	105	<i>Echelon</i>	108.88	0.91
28	28-Aug-19	105	<i>Echelon</i>	131.56	1.20
29	29-Aug-19	93	<i>Echelon</i>	154.66	1.07
30	29-Aug-19	93	<i>Echelon</i>	103.50	1.58

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

4.1.3 Upaya untuk Meminimalkan Getaran Tanah

Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalkan getaran tanah adalah dengan melakukan perancangan ulang terhadap faktor – faktor yang dapat di kontrol. Berikut ini perbandingan antara nilai PVS aktual dengan PVS hasil perancangan ulang yang telah dilakukan:

A. Bobot Isian Bahan Peledak per Waktu Tunda

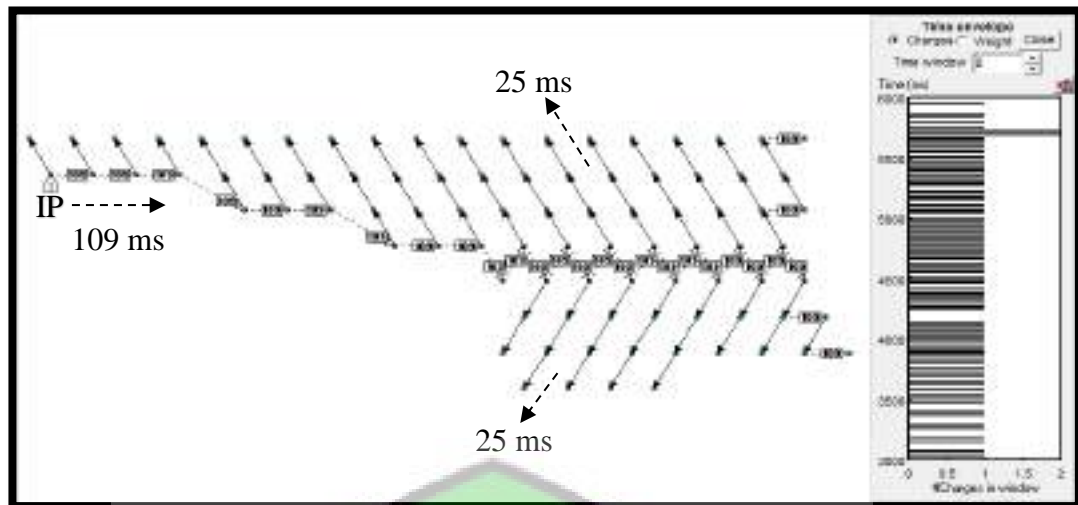
Melakukan perancangan ulang terhadap penggunaan bahan peledak dalam satu waktu tunda. Nilai PVS yang dihasilkan dari perancangan ulang kemudian dibandingkan dengan nilai PVS dari peledakan yang telah dilakukan pada pola peledakan dan jarak pengukuran yang sama.

Tabel 4.8 Getaran Tanah Berdasarkan Bobot Isian Bahan Peledak per Waktu Tunda

Tanggal	Perancangan	Isian Handak/ Delay (Kg)	Jarak (m)	Surface Delay	Freeface	PVS (mm/s)
24/08/2019	Aktual	93.600	970	<i>control row</i> (109 ms), <i>echelon row</i> (25 ms)	1 <i>freeface</i> pada bagian samping	1.57
25/08/2019	Perancangan Ulang	85.880	1435	<i>control row</i> (500 ms), <i>echelon row</i> (21 & 50 ms)	1 <i>freeface</i> pada bagian samping	1.03

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.14 Rancangan Peledakan 24 Agustus



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.15 Rancangan Peledakan 25 Agustus

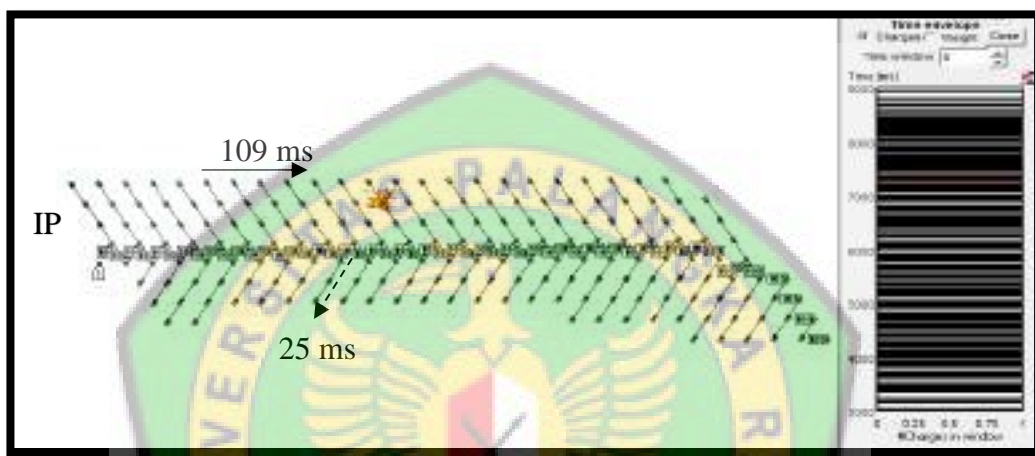
B. Pemilihan Waktu Tunda

Melakukan perancangan ulang terhadap penggunaan waktu tunda. Nilai PVS yang dihasilkan dari perancangan ulang kemudian dibandingkan dengan nilai PVS dari peledakan yang telah dilakukan pada pola peledakan dan nilai *scaled distance* yang sama atau mendekati.

Tabel 4.9 Getaran Tanah Berdasarkan Pemilihan Waktu Tunda

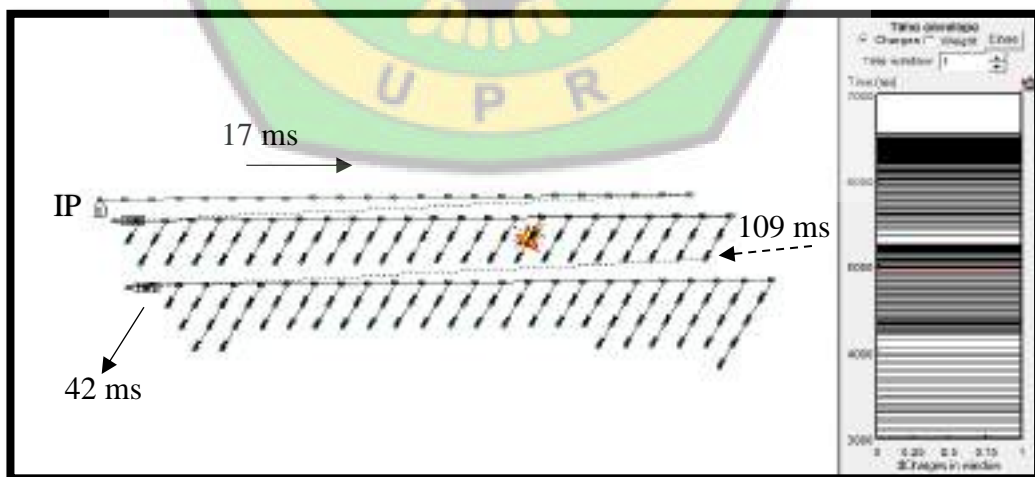
Tanggal	Perancangan	Jarak (m)	Isian Handak/ Delay (Kg)	Scaled Distance	Surface Delay	PVS (mm/s)
25-8-2019	Aktual	1511	86.980	113,19	control row (25 ms), echelon row (109 ms)	1.18
25-8-2019	Perancangan Ulang	1511	86.980	114,56	control row (17&42 ms), echelon row (109 ms)	0.95

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.17 Rancangan Peledakan 25 Agustus



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.16 Rancangan Peledakan 25 Agustus

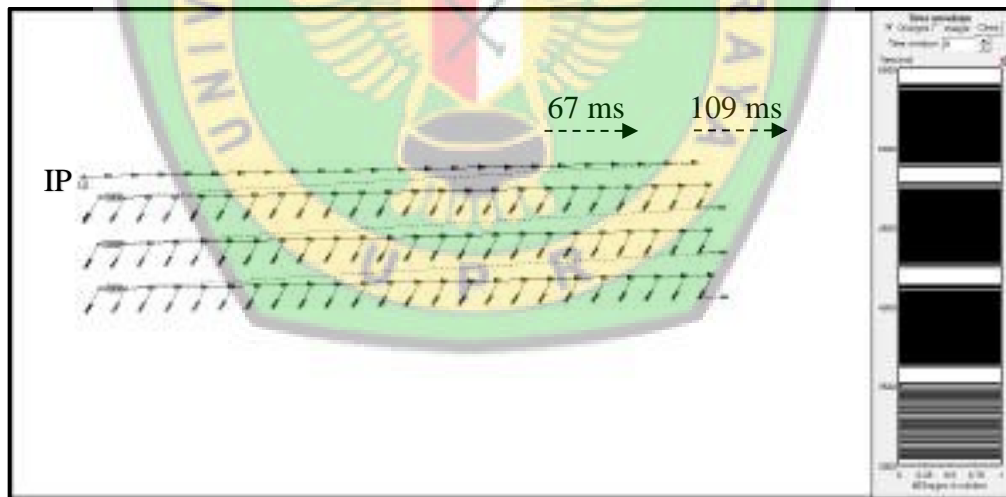
C. Pola Peledakan

Melakukan perancangan ulang terhadap penggunaan pola peledakan. Nilai PVS yang dihasilkan dari perancangan ulang kemudian dibandingkan dengan nilai PVS dari peledakan yang telah dilakukan pada nilai *scaled distance* dan penggunaan waktu tunda yang sama.

Tabel 4.10 Getaran Tanah Berdasarkan Metode Peledakan

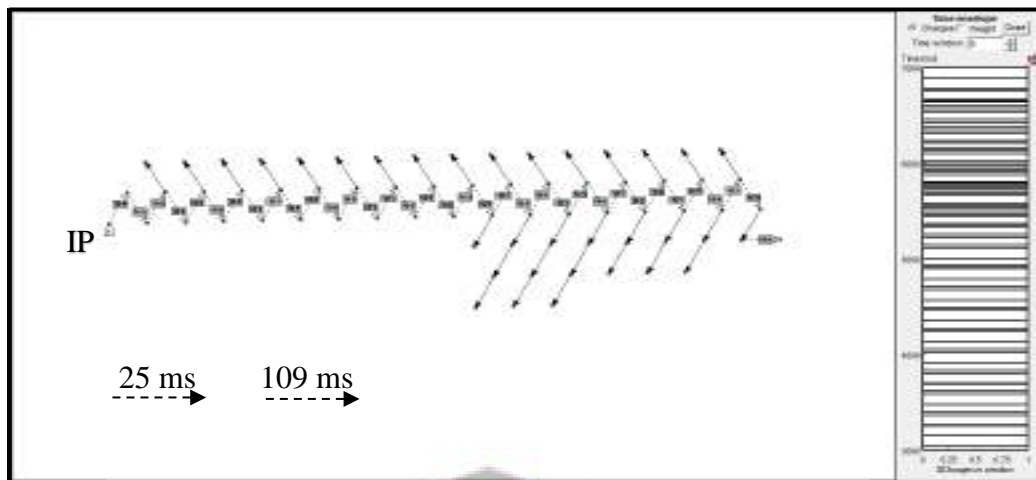
Tanggal	Perancangan	<i>Scaled Distance</i>	Metode Peledakan	<i>Surface Delay</i>	PVS (mm/s)
4/09/2019	Aktual	198,59	<i>Elektronik Detonator</i>	<i>control row</i> (17&25 ms), <i>echelon row</i> (109 ms)	0.98
4/09/2019	Perancangan Ulang	199,41	<i>NONEL</i>	<i>control row</i> (25 ms), <i>echelon row</i> (109 ms)	1.02

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.18 Rancangan Peledakan 4 September



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.19 Rancangan Peledakan 4 September

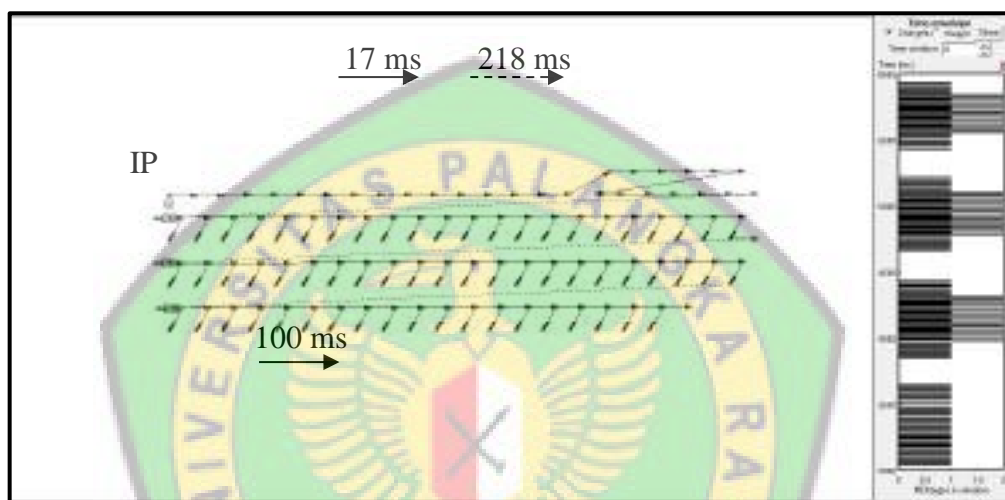
Berdasarkan beberapa cara yang telah dilakukan diatas, maka upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi getaran tanah tanpa menambah *cost* atau biaya peledakan adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan letak *initiation point* (IP) pada lubang ledak yang letaknya paling dekat dengan pemukiman warga.
2. Menggunakan *surface delay* dengan waktu tunda lebih kecil pada bagian kontrol dan *surface delay* dengan waktu tunda yang lebih besar pada baris sayap.
3. Penggunaan jeda 500 ms yang lebih banyak untuk membagi energi peledakan menjadi beberapa bagian.
4. Pengaturan kembali penggunaan waktu tunda pada pola peledakan *echelon*.

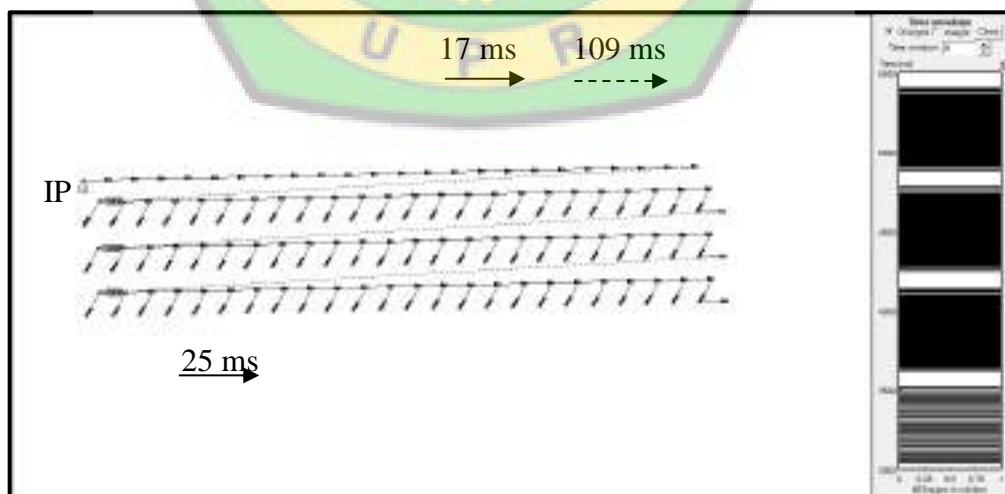
Tabel 4.11 Kombinasi Sistem Waktu Tunda pada Pola Peledakan *Echelon*

Waktu Tunda		Jumlah Baris Maksimal	Keterangan
Baris Kontrol	Baris Sayap		
17 ms	100 ms	8 baris	Baris kontrol dibuat lurus dengan penjedaan
17 ms	25 ms	7 baris	Baris kontrol dibuat lurus dengan penjedaan
25 ms	109 ms	7 baris	Baris kontrol dibuat lurus dengan penjedaan

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

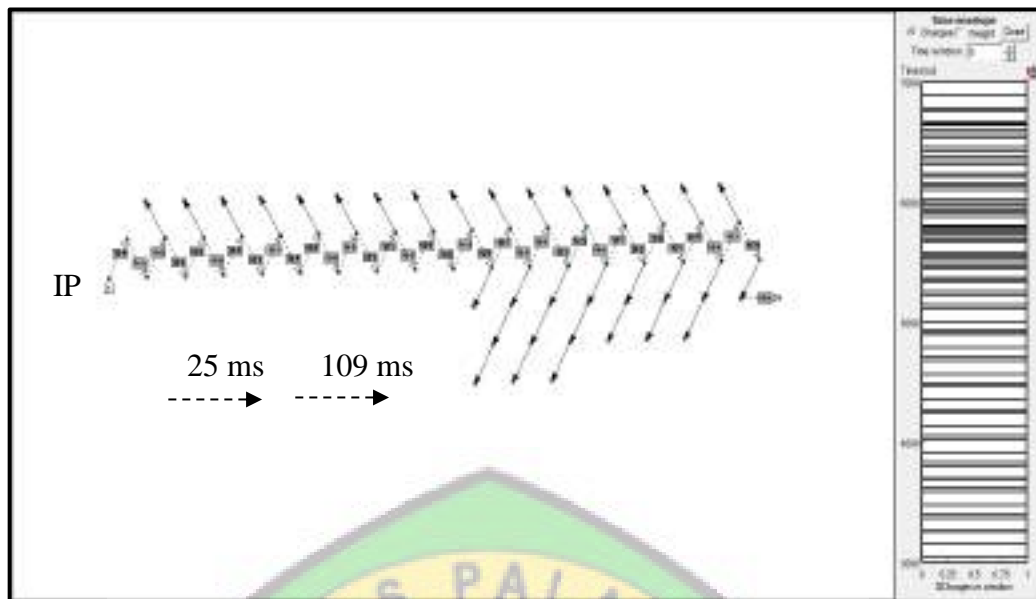


(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.20 Kombinasi Waktu Tunda 17 ms, 100 ms dan 218 ms *Echelon*

(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.21 Kombinasi Waktu Tunda 17 ms, 109 ms dan 126 ms *Echelon*



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan)

Gambar 4.22 Kombinasi Waktu Tunda 25 ms dan 109 ms *Echelon*

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perhitungan Tingkat Getaran Tanah

A. Lokasi Pengukuran Getaran Tanah

Dalam penelitian ini, pengambilan data dilakukan di Desa Sungai Ketapi Kec.Paringin, karena lokasi ini yang cenderung sangat dekat dengan lokasi peledakan, banyak masyarakat yang bermukim, dan masyarakat tersebut yang sering mengeluhkan serta melakukan pengaduan ketidaknyamanan terhadap getaran sebagai akibat dari kegiatan peledakan.

Berdasarkan SNI 7571:2010, bangunan yang berada di Desa Paringin tergolong ke dalam baku tingkat getaran tanah kelas 2 karena jenis bangunan yang terdapat pada lokasi tersebut adalah bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja,

termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberikan adukan semen. Mengacu pada SNI 7571:2010, maka batas getaran tanah yang diterapkan pada lokasi tersebut adalah 3 mm/s. Namun pada penerapannya di PT.BUMA Jobsite PT ADARO Indonesia, standar getaran tanah yang ditetapkan untuk daerah pemukiman penduduk dampak kegiatan peledakan dari Pit Paringin adalah 2 mm/s. Penetapan 2 mm/s yang dilakukan oleh PT.ADARO Indonesia karena kondisi bangunan penduduk yang tidak sesuai dengan kriteria yang ada di SNI 7571:2010. Hal ini disebabkan karena dalam pembuatan bangunan tersebut untuk campuran dan komposisi semen yang digunakan dan pembuatan pondasi dapat dikatakan tidak memenuhi standar yang ada.

B. Pengeboran dan Peledakan

Parameter peledakan yang sangat berpengaruh terhadap tingkat getaran tanah adalah bahan peledak dan pemilihan waktu tunda. Jumlah bahan peledak per waktu tunda dan jenis bahan peledak sangat berpengaruh terhadap tingkat getaran tanah, karena setiap bahan peledak mempunyai nilai VOD yang berbeda, semakin tinggi nilai VOD suatu bahan peledak maka akan semakin besar juga nilai getaran tanah yang akan dihasilkan bahan peledak tersebut. Pada peledakan di Pit Paringin bahan peledak yang digunakan adalah EMULSI, bahan peledak ini mempunyai nilai VOD >4800 mm/s. Selain itu, penggunaan waktu tunda terhadap

pola peledakan sangat perlu diperhatikan agar dapat meminimalkan jumlah lubang yang meledak bersamaan dalam rentang waktu 8 ms, agar getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan tidak terlalu besar.

C. Hasil Pengukuran Getaran Tanah

Pada penelitian di Pit Paringin Barat diperoleh sebanyak 30 data getaran tanah hasil kegiatan peledakan, pengukuran dilakukan pada bulan Agustus–Oktober 2019 dengan menggunakan alat *Blastmate III* buatan Instantel Kanada dan selanjutnya hasil getaran tanah yang telah di rekam dapat dilihat secara lebih lengkap dengan program *Blastware*. Hasil pengukuran getaran tanah meliputi pengukuran *Peak Particle Velocity* (PPV) pada tiga gelombang, yaitu gelombang transversal, vertikal dan longitudinal yang dibaca oleh alat *Blastmate III*. Ketiga gelombang yang terbaca pada *Blastmate III* akan disatukan menjadi *Peak Vector Sum* (PVS) yang merupakan hasil penjumlahan vektor dari ketiga gelombang tersebut. Nilai PVS merupakan PPV aktual yang akan digunakan untuk membandingkan tingkat getaran tanah yang dihasilkan pada setiap peledakan karena PVS tersebut mewakili PPV maksimum dari setiap gelombang.

Jarak pengukuran antara lokasi peledakan dan lokasi pengukuran getaran tanah bervariasi yaitu 785 – 1789 m. Jarak pengukuran yang bervariasi karena lokasi peledakan yang tidak

hanya dilakukan pada satu tempat dalam satu pit. Perhitungan jarak digunakan untuk mencari nilai *scaled distance* pada setiap pengukuran getaran tanah.

Berdasarkan pada hasil pengukuran tingkat getaran tanah yang dilakukan di Pit Paringin, getaran tanah terkecil terjadi pada kegiatan peledakan tanggal 23 Agustus 2019 dengan jarak pengukuran 1473 m dari lokasi peledakan dan jumlah muatan bahan peledak per waktu tunda sebesar 74.860 kg, tingkat getaran tanah yang dihasilkan sebesar 0,66 mm/s. Sedangkan getaran tanah terbesar terjadi pada kegiatan peledakan tanggal 29 Agustus 2019 dengan jarak pengukuran 785 m dari lokasi peledakan dan jumlah muatan bahan peledak per waktu tunda sebesar 57.520 kg, tingkat getaran tanah yang dihasilkan sebesar 1,58 mm/s.

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa tidak ada pengukuran menghasilkan getaran tanah melebihi ambang batas yang telah ditetapkan oleh PT.BUMA

D. Perhitungan Tingkat Getaran Tanah

Perhitungan getaran tanah pada bangunan dihitung dengan menggunakan rumus persamaan *Peak Velocity Sum* (PVS) teori *Scaled Distance* (B.V. Gokhale, 2010) berdasarkan data aktual hasil pengukuran getaran tanah selama bulan Agustus – Oktober 2019. Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan hubungan sebab akibat antara satu variabel dengan variabel lain

adalah dengan menggunakan analisis regresi. Analisis ini telah digunakan secara luas dalam analisis PVS karena analisis dengan metode regresi dapat digunakan untuk memprediksi nilai PVS pada *Scaled Distance* tertentu, yaitu untuk mendapatkan konstanta pada persamaan PVS dimana nilai PVS merupakan variabel terikat dan *Scaled Distance* merupakan variabel bebas. Analisis regresi yang digunakan untuk mencari hubungan antara PVS dan *Scaled Distance* adalah dengan menggunakan regresi non-linier model geometrik.

Data hasil pengukuran perlu disesuaikan dengan kurva yang akan dipakai karena penyesuaian tersebut memberikan gambaran matematis mengenai hubungan antara dua variabel yang berkaitan. Dari persamaan kurva yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksikan harga variabel terikat pada suatu titik. Kurva yang sesuai untuk digunakan pada data hasil pengukuran PVS dan *scaled distance* adalah kurva berpangkat (*power*) karena bentuk awal persamaan PVS ($PVS = k(SD)^m$) merupakan bentuk fungsi berpangkat ($y = ax^b$). Selain itu perbandingan grafik dengan menggunakan kurva linier dan kurva berpangkat (*power*) dari hasil pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Microsoft Office Excel* memperlihatkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) dengan persamaan berpangkat (*power*) lebih besar daripada dengan persamaan linier, sehingga akan lebih baik jika digunakan

persamaan dan kurva berpangkat (*power*) dalam menentukan persamaan matematis untuk memprediksi nilai getaran tanah dengan metode analisis regresi.

Dari hasil regresi non linier model geometrik, didapatkan persamaan rumus hubungan PVS dan SD, yaitu $PVS = 7,5657 SD^{-0,414}$ dengan koefisien determinasi (R^2) = 0,2795. Konstanta yang didapatkan untuk persamaan PVS adalah $K = 7,5657$ dan $e = 0,414$. Konstanta $K = 7,5657$ merupakan nilai dari faktor tempat menunjukkan bahwa pada lokasi penelitian, energi yang ditransferkan dari bahan peledak ke batuan sekitarnya berada pada kondisi rata-rata untuk tambang batubara terbuka. Sedangkan nilai konstanta $e = 0,414$, memberikan gambaran mengenai sifat batuan antara lokasi peledakan dengan lokasi pemasangan alat pengukuran getaran tanah yang termasuk ke dalam jenis batuan penutup pada tambang batubara yang terdiri dari batupasir dan batulempung. Koefisien determinasi $R^2 = 0,2795$ menyatakan bahwa 74,93% nilai PVS dipengaruhi oleh *Scaled Distance*. Sedangkan sisanya, 25,07% dipengaruhi oleh faktor lain seperti karakteristik dan sifat massa batuan, serta faktor geologi lainnya. Koefisien korelasi, yang merupakan nilai akar dari R^2 , $R = 0.5285$ menyatakan bahwa nilai PVS dan *scaled distance* memiliki hubungan yang sangat kuat.

Data model persamaan yang telah didapatkan dari hasil pengolahan data dengan menggunakan analisis regresi non-linier model geometrik dapat digunakan untuk melakukan prediksi nilai getaran tanah yang akan dihasilkan dari kegiatan peledakan. Sehingga melalui persamaan tersebut dapat dilakukan perhitungan nilai PVS prediksi pada jarak pengukuran tertentu sebelum kegiatan peledakan dilaksanakan, untuk dapat mencegah terjadinya peledakan dengan nilai PVS yang melebihi ambang batas yang telah ditetapkan, yaitu 2 mm/s.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.3 diketahui bahwa nilai rata-rata penyimpangan PVS aktual terhadap PVS prediksi sebesar 0,13 mm/s dengan tingkat akurasi 88,92%. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan penyimpangan tersebut:

a. Faktor Nilai Konstanta

Hal ini disebabkan oleh nilai konstanta K , x dan e yang digunakan masih belum mendekati dengan nilai yang sebenarnya.

b. Faktor Kondisi Batuan dan Struktur

Hal ini disebabkan ketentuan pada persamaan PPV hanya memprediksi berdasarkan nilai jarak pengukuran dan isian bahan peledak per waktu tunda, yang dimana tidak menyertakan faktor struktur dan kondisi batuan disekitarnya.

Sedangkan getaran yang dibaca oleh *Blastmate III* sudah melewati struktur dan jenis batuan tertentu. Perbedaan struktur dan jenis batuan akan berpengaruh terhadap nilai PVS yang akan dihasilkan.

c. Faktor Isian Bahan Peledak per Lubang

Pengisian bahan peledak pada lubang ledak dapat memiliki deviasi terhadap isian yang sudah direncanakan, karena pengisian EMULSI untuk setiap lubang hanya berdasarkan ketelitian *crew* yang bertugas pada kegiatan *charging*. Pada saat kegiatan *charging* tidak dilakukan penimbangan sampel untuk memastikan kesesuaian antara massa bahan peledak yang dikeluarkan dengan ketelitian *crew*. Sehingga ada kemungkinan bahwa bahan peledak yang dimasukkan lebih banyak ataupun lebih sedikit dari yang sudah direncanakan.

d. Faktor Jarak Pengukuran

Perhitungan jarak lokasi peledakan dengan lokasi pengukuran getaran tanah dilakukan dengan menggunakan alat GPS. Koreksi data jarak pengukuran terjadi karena ketelitian dari alat yang digunakan tersebut adalah ± 5 meter.

4.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Getaran Tanah

A. Jarak Peledakan

Jarak peledakan yang dimaksud adalah jarak antara lokasi peledakan dengan titik pengukuran getaran tanah. Hasil analisis pada Gambar 4.13 dengan menggunakan regresi non-linier model geometrik menunjukkan bahwa semakin dekat lokasi peledakan dengan lokasi pengukuran, maka tingkat getaran tanah yang dihasilkan cenderung semakin besar. Begitu juga sebaliknya, semakin jauh lokasi peledakan dengan lokasi pengukuran getaran tanah, maka tingkat getaran tanah yang dihasilkan cenderung semakin kecil karena kecepatan partikel dari getaran akan berkurang jika jarak antara lokasi peledakan dan pengukuran getaran bertambah. Dari grafik tersebut juga terlihat bahwa 54,36% getaran tanah dipengaruhi oleh jarak peledakan.

B. Waktu Tunda Peledakan

Sistem waktu tunda dapat diartikan sebagai urutan waktu peledakan antara lubang ledak dalam satu baris dengan lubang ledak pada baris berikutnya ataupun antara lubang ledak yang satu dengan lubang ledak yang lainnya. Penggunaan waktu tunda pada suatu peledakan dapat meminimalkan kuantitas bahan peledak yang meledak secara bersamaan. Pemilihan interval waktu tunda yang tepat dalam rangkaian peledakan dapat mengurangi tingkat getaran tanah yang dihasilkan karena waktu tunda tersebut

memisahkan energi yang terpencar dari bahan peledak, sehingga meminimalkan adanya lubang yang meledak secara bersamaan. Energi yang dihasilkan akan semakin besar dan getaran tanah dari aktivitas peledakan akan bertambah jika jumlah lubang yang meledak dalam satu waktu tunda semakin banyak.

Waktu tunda pada EDD & NONEL memiliki deviasi, jika suatu detonator memiliki waktu tunda 109 ms, terdapat suatu kemungkinan detonator tersebut tidak meledak tepat pada waktu 109 ms melainkan meledak pada waktu 103 ms ataupun 115 ms. Sehingga beda waktu tunda minimum yang direkomendasikan antar lubang ledak adalah sebesar 8 ms, hal ini berarti jika beda waktu tunda antar lubang ledak kurang dari 8 ms maka lubang ledak tersebut dianggap meledak bersamaan.

Pada Tabel 4.5 terlihat bahwa dengan adanya lubang yang meledak bersamaan, maka getaran tanah yang dihasilkan cenderung semakin besar. Begitu juga sebaliknya, jika tidak terdapat lubang yang meledak bersamaan pada suatu kegiatan peledakan, maka getaran tanah yang dihasilkan cenderung semakin kecil. Hal ini terjadi karena pada saat beberapa lubang meledak bersamaan, maka jumlah muatan bahan peledak yang meledak dalam satu waktu tunda semakin banyak, energi peledakan yang dihasilkan juga semakin meningkat sehingga getaran tanah yang dihasilkan juga meningkat.

C. Bobot Isian Bahan Peledak per Waktu Tunda

Bobot isian bahan peledak per waktu tunda yang dimaksud adalah jumlah bahan peledak yang meledak dalam satu waktu tunda, yang dapat menentukan besarnya getaran tanah yang akan dihasilkan.

Getaran tanah yang dihasilkan akan semakin kecil jika kuantitas bahan peledak yang meledak secara bersamaan pada satu waktu tunda semakin sedikit. Pada Tabel 4.6 jumlah isian bahan peledak per waktu tunda akan meningkat menjadi 189,700 kg pada kondisi jumlah isian bahan peledak per lubang 41,970 kg jika pada suatu sistem waktu tunda peledakan nonel terdapat dua lubang ledak yang meledak bersamaan, dan intensitas getaran tanah yang dihasilkan akan semakin meningkat. Nilai PVS yang dihasilkan dengan jumlah isian bahan peledak 94,850 kg per waktu tunda juga lebih kecil daripada nilai PVS yang dihasilkan dengan jumlah isian bahan peledak 101,580 kg per waktu tunda. Hubungan ini menguatkan teori tentang hubungan jumlah isian bahan peledak dengan getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan.

D. Pola Peledakan

Pola peledakan yang digunakan PT. BUMA pada kegiatan peledakan di Pit Paringin dominan menggunakan satu pola peledakan, yaitu pola *echelon*. Pada Tabel 4.7 terlihat bahwa PT.

BUMA hanya menggunakan satu pola peledakan yaitu pola peledakan *echelon*.

Pada pola peledakan *echelon* yang menjadi baris kontrol dari kegiatan peledakan adalah baris yang terletak pada salah satu sisi lokasi yang diledakkan dan hanya memiliki satu sisi sayap peledakan, sehingga arah rambatan energi peledakan hanya menuju satu sisi sayap tersebut. Hal tersebut menyebabkan getaran tanah yang terekam pada lokasi pemukiman dengan menggunakan pola peledakan *echelon* besar jika sisi baris control nya terarah ke lokasi pemukiman sehingga energi peledakan merambat kearah pemukiman.

4.2.3 Upaya untuk Meminimalkan Getaran Tanah

Upaya yang dilakukan untuk mengantisipasi tingkat getaran tanah yang akan semakin besar seiring dengan semakin majunya *front* penambangan yang mendekati pemukiman warga adalah dengan cara melakukan pemantauan getaran tanah setiap kali peledakan dilakukan. Jika nilai PVS mendekati 2 mm/s, maka harus dilakukan perancangan ulang yang akan diterapkan pada kegiatan peledakan berikutnya.

A. Bobot Isian Bahan Peledak per Waktu Tunda

Peledakan tanggal 24 Agustus 2019 menggunakan isian bahan peledak sebanyak 85,880 kg per waktu tunda, sedangkan pada tanggal 22 Agustus 2019 menggunakan isian bahan peledak

sebanyak 79,640 kg per waktu tunda. Pada kedua kegiatan peledakan tersebut menggunakan pola peledakan yang sama yaitu pola peledakan *echelon* dengan penggunaan waktu tunda yang sama dan tersedianya satu *freeface* pada bagian samping. Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan perangkat lunak SHOT-plus versi *trial*, tidak ditemukan adanya lubang yang meledak bersamaan. Pengukuran getaran hasil peledakan dilakukan pada lokasi yang sama dengan jarak pengukuran yang lebih mendekati lokasi peledakan sejauh 7 m pada peledakan tanggal 24 Agustus 2019. Kegiatan peledakan tanggal 24 Agustus 2019 menghasilkan nilai PVS sebesar 1,13 mm/s, sedangkan nilai PVS pada peledakan tanggal 22 Agustus 2019 sebesar 0,94 mm/s. Sehingga dapat diketahui bahwa dengan mengurangi penggunaan bahan peledak dapat meminimalkan getaran tanah yang dihasilkan.

B. Pemilihan Waktu Tunda

Peledakan pada tanggal 24 Agustus dan 25 Agustus 2019 menggunakan isian bahan peledak yang hampir sama, yaitu 85,880 dan 84,210 kg per waktu tunda. Pada kedua kegiatan peledakan tersebut menggunakan pola peledakan yang sama yaitu pola peledakan *echelon* dengan penggunaan waktu tunda yang berbeda. Peledakan pada tanggal 24 Agustus 2019 menggunakan waktu tunda 109 ms pada bagian kontrol dan waktu tunda 25 ms pada bagian *echelon row*. Sedangkan pada kegiatan peledakan tanggal

25 Agustus 2019 menggunakan waktu tunda 17 dan 42 ms pada bagian kontrol dan 109 ms pada bagian *echelon row*. Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan perangkat lunak SHOT-plus versi *trial*, tidak ditemukan adanya lubang yang meledak bersamaan. Pengukuran getaran hasil peledakan dilakukan pada lokasi yang sama dengan jarak pengukuran yang lebih mendekati lokasi peledakan sejauh 5 m pada peledakan tanggal 24 Agustus 2019. Kegiatan peledakan tanggal 24 Agustus 2019 menghasilkan nilai PPV sebesar 1,13 mm/s, sedangkan nilai PPV pada peledakan tanggal 25 Agustus 2019 sebesar 1,07 mm/s. Sehingga dapat diketahui bahwa penggunaan waktu tunda yang tepat dapat meminimalkan getaran tanah yang dihasilkan. Pengaturan waktu tunda pada bagian *echelon row* yang lebih besar membuat distribusi energi peledakan juga berlangsung dengan baik. Penggunaan waktu tunda 17 dan 42 ms dan 109 ms memiliki perbedaan waktu sebesar 67 ms untuk bagian kontrol menyediakan *freeface* bagi *echelon row* untuk meledak. Sedangkan penggunaan waktu tunda 25 ms dan 109 ms memiliki perbedaan waktu sebesar 84 ms untuk bagian kontrol menyediakan *freeface* bagi *echelon row* untuk meledak. Perbedaan waktu yang lebih besar dapat menghasilkan ledakan pada baris kontrol yang tidak tertahan (*confined*) karena *freeface* baru untuk bagian sayap peledakan telah

tersedia sehingga dapat meminimalkan getaran tanah yang dihasilkan.

C. Pola Peledakan

Peledakan pada tanggal 21 Agustus dan 25 Agustus 2019 memiliki nilai *scaled distance* yang relatif hampir sama yaitu 113,19 m.kg² dan 114,56 m.kg². Pada kedua kegiatan peledakan tersebut menggunakan pola peledakan yang sama, yaitu pola peledakan *echelon* pada peledakan tanggal 21 Agustus 2019 dan pola peledakan *echelon* pada peledakan tanggal 25 Agustus 2019. Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan perangkat lunak SHOT-plus versi *trial*, tidak ditemukan adanya lubang yang meledak bersamaan. Kegiatan peledakan tanggal 21 Agustus 2019 menghasilkan nilai PPV sebesar 1,01 mm/s, sedangkan nilai PPV pada peledakan tanggal 25 Agustus 2019 sebesar 1,05 mm/s. Sehingga dapat diketahui bahwa penggunaan pola peledakan yang sama menghasilkan getaran tanah yang relatif berbeda karena jarak dan isian bobot bahan peledak yang relative berbeda.

Dari hasil analisa kegiatan peledakan yang dilakukan pada bulan Agustus 2019, selain beberapa cara yang telah dilakukan tersebut, berikut beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat getaran tanah pada lokasi penambangan Pit Paringin tanpa menambah *cost* atau biaya peledakan adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan letak *initiation point* (IP) pada lubang ledak yang letaknya paling dekat dengan pemukiman warga, khususnya pada kegiatan peledakan dengan menggunakan pola *echelon* sehingga arah rambatan energi akan bergerak menjauhi pemukiman dan getaran yang dihasilkan menjadi lebih kecil.
2. Menggunakan *surface delay* dengan waktu tunda lebih kecil pada bagian kontrol dan *surface delay* dengan waktu tunda yang lebih besar pada bagian *echelon row*. Pada penggunaan waktu tunda 17 dan 42 ms dan 109 ms memiliki perbedaan waktu sebesar 67 ms untuk bagian kontrol menyediakan *freeface* bagi *echelon row* untuk meledak. Sedangkan penggunaan waktu tunda 25 ms dan 109 ms memiliki perbedaan waktu sebesar 84 ms untuk bagian kontrol menyediakan *freeface* bagi *echelon row* untuk meledak. Perbedaan waktu yang lebih besar dapat menghasilkan ledakan pada baris kontrol yang tidak tertahan (*confined*) karena *freeface* baru untuk bagian sayap peledakan telah tersedia sehingga dapat meminimalkan getaran tanah yang dihasilkan.
3. Penggunaan jeda 500 ms mampu menunda rambatan getaran yang dihasilkan peledakan karena jeda tersebut dapat membagi energi peledakan menjadi beberapa bagian untuk beberapa lubang dalam satu jeda, sehingga getaran yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Semakin sedikit jumlah lubang dalam satu jeda, maka semakin

kecil juga getaran yang dihasilkan. Akan lebih baik untuk menggunakan banyak jeda pada satu kali kegiatan peledakan.

4. Sistem waktu tunda *echelon* dengan beda waktu tunda minimum 8 ms antar lubang ledak dapat dilakukan dengan merancang kombinasi *surface delay* yang tepat dan memperhatikan jumlah baris untuk menghindari kemungkinan adanya lubang yang meledak bersamaan. Jumlah baris maksimum dengan kombinasi waktu tunda 42 ms dan 67 ms adalah 7 baris dengan perangkaian *surface delay* pada bagian kontrol yang dibuat lurus. Sedangkan jumlah baris maksimum dengan kombinasi waktu tunda 42 ms dan 109 ms; 67 ms dan 109 ms adalah tidak terhingga dengan perangkaian *surface delay* pada bagian kontrol yang dibuat lurus. Sehingga akan lebih baik jika kombinasi waktu tunda yang digunakan pada pola peledakan *echelon* adalah 42 ms dan 109 ms serta 67 ms dan 109 ms karena jumlah baris yang memungkinkan tidak ada lubang yang meledak bersamaan adalah tidak terhingga.
5. Sistem waktu tunda *echelon* dengan beda waktu tunda minimum 8 ms antar lubang ledak dapat dilakukan dengan merancang kombinasi *surface delay* yang tepat dan memperhatikan jumlah baris untuk menghindari kemungkinan adanya lubang yang meledak bersamaan. Jumlah baris maksimum dengan kombinasi waktu tunda 42 ms dan 67 ms; 42 ms dan 109 ms adalah 4 baris dengan perangkaian *surface delay* pada bagian kontrol yang dibuat zig-zag.

Sedangkan jumlah baris maksimum dengan kombinasi waktu tunda 67 ms dan 109 ms adalah 5 baris dengan perangkaian *surface delay* pada bagian kontrol yang dibuat zig-zag. Sehingga akan lebih baik jika kombinasi waktu tunda yang digunakan pada pola peledakan *box cut* adalah 67 ms dan 109 ms karena jumlah baris yang memungkinkan tidak ada lubang yang meledak bersamaan lebih banyak dibandingkan dengan kombinasi waktu tunda 42 ms dan 67 ms; 42 ms dan 109 ms.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengukuran getaran tanah pada jarak 1000 – 1842 m jika mengacu pada ambang batas yang telah ditetapkan oleh PT. BUMA yaitu 2 mm/s, terdapat satu kali kegiatan peledakan yang melebihi ambang batas tersebut. Berdasarkan karakteristik tingkat getaran tanah hasil peledakan menurut SNI 7571:2010 menunjukkan getaran tanah pada lokasi penambangan Pit Paringin masih berada dalam kondisi aman. Namun masih terdapat keluhan dari pihak masyarakat. Untuk mengetahui hubungan antara nilai *Scaled Distance* dan PVS hasil peledakan, digunakan analisis regresi non-linier model geometrik. Hasil analisis regresi dari data pengukuran PVS diketahui hubungan antara PVS dan SD, yaitu $PVS = 1040,3 SD^{-1,341}$ dengan nilai koefisien K sebesar 1040,3 dan nilai koefisien m sebesar 1,341. Koefisien R^2 menunjukkan bahwa 74,93% nilai PVS dipengaruhi oleh *Scaled Distance*.
2. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi tingkat getaran tanah hasil dari kegiatan peledakan Pit Paringin PT. BUMA adalah jarak lokasi peledakan dengan pemukiman warga yang semakin dekat, penggunaan waktu tunda peledakan nonel yang memungkinkan beberapa lubang ledak meledak

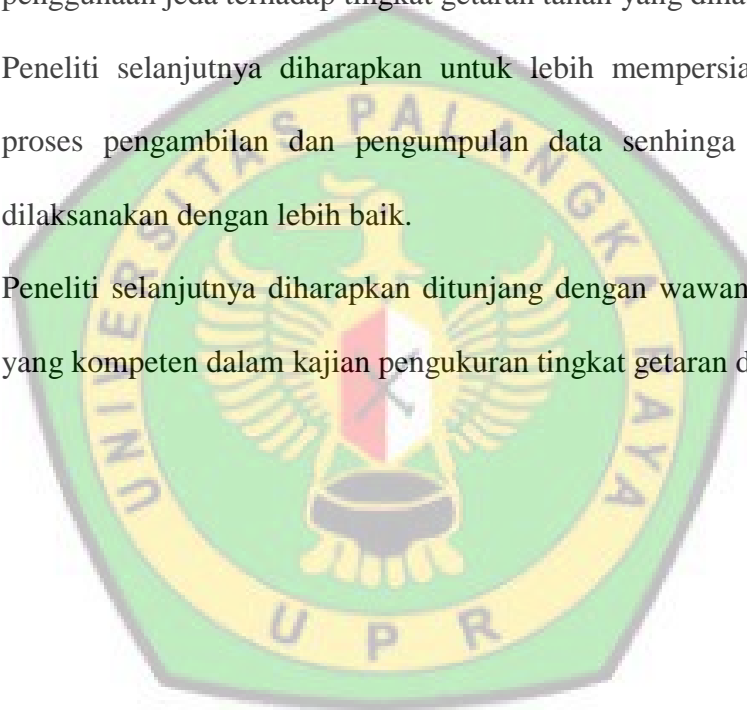
bersamaan, bobot isian bahan peledak per waktu tunda yang semakin banyak karena adanya lubang yang meledak bersamaan, dan pola peledakan.

3. Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalkan getaran tanah adalah dengan melakukan perancangan ulang terhadap faktor – faktor yang dapat di kontrol. Beberapa cara yang telah dilakukan untuk meminimalkan getaran tanah yaitu dengan melakukan perencanaan ulang terhadap bobot isian bahan peledak per waktu tunda, perancangan ulang terhadap kombinasi waktu tunda, dan perancangan ulang terhadap penggunaan pola peledakan. Selain beberapa cara yang telah dilakukan, upaya untuk mengurangi getaran tanah tanpa menambah *cost* atau biaya peledakan adalah dengan memilih letak *initiation point* (IP) pada lubang ledak yang letaknya paling dekat dengan pemukiman warga khususnya pada penggunaan pola peledakan *echelon*, menggunakan *surface delay* dengan waktu tunda lebih kecil pada bagian kontrol dan *surface delay* dengan waktu tunda yang lebih besar pada baris sayap, menggunakan jeda 500 ms yang lebih banyak untuk membagi energi peledakan menjadi beberapa bagian, serta merancang kembali penggunaan waktu tunda pada pola peledakan *echelon* dan *box cut*.

5.2 Saran

Aada beberapa pun saran yang perlu diperhatikan oleh peneliti selanjutnya yang tertarik meneliti tentang kegiatan peledakan adalah:

1. Peneliti selanjutnya diharapkan untuk mengkaji lebih banyak referensi terkait getaran tanah dari dampak kegiatan peledakan, khususnya pada penggunaan jeda terhadap tingkat getaran tanah yang dihasilkan.
2. Peneliti selanjutnya diharapkan untuk lebih mempersiapkan diri dalam proses pengambilan dan pengumpulan data sehingga penelitian dapat dilaksanakan dengan lebih baik.
3. Peneliti selanjutnya diharapkan ditunjang dengan wawancara dari sumber yang kompeten dalam kajian pengukuran tingkat getaran di PT.BUMA.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Perencanaan Tambang 2*. Jurusan Teknik Pertambangan. Fakultas Teknologi Mineral. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta.
- Ash, Richard L. 1990. *Design of Blasting Round, Surface Mining*. B.A. Kennedy Editor: Society for Mining, Metallurgy, and Exploitation, Inc.
- Bhandari, Sushil. 1997. *Engineering Rock Blasting Operations*. Rotterdam: AA Balkema.
- Bickford, E. 1987. *Delay Pattern Guide*. North America: The Ensign-Bickford Company.
- Blake. 1989. *The Geological Regional and Tectonic of South Sumatera Basins*. Proceeding Indonesia Petroleum Association 11th Annual Convention.
- De Coster, G L. 1974. *The Geology of the Central Sumatera and South Sumatera Basins*. Proceeding Indonesia Petroleum Association 4th Annual Convention.
- Dick, R. A., Fletcher, L. R., dan D'Andrea, D. V. 1983. *Explosive and Blasting Procedures Manual*. Washington D. C: U. S. Government Printing Office.
- Elnashai, S A. dan Sarno, D L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Gokhale, Bhalchandra V. 2010. *Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines*. New York: CRC Press.
- Hartman, Howart K. 1987. *Introductory Mining Engineering*. New York: John Wiley and Sons.
- Hemphill, Gary B. 1981. *Blasting Operations*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Jimeno, C. L. 1995. *Drilling and Blasting of Rocks*. Rotterdam: AA Balkema.
- Koesnaryo, S. 1988. *Bahan Peledak dan Metode Peledakan*. Jurusan Teknik Pertambangan. Fakultas Teknologi Mineral. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta.
- Konya, C. J., dan Walter, E. J. 1990. *Surface Blast Design*. New Jersey, USA: Prentice Hall Englewood Cliffs.
- Kuzu, C., dan Hudaverdi, T. 2005. *Evaluation of Blast-induced Vibrations*. International Journal of Brighton Conference Proceedings.
- Li, J. 2009. *An Adaptive Image Euclidean Distance*. Journal of Pattern Recognition, 42, 350.

- Marmer, Wihandoyo. 2008. *Dampak Peledakan*. Bandung: Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara.
- Noviansyah, M. Romi. 2016. *Rancangan Sistem Waktu Tunda Peledakan Nonel Untuk Mengurangi Efek Getaran Tanah Terhadap Fasilitas Tambang di Quarry Karang Putih, PT Semen Padang Indarung*. Jurusan Teknik Pertambangan. Fakultas Teknik. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Silaen, Jonathan Chiston. 2015. *Analisa Ground Vibration pada Kegiatan Peledakan di Pit Kinong PT Firman Ketaun Perkasa Kecamatan Melak Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur*. Jurusan Teknik Pertambangan. Fakultas Teknik. Palangkaraya: Universitas Palangkaraya.
- Standar Nasional Indonesia. 2010. *Baku Tingkat Getaran Peledakan Pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Usman, Husaini., dan Akbar, R Purnomo Setiady. 2009. *Pengantar Statistika*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Heryanto, R., dan Sanyoto, P. 1994. *Peta Geologi Regional Lembar Amuntai dan Sampanahan*. Pusat Survei Geologi Badan Geologi kemntrian ESDM.
- Fredrich Van Mohs (1882) Dalam Perencanaan Tambang 2, 2012

