

# SKRIPSI

## **ANALISIS PENGARUH DAN REKOMENDASI PERCEPATAN GETARAN HORIZONTAL MAKSIMUM ( $a_{maks}$ ) PADA PROSES PELEDAKAN TERHADAP STABILITAS LERENG PIT BATU HIJAU PT AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA**

(Studi Kasus: Longsoran X Domain 1 *Northeast–Area* Penambangan Fase-7 Pit Batu Hijau PT AMNT)

**Disusun dan diajukan oleh**

**DHENA REZQIAH SANJAYA**

**D62115024**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH DAN REKOMENDASI PERCEPATAN  
GETARAN HORIZONTAL MAKSIMUM ( $a_{maks.}$ ) PADA PROSES  
PELEDAKAN TERHADAP STABILITAS LERENG PIT BATU  
HIJAU PT AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA**

(Studi Kasus: Longsor X Domain 1 *Northeast*-Area Penambangan Fase-7 Pit Batu Hijau  
PT AMNT)

**Disusun dan diajukan oleh**

**DHENA REZQIAH SANJAYA**

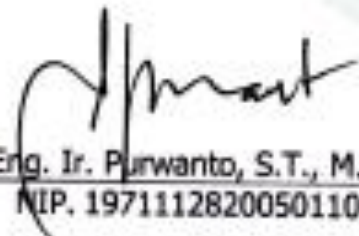
**D62115024**


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi  
Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 29 November 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T., IPM  
NIP. 197111282005011002

  
Nirmana Figra Qaidahiyani, S.T., M.T.  
NIP. 199304222019032018

Ketua Program Studi,  
  
  
Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T., IPM  
NIP. 197111282005011002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DHENA REZQIAH SANJAYA  
NIM : D62115024  
Program Studi : TEKNIK PERTAMBANGAN  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ANALISIS PENGARUH DAN REKOMENDASI PERCEPATAN GETARAN  
HORIZONTAL MAKSIMUM ( $a_{maks}$ ) PADA PROSES PELEDAKAN  
TERHADAP STABILITAS LERENG PIT BATU HIJAU  
PT AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA**

(Studi Kasus: Longsor X Domain 1 *Northeast-Area* Penambangan Fase-7 Pit  
Batu Hijau PT AMNT)

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 November 2021

Yang menyatakan



Tanda tangan

Dhena Rezqiah Sanjaya

## ABSTRAK

Getaran pada proses peledakan merupakan salah satu faktor eksternal yang cukup berpengaruh dalam memicu kelongsoran di PT Amman Mineral Nusa Tenggara. Beberapa kasus kelongsoran yang sering terjadi di PT AMNT diakibatkan oleh adanya getaran tanah dari proses peledakan yang dilakukan secara berkala dan berkelanjutan untuk memenuhi target produksi yang telah ditentukan perusahaan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh getaran tanah (*ground vibration*) dan memberikan rekomendasi parameter getaran tanah (*ground vibration*) yang ideal pada proses peledakan terhadap kestabilan lereng tambang di PT Amman Mineral Nusa Tenggara. Penelitian ini terbagi ke dalam beberapa tahapan, yaitu penentuan nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) aktual di lapangan, analisis korelasi nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) dengan nilai FK lereng, penentuan hubungan nilai *peak particle velocity* (PPV) dengan *scaled distance* (SD) untuk memperoleh konstanta peledakan yang sesuai dengan karakteristik massa batuan pada daerah penelitian, dan pemberian rekomendasi nilai *peak partikel acceleration* (PPA) dan nilai percepatan horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) ideal untuk diterapkan pada area penelitian. Perhitungan nilai FK lereng pada penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas (Morgenstern-Price) dengan bantuan perangkat lunak *Rocscience Slide v6.020*. Analisis pemodelan lereng dengan substitusi faktor gempa ini juga menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dengan parameter masukan berupa nilai kohesi ( $c$ ), nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ), berat jenis, dan angka tekanan pori (*Ru Value*). Nilai seismik didapatkan dari hasil pengolahan nilai PPA aktual di lapangan menggunakan persamaan dari Hermawan, W. (2017) yaitu,  $a_{maks} = \sqrt{(\alpha x^2 + \alpha y^2)}$ , di mana; variabel  $x$  adalah gelombang longitudinal dan variabel  $y$  adalah gelombang transversal. Berdasarkan hasil analisis data didapatkan nilai konstanta peledakan yaitu  $k = 2,45$  dan  $\alpha = -1,095$ . Nilai PPA ideal yang dapat diterapkan pada area penelitian dihasilkan dari persamaan  $PPA = 2,45 \times (SD)^{-1,095}$ . Nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) yang masih aman digunakan pada area penelitian adalah  $0,15-0,17$  g atau ( $mm/s^2$ ).

Kata kunci: Peledakan, getaran tanah, *peak partikel acceleration* (PPA), percepatan horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ).

## **ABSTRACT**

*Vibration in the blasting process is one of the external factors that is quite influential in triggering slope failure at PT Amman Mineral Nusa Tenggara. Several cases of slope failure that often occur at PT AMNT are caused by ground vibrations from the blasting process which is carried out regularly and continuously to meet production targets set by the company. Therefore, this study was conducted to analyze the effect of ground vibration and provide recommendations for ideal ground vibration parameters in the blasting process on the stability of mine slopes at PT Amman Mineral Nusa Tenggara. This research is divided into several stages, namely determining the value of the actual maximum horizontal vibration acceleration ( $a_{max}$ ) in the field, analyzing the correlation of the maximum horizontal vibration acceleration value ( $a_{max}$ ) with the safety factor of slope, determining the correlation between the peak particle velocity (PPV) value and the scaled distance (SD) to obtain blasting constants that are in accordance with the characteristics of the rock mass in the study area, and provide recommendations for the ideal value of peak particle acceleration (PPA) and maximum horizontal acceleration ( $a_{max}$ ) to be applied in the research area. The calculation of the safety factor of slope in this study used the limit equilibrium method (Morgenstern-Price) using Rocscience Slide v6.020 software. Mohr-Coulomb failure criterion is used in slope modeling analysis with seismic load substitution and input parameters in the form of cohesion ( $c$ ), internal friction angle ( $\phi$ ), specific gravity, and pore pressure ( $R_u$  Value). Seismic values are obtained from the processing of actual PPA values in the field using equations from Hermawan, W. (2017) namely,  $a_{max} = \sqrt{(\alpha x^2 + \alpha y^2)}$ , where; variable  $x$  is a longitudinal wave and variable  $y$  is a transverse wave. Based on the results of the data analysis, the blast constant values obtained are  $k = 2.45$  and  $\alpha = -1.095$ . The ideal PPA value that can be applied to the research area results from the equation  $PPA = 2.45 \times (SD)^{-1.095}$ . The maximum horizontal vibration acceleration value ( $a_{max}$ ) which is still safe to use in the research area is 0.15-0.17 acceleration of gravity ( $g$ ) or ( $mm/s^2$ ).*

*Keywords: Blasting, ground vibration, peak particle acceleration (PPA), maximum horizontal acceleration value ( $a_{max}$ ).*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Pengaruh Dan Rekomendasi Parameter Getaran Tanah (*Ground Vibration*) Pada Proses Peledakan Terhadap Stabilitas Lereng Pit Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara" (Studi Kasus: Longsor X Domain 1 *Northeast–Area* Penambangan Fase-7 Pit Batu Hijau PT AMNT).

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Wudi Raharjo selaku Kepala Teknik Tambang (KTT) PT AMNT, Bapak Sunarto Suwito selaku Manager *Training and Development* PT AMNT, Bapak Khatib Syarbini selaku *Superintendent Geotechnical & Hydrological Engineering* PT AMNT, Bapak Dedi Mariyadi dan Bapak Faisal Mirza selaku pembimbing lapangan, serta seluruh karyawan PT AMNT yang telah banyak membantu Penulis selama kegiatan penelitian di PT AMNT.

Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr.Eng. Purwanto S.T., M.T dan Ibu Nirmana Fiqra Qaidahyani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah telah banyak meluangkan waktu untuk membantu, mengoreksi, dan mengarahkan penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih pula kepada Bapak Dr.phil.nat. Sri Widodo, S.T., M.T. dan Ibu Dr.Eng. Rini Novrianti S. Tui, S.T., M.BA., M.T. selaku penguji serta seluruh dosen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan kepada penulis.

Tak lupa pula Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Kedua orang tua, keluarga besar, rekan mahasiswa terkhusus teman-teman STABILITY 2015 dan anggota Laboratorium Geomekanika yang telah memberikan saran, dukungan, dan masukan selama proses pengerjaan laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata Penulis, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Gowa, 29 November 2021

Dhena Rezqiah Sanjaya  
D621 15 024

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian .....	5
1.6 Tahapan Penelitian .....	7
BAB II PENGARUH GETARAN TANAH ( <i>GROUND VIBRATION</i> ) TERHADAP KESTABILAN LERENG.....	11
2.1 Kegiatan Peledakan.....	11
2.2 Gelombang Seismik.....	12
2.3 Getaran Tanah ( <i>Ground Vibration</i> ) Akibat Kegiatan Peledakan .....	14
2.4 Pengaruh Getaran Peledakan terhadap Kekuatan Batuan .....	17
2.5 Percepatan Getaran Horizontal Maksimum ( $a_{maks}$ ).....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Pengambilan Data.....	25
3.2 Pengolahan dan Analisis Data.....	38
BAB IV ANALISIS PENGARUH DAN REKOMENDASI PARAMETER GETARAN TANAH PADA PROSES PELEDAKAN .....	42
4.1 Penentuan Nilai Percepatan Getaran Horizontal Maksimum ( $a_{maks}$ ) Aktual di Lapangan.....	42
4.2 Perhitungan Nilai FK Lereng dengan Substitusi Nilai $a_{maks}$ .....	46
4.3 Hasil Pemantauan Lapangan Menggunakan IDS-Radar dan <i>Robotic Total Station</i> (RTS) .....	56



4.4	Hubungan <i>Peak Particle Velocity</i> (PPV) dengan <i>Scaled Distance</i> .....	63
4.5	Penentuan Nilai PPA dan $a_{maks}$ yang Ideal untuk Lokasi Penelitian .....	64
BAB V	PENUTUP.....	69
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran .....	70
DFTAR PUSTAKA	.....	71
LAMPIRAN	.....	74

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Lokasi PT Amman Mineral Nusa Tenggara .....	6
Gambar 1.2 Foto udara proyek Pit Batu Hijau .....	7
Gambar 2.1 Gelombang P dan S .....	13
Gambar 2.2 Gelombang <i>love</i> (kiri) dan gelombang <i>rayleigh</i> (kanan).....	14
Gambar 2.3 GSI untuk batuan <i>blocky</i> .....	19
Gambar 2.4 <i>Geological strength index for heterogeneous rock such us flysch</i> .....	20
Gambar 2.5 Pengaruh kesetimbangan terhadap percepatan gaya .....	22
Gambar 3.1 Area penelitian Domain 1 PT AMNT.....	26
Gambar 3.2 Dimensi lereng pada daerah penelitian Domain 1 PT AMNT .....	27
Gambar 3.3 <i>Section</i> geometri lereng pada daerah penelitian Domain 1 PT AMNT .....	28
Gambar 3.4 Grafik <i>Blastware v.10</i> .....	29-30
Gambar 3.5 Pembacaan data getaran hasil peledakan pada perangkat lunak <i>Blastware v.10</i> .....	31
Gambar 3.6 Pembacaan distribusi gelombang transversal, vertikal dan longitudinal pada perangkat lunak <i>Blastware v.10</i> .....	31
Gambar 3.7 Model RMR daerah penelitian berdasarkan data <i>geotechnical drilling log</i>	36
Gambar 3.8 Langkah substitusi nilai $a_{maks}$ sebagai nilai <i>seismic load</i> pada tahap analisis kestabilan lereng untuk mencari nilai FK lereng .....	39
Gambar 3.9 Diagram alir tahapan penelitian .....	41
Gambar 4.1 Pehitungan nilai FK lereng aktual pada kondisi natural (tanpa substitusi nilai $a_{maks}$ ).....	47
Gambar 4.2 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,150 g .	48
Gambar 4.3 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,225 g .	48
Gambar 4.4 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,265 g .	49
Gambar 4.5 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,382 g .	49
Gambar 4.6 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,414 g .	50
Gambar 4.7 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,456 g .	50
Gambar 4.8 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,563 g .	51
Gambar 4.9 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,711 g .	51
Gambar 4.10 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,721 g	52
Gambar 4.11 Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,736 g	52

Gambar 4.12	Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 0,783 g	53
Gambar 4.13	Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 1,708 g	53
Gambar 4.14	Pehitungan nilai FK lereng dengan substitusi nilai $a_{maks}$ sebesar 1,850 g	54
Gambar 4.15	Grafik korelasi antara nilai $a_{maks}$ dengan nilai FK.....	56
Gambar 4.16	Kenampakan daerah domain penelitian pada monitor IDS-Radar .....	57
Gambar 4.17	Grafik pemantauan perpindahan material pada IDS-Radar .....	58
Gambar 4.18	Peta prisma pada lokasi penelitian tahun 2018 .....	59
Gambar 4.19	Grafik prisma pada lokasi penelitian yang dianalisis menggunakan perangkat lunak GeMOS .....	60
Gambar 4.20	<i>Failure map location</i> .....	62
Gambar 4.21	Zona patahan pada area penelitian .....	62
Gambar 4.22	Hasil pemantauan IDS-Radar pada area longsoran.....	63
Gambar 4.23	Grafik hubungan <i>peak particle velocity</i> (PPV) dengan <i>scaled distance</i> ..	64
Gambar 4.24	Substitusi $a_{maks}$ rekomendasi = 0,16 g ke dalam model lereng tambang sebagai faktor pembebanan seismik .....	67
Gambar 4.25	Substitusi $a_{maks}$ rekomendasi = 0,17 g ke dalam model lereng tambang sebagai faktor pembebanan seismik .....	67

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Faktor gangguan D pada tambang terbuka.....	18
Tabel 2.2 Rekomendasi nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) oleh beberapa ahli .....	23
Tabel 3.1 Dimensi lereng pada area penelitian Domain 1 PT AMNT .....	27
Tabel 3.2 Hasil pengolahan data getaran tanah ( <i>ground vibration</i> ) pada perangkat lunak <i>Blastware v.10</i> .....	32
Tabel 3.3 Distribusi nilai parameter masukan .....	35
Tabel 3.4 Pengolahan data <i>scaled distance</i> pada area penelitian.....	36
Tabel 4.1 Data hasil pengolahan nilai $a_{maks}$ .....	43
Tabel 4.2 Nilai FK dengan substitusi nilai $a_{maks}$ .....	54
Tabel 4.3 Rekomendasi nilai <i>peak particle acceleration</i> (PPA) dan nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) yang ideal untuk daerah penelitian ...	65
Tabel 4.4 Rekomendasi penggunaan nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) yang dapat diterapkan di lapangan .....	66

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Peta Lokasi Penelitian .....	75
Lampiran B Kegiatan Lapangan.....	77

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT Amman Mineral Nusa Tenggara (PT AMNT) merupakan salah satu perusahaan tambang logam terbesar di Indonesia yang menerapkan sistem penambangan terbuka (*surface mining*) dengan menggunakan metode penambangan *open pit* (Hermawan, 2017). Semua aktivitas penambangan, seperti peledakan, penggalian, pengangkutan, pemuatan, pengukuran dan pemetaan, serta berbagai aktivitas lainnya, dilakukan di dalam pit. Keberlangsungan kegiatan penambangan pada sistem penambangan terbuka (*surface mining*) salah satunya sangat dipengaruhi dan didukung oleh kondisi kestabilan lereng tambang itu sendiri.

Stabilitas lereng biasanya menjadi masalah yang membutuhkan perhatian yang lebih bagi kelangsungan operasi penambangan. Lereng yang tidak aman dapat menimbulkan terjadinya longsor dan mengakibatkan gangguan terhadap kegiatan operasi penambangan. Lereng yang semakin curam akan memaksimalkan perolehan penambangan, namun meningkatkan risiko kestabilan lereng. Sebaliknya, lereng yang semakin landai akan menurunkan perolehan penambangan, namun merendahkan risiko kestabilan lereng (lereng cenderung lebih stabil) (Azizi dkk, 2012). Selain itu, kegiatan penambangan juga sangat berkaitan dengan keselamatan kerja para pekerja tambang ataupun keselamatan lingkungan sekitar (Yuliadi, 2017).

Kelongsoran dipengaruhi oleh faktor internal ataupun eksternal. Faktor internal yang memengaruhi kelongSORan, antara lain kondisi struktur geologi, kekuatan massa batuan, dan kondisi air tanah pada area tersebut, sedangkan faktor eksternal yang memengaruhi kelongSORan, antara lain masalah rancangan geometri lereng, getaran

pada proses peledakan, serta getaran-getaran lain yang ditimbulkan dari kendaraan tambang dan alat mekanis yang sedang beroperasi di area tersebut (Hermawan, 2017).

Dalam kegiatan pengambilan bahan galian, jika menggunakan alat mekanis tidak memungkinkan maka solusi untuk mengambilnya adalah dengan proses pemberaian batuan melalui kegiatan peledakan. Kegiatan peledakan merupakan salah satu tahapan penting yang dilakukan dalam kegiatan penambangan di Pit Batu Hijau PT AMNT, khususnya dalam proses pemberaian batuan. Tujuan dari kegiatan pemberaian batuan adalah untuk membongkar atau membebaskan batuan dari batuan induknya sehingga dapat mempermudah tahapan penambangan berikutnya. Energi yang dihasilkan pada saat terjadinya peledakan sebagian digunakan untuk membentuk fragmen batuan dan sebagian diteruskan pada massa batuan dalam bentuk gelombang seismik (Lucca, 2003; Hermawan, 2017).

Getaran tanah akibat peledakan adalah gerakan tanah (*ground motion*) yang terjadi akibat perambatan gelombang seismik. Gelombang seismik dibagi menjadi dua, yaitu gelombang badan atau gelombang yang menjalar pada massa batuan dan gelombang permukaan. Gelombang seismik akibat peledakan dirasakan sebagai getaran tanah (*ground vibration*). Getaran tanah ini pada tingkat tertentu bisa menyebabkan terjadinya kerusakan struktur di sekitar lokasi peledakan. Karena itu, keadaan bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh operasi peledakan tidak bisa diabaikan (Dowding, 1984; Maryura, 2014).

Getaran tanah yang diakibatkan dari kegiatan peledakan perlu dikontrol agar kondisi lereng tetap stabil. Dalam pengontrolan peledakan, hal yang diharapkan adalah tingkat kestabilan lereng tetap terjaga dan tidak terjadi rekahan pada dinding lereng akibat peledakan dalam jarak yang aman terhadap dinding lereng (Fadhly, 2014; Yuliadi, 2017).

Pada kegiatan pemantauan getaran tanah (*groud vibration*) di lapangan, data-data yang diperoleh berupa nilai *peak particle velocity* (PPV), *peak particle acceleration* (PPA), *peak particle displacement* (PPD), dan *frequency*. Data aktual hasil dari kegiatan pemantauan getaran peledakan ini juga digunakan untuk mengetahui hubungan percepatan horizontal dengan *scaled distance*. *Scaled distance* adalah parameter untuk dimensi jarak. *Scaled distance* dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak dan jumlah muatan bahan peledak per *delay*, sehingga nilai *scaled distance* dapat dijadikan sebagai aturan dalam melaksanakan kegiatan peledakan di area penambangan Pit Batu Hijau (Hermawan, 2017).

Besarnya nilai percepatan getaran sebagai faktor seismik ( $a_{maks}$ ) berhubungan dengan nilai *Peak Particle Acceleration* (PPA). Kesalahan yang sering dilakukan dalam analisis adalah menggunakan nilai PPA dari hasil pengukuran sebagai nilai  $a_{maks}$ , padahal nilai  $a_{maks}$  berbeda dengan nilai PPA (Arif, 2016). *Peak Particle Acceleration* (PPA) adalah nilai maksimal dari percepatan partikel yang bergerak pada gelombang getaran dari posisi nol meningkat ke maksimum dan kembali ke nol. PPA ditunjukkan dalam satuan  $mm/s^2$  atau dalam satuan ( $g$ , *acceleration of gravity*) (SNI 7571, 2010; Canima, 2018). Sedangkan percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) merupakan gelombang yang bergerak secara horizontal (longitudinal dan transversal). Efek getaran tanah pada kestabilan lereng adalah menambah gaya penggerak akibat percepatan horizontal. Percepatan horizontal yang dihasilkan oleh getaran dapat mengubah kondisi tegangan-tegangan material lereng sehingga apabila gaya penahan lebih kecil dari gaya penggerak, maka hal ini berpengaruh terhadap kestabilan lereng pit (Toha, 2019).

Getaran pada proses peledakan merupakan salah satu faktor eksternal yang cukup berpengaruh dalam memicu kelongsoran di PT AMNT. Beberapa kasus kelongsoran yang sering terjadi di PT AMNT diakibatkan oleh adanya getaran tanah dari proses peledakan yang dilakukan secara berkala dan berkelanjutan untuk memenuhi



target produksi yang telah ditentukan perusahaan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh getaran tanah (*ground vibration*) dan memberikan rekomendasi parameter getaran tanah (*ground vibration*) yang ideal pada proses peledakan terhadap kestabilan lereng tambang di PT Amman Mineral Nusa Tenggara.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian tugas akhir di PT Amman Mineral Nusa Tenggara adalah sebagai berikut.

1. Longsor atau keruntuhan dinding lereng diduga merupakan efek dari aktivitas peledakan, yaitu getaran tanah (*groud vibration*) yang dihasilkan.
2. Perangkat lunak *Blastware v.10* yang digunakan untuk mengambil data pemantauan getaran tanah tidak menyajikan data nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ), melainkan hanya data *peak particle acceleration* (PPA) sehingga harus diolah menggunakan sebuah persamaan untuk mendapatkan nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) yang akan disubstitusi menjadi nilai pembebanan seismik (*seismic load*) sebagai data masukan dalam pemodelan desain lereng.
3. Belum adanya acuan nilai getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) yang ideal untuk dijadikan pedoman dalam menentukan nilai *scaled distance* pada proses peledakan di PT AMNT.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian tugas akhir yang dilakukan di PT Amman Mineral Nusa Tenggara adalah sebagai berikut.

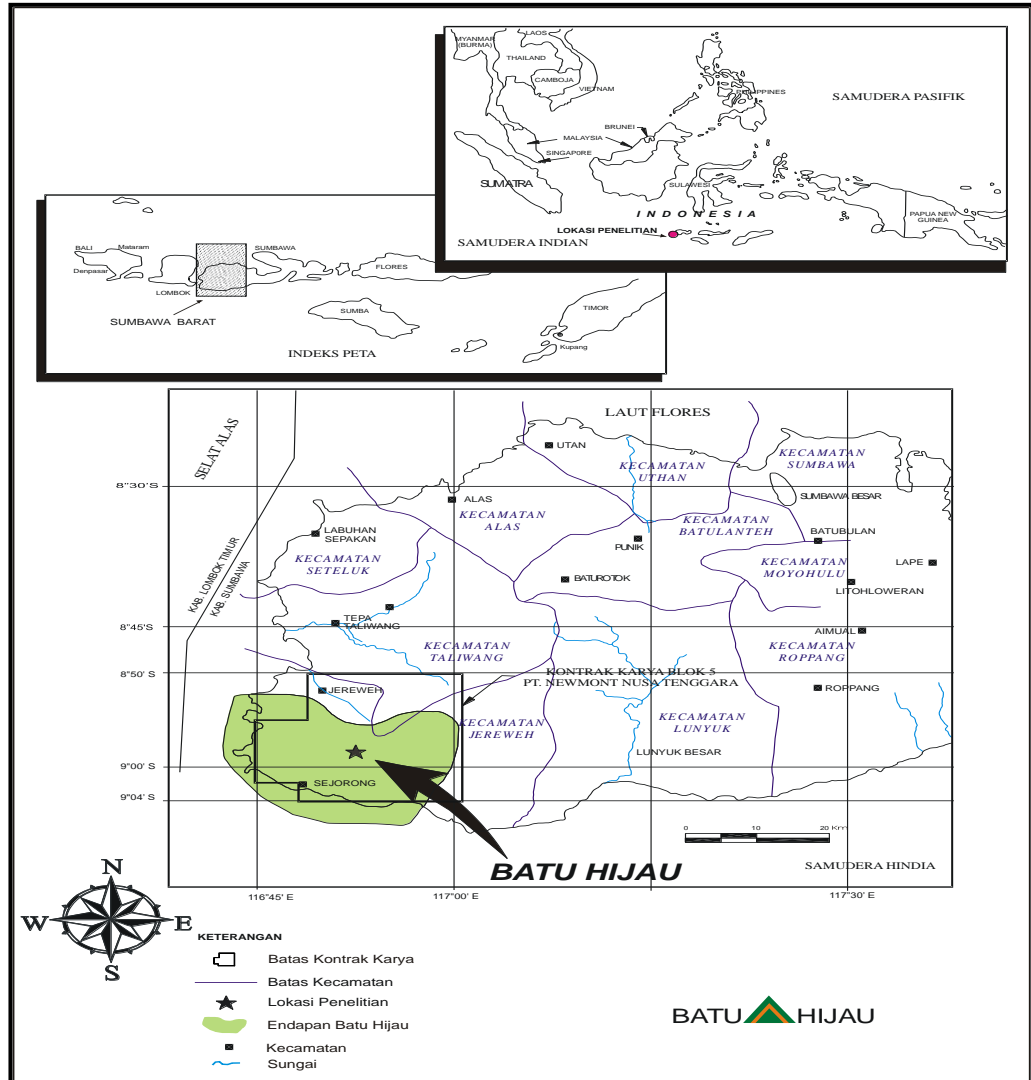
1. Menentukan nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) aktual di lapangan.
2. Menentukan korelasi antara nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) aktual di lapangan dan nilai faktor keamanan lereng.
3. Menentukan nilai *peak particle acceleration* (PPA) ideal dan nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) ideal yang dapat diterima oleh dinding lereng tambang di lokasi penelitian.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan penelitian untuk studi komparatif yang berkaitan dengan getaran tanah akibat proses peledakan yang berpengaruh pada stabilitas lereng.

#### **1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian**

Lokasi penambangan bijih tembaga dan emas PT Amman Mineral Nusa Tenggara secara administratif terletak di sebelah barat daya Pulau Sumbawa. Lokasinya berjarak sekitar  $\pm 15$  km dari garis pantai barat dan  $\pm 10$  km dari garis pantai selatan, tepatnya di Kecamatan Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB), dan secara astronomis terletak di  $116^{\circ}24'0''$  S -  $117^{\circ}0'0''$  S dan  $8^{\circ}50'0''$  E -  $9^{\circ}4'0''$  E.

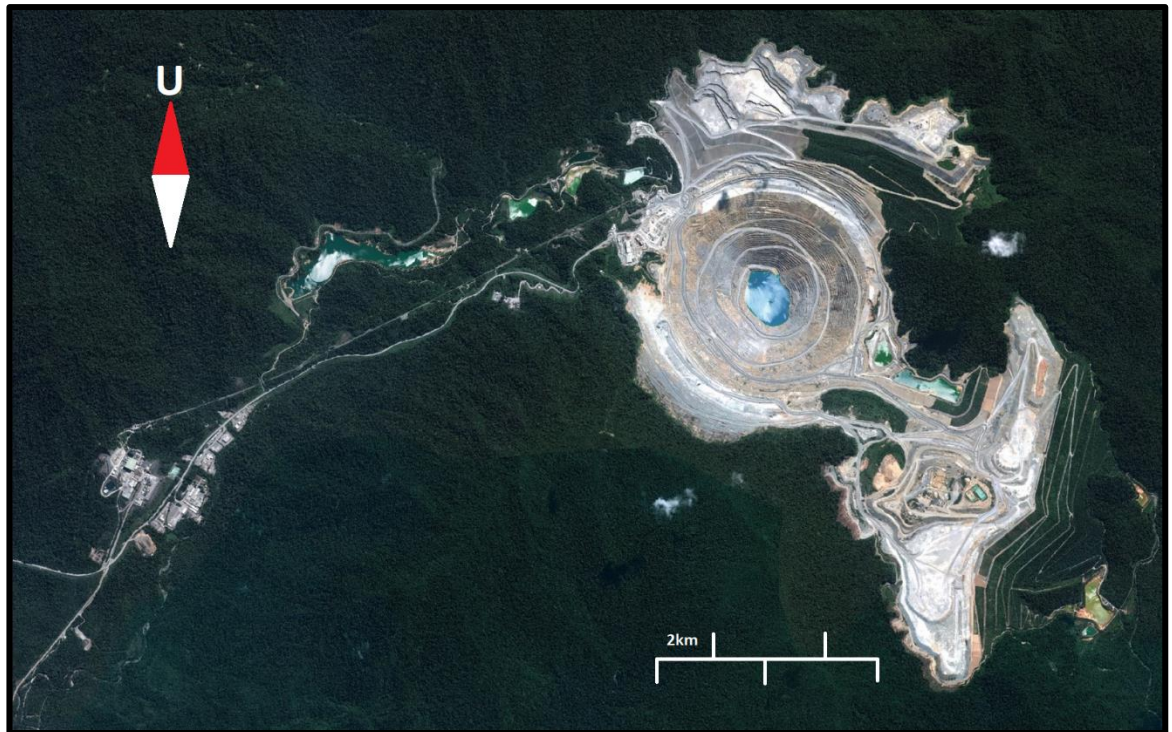


Gambar 1.1 Lokasi PT Amman Mineral Nusa Tenggara (Sumber: Dokumen PT Amman Mineral Nusa Tenggara, 2019)

Berikut ini merupakan beberapa opsi dan jalur yang dapat dilalui untuk menempuh lokasi proyek pertambangan Batu Hijau.

1. Perjalanan dapat ditempuh melalui jalur udara dengan menggunakan *Sea Plane* milik PT Amman Mineral Nusa Tenggara dari Bandara Internasional Ngurah Rai Denpasar (DPS) atau Bandara Internasional Lombok (LOP) menuju Pelabuhan Benete sesuai jadwal penerbangan yang telah ditentukan.
2. Perjalanan melalui jalur penyeberangan laut menggunakan *speed boat* milik PT Amman Mineral Nusa Tenggara dari Pelabuhan Kayangan menuju Pelabuhan Benete dengan memakan waktu  $\pm 2$  jam.

3. Perjalanan melalui jalur penyeberangan laut menggunakan kapal Feri dari Pelabuhan Kayangan ke Pelabuhan Pototano dengan memakan waktu  $\pm 2$  jam, kemudian perjalanan dilanjutkan melalui jalur darat dengan memakan waktu  $\pm 2$  jam.



Gambar 1.2 Foto udara proyek Pit Batu Hijau (Sumber: Dokumen *long term section* PT Amman Mineral Nusa Tenggara, 2019)

## 1.6 Tahapan Penelitian

Penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan. Berikut ini tahapan penelitian yang dilakukan.

1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah diperoleh setelah proses identifikasi masalah yang kemudian dikumpulkan dan dipisahkan berdasarkan kategori-kategori permasalahan. Setelah itu kategori permasalahan kemudian dikumpulkan, dipadukan, dan diurutkan membentuk

rumusan masalah. Masalah yang disimpulkan berupa pengaruh getaran tanah (*ground vibration*) pada proses peledakan terhadap kestabilan lereng.

## 2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dilakukan untuk mempersiapkan beberapa materi penunjang yang berkaitan dengan penelitian secara umum yang terdiri dari buku-buku referensi, jurnal, dan penelitian-penelitian terdahulu. Tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar pengolahan data penelitian tidak hanya dilakukan pada tahapan persiapan, tetapi juga pada tahapan penelitian di lapangan, pengolahan, dan analisis data, hingga pada tahap perampungan sebelum dilakukannya seminar penelitian.

## 3. Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder yang merupakan data penunjang penelitian.

### a. Data Primer

Kegiatan pengambilan data dilakukan di lokasi penelitian pada area pit Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara. Lokasi pengambilan data tepatnya berada pada area timur laut dinding timur Pit Batu Hijau Domain 1. Data yang diambil berupa data pemantauan getaran tanah dari kegiatan peledakan yang dilakukan di sekitar area penelitian dan data laboratorium hasil uji sifat fisik dan mekanis batuan.

### b. Data Sekunder

Data sekunder yang diambil merupakan data-data perusahaan, berupa data geologi regional daerah penelitian, data topografi lereng aktual, data pemantauan prisma, data geoteknik domain, dan data penunjang lainnya.

## 4. Pengolahan dan Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah dan dianalisis guna mencapai hasil dari tujuan penelitian ini. Data variabel yang diolah dalam penelitian ini adalah:

- a. geometri lereng dengan bantuan program perangkat lunak *Autocad 2017*;
- b. faktor keamanan lereng dihitung menggunakan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) pada perangkat lunak *Rocscience Slide v6.020*;
- c. data jarak pengukuran getaran dari lokasi peledakan dan takaran isian bahan peledak yang digunakan pada proses peledakan akan diolah menggunakan rumus persamaan untuk memperoleh nilai *scaled distance* (SD);
- d. data PPV dan *scaled distance* yang akan diolah untuk menentukan nilai konstanta peledakan ( $k, \alpha$ ) yang sesuai dengan kondisi massa batuan pada daerah penelitian;
- e. data PPA berdasarkan data pemantauan getaran tanah menggunakan perangkat lunak *Blastware v.10* dari kegiatan peledakan yang dilakukan di sekitar area penelitian yang digunakan untuk mencari nilai  $a_{maks}$  menggunakan rumus persamaan dari Wardhani Hermawan (2017). Nilai  $a_{maks}$  selanjutnya akan diolah menggunakan perangkat lunak *Rocscience Slide v6.020* untuk dimasukkan sebagai nilai beban seismik (*seismic load*);
- f. grafik korelasi antara nilai PPA dengan nilai  $a_{maks}$  dan grafik korelasi antara nilai  $a_{maks}$  dengan nilai FK lereng;
- g. saran/rekomendasi nilai PPA dan  $a_{maks}$  yang ideal digunakan untuk menjaga kestabilan lereng tambang pada daerah penelitian.

##### 5. Penyusunan Laporan

Tahap penyusunan laporan merupakan tahapan yang dilakukan setelah pengolahan dan analisis data. Seluruh hasil penelitian akan disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai aturan penulisan yang telah ditetapkan pada Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

## 6. Seminar dan Penyerahan Laporan

Penelitian ini akan dipresentasikan dalam seminar hasil dan ujian sidang setelah melalui penyempurnaan berdasarkan saran yang diperoleh dari dosen pembimbing. Kemudian laporan hasil penelitian ini akan diserahkan ke perpustakaan Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin sebagai bukti telah menyelesaikan mata kuliah skripsi.

## BAB II

# PENGARUH GETARAN TANAH (*GROUND VIBRATION*) TERHADAP KESTABILAN LERENG

### 2.1 Kegiatan Peledakan

Peledakan merupakan proses pembezaian batuan dalam volume yang besar menggunakan bahan peledak agar massa batuan mudah digali dan diangkut dengan alat mekanis. Peledakan dilakukan apabila penggalian menggunakan alat mekanis tidak memungkinkan lagi sehingga diperlukan suatu metode untuk membongkar material dari batuan induknya (Koesnaryo, 2001; Hermawan, 2017).

Selain memperhatikan target produksi, kegiatan peledakan juga harus memperhitungkan dampak dari peledakan itu sendiri terutama dalam hal getaran tanah (*ground vibration*) yang dapat menimbulkan efek negatif pada daerah sekitar jika melampaui standar yang telah ditetapkan (Situmorang, *et al.*, 2015). Peledakan dapat memberikan dampak yang penting pada perancangan jenjang suatu pit. Kerusakan akibat peledakan yang berlebihan dapat meluas hingga ke dinding batuan dan dapat meningkatkan *back break* dan sudut muka lereng yang lebih terjal.

Kondisi batuan dari suatu tempat ke tempat yang lain akan berbeda walaupun mungkin jenisnya sama. Hal ini disebabkan oleh proses genesa batuan yang akan memengaruhi karakteristik massa batuan secara fisik maupun mekanis. Perlu diamati pula kenampakan struktur geologi, misalnya retakan (*crack*), rekahan (*fissure*), atau bidang diskontinu lainnya. Kondisi geologi semacam itu akan memengaruhi kemampuan peledakan (*blastability*). Tentunya pada batuan yang relatif kompak dan tanpa didominasi struktur geologi seperti tersebut di atas, jumlah bahan peledak yang diperlukan akan lebih banyak untuk jumlah produksi tertentu dibanding batuan yang sudah ada



rekahannya. Jumlah bahan peledak tersebut dinamakan *specific charge* atau *powder factor* (PF), yaitu jumlah bahan peledak yang dipakai per meter kubik atau ton produksi batuan ( $\text{kg/m}^3$  atau  $\text{kg/ton}$ ). Dengan demikian, makin keras suatu batuan maka semakin tinggi kebutuhan PF yang akan digunakan agar kekuatan (*strength*) bahan peledak dapat melampaui besarnya tegangan batuan (Koesnaryo, 2001; Hermawan, 2017).

Menurut Koesnaryo (2001) di dalam bukunya "Teori Peledakan", suatu operasi peledakan dinyatakan berhasil dengan baik pada kegiatan penambangan apabila memenuhi kriteria berikut.

1. Target produksi terpenuhi (dinyatakan dalam ton/hari atau ton/bulan).
2. Penggunaan bahan peledak efisien yang dinyatakan dalam jumlah batuan yang berhasil dibongkar per kilogram bahan peledak (disebut *powder factor*).
3. Diperoleh fragmentasi batuan berukuran merata dengan sedikit bongkah (kurang dari 15% dari jumlah batuan yang terbongkar per peledakan).
4. Diperoleh dinding batuan yang stabil dan rata (tidak ada *overbreak*, *overhang*, retakan-retakan).
5. Aman terhadap para pekerja dan alat mekanis.
6. Dampak terhadap lingkungan (*flyrock*, getaran, kebisingan, gas beracun, debu) minimal.

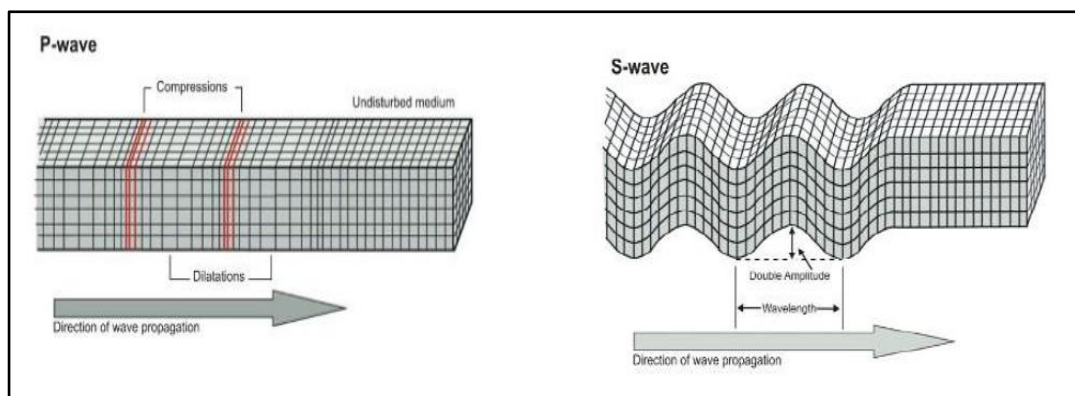
## **2.2 Gelombang Seismik**

Gelombang yang merambat adalah gangguan medium yang dapat berlanjut dengan sendirinya dari satu titik ke titik yang lainnya dengan membawa energi dan momentum. Gelombang mekanik adalah gelombang yang merambat melalui suatu medium, baik itu udara maupun tanah atau batuan. Gelombang mekanik terjadi ketika sebagian dari medium diganggu dari posisi keseimbangannya. Perambatan tegangan

pada daerah elastis akan menimbulkan gelombang elastis, disebut gelombang seismik (Richards dan Moore, 1994; Hermawan, 2017).

Gelombang seismik merupakan salah satu gelombang yang menggambarkan penjarangan energi melalui batuan yang padat. Salah satu penghasil gelombang seismik selain gempa bumi adalah getaran tanah akibat kegiatan peledakan. Gelombang seismik dibagi menjadi dua, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang seismik akibat peledakan dirasakan sebagai getaran tanah (*ground vibration*) (Richards dan Moore, 1994; Hermawan, 2017).

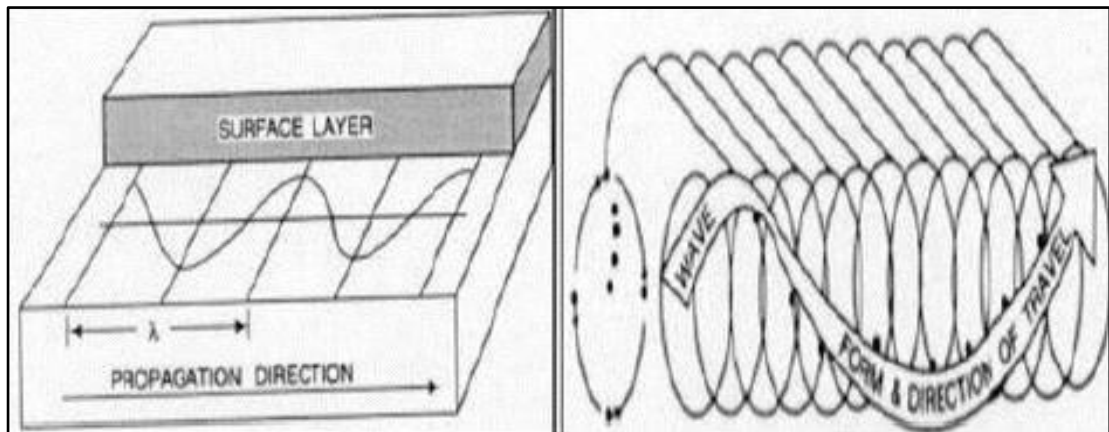
Gelombang badan merambat melalui massa batuan, menembus ke bagian dalam batuan. Gelombang badan dibagi menjadi dua, yaitu gelombang tekan (P), dan gelombang geser (S). Gelombang tekan (*longitudinal wave*) adalah jenis gelombang tekan-tarik, yang akan menghasilkan pemadatan (kompresi) dan pemuaian (dilatasi) pada arah yang sama dengan arah perambatan gelombang. Gelombang geser (*transversal wave*) adalah gelombang melintang (horizontal) yang bergerak tegak lurus pada arah perambatan gelombang (Lucca, 2003; Canima, 2018).



Gambar 2.1 Gelombang P dan S (Haris & Irjan, 2013)

Gelombang permukaan adalah gelombang yang merambat di atas permukaan batuan tetapi tidak menembus batuan. Kedalaman batuan yang dipengaruhi oleh gerak gelombang ini kira-kira satu panjang gelombang. Ada dua macam gelombang

permukaan, yaitu gelombang *Love* dan gelombang *Rayleigh*. Gerakan partikel pada gelombang *Love* mempunyai gerakan seperti pada gelombang transversal yang terpolarisasi secara horizontal. Gerakan partikel pada gelombang *Rayleigh* adalah berputar mundur dan vertikal terhadap arah perambatan gelombang (Lucca, 2003; Canima, 2018).



Gambar 2.2 Gelombang *love* (kiri) dan gelombang *rayleigh* (kanan) (Canima, 2018)

### 2.3 Getaran Tanah (*Ground Vibration*) Akibat Kegiatan Peledakan

Getaran tanah (*ground vibration*) adalah gelombang yang merambat dalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas peledakan (Berta, 1997; Hermawan, 2017). Getaran tanah ini pada tingkat tertentu bisa menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur bangunan dan mampu memengaruhi kestabilan lereng tambang. Menurut Koesnaryo (2001) dalam (Hermawan, 2017), ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi tingkat getaran tanah yang dihasilkan oleh kegiatan peledakan. Dari beberapa faktor tersebut, akan dibagi menjadi dua variabel.

1. Variabel yang dapat dikontrol

Variabel ini merupakan faktor-faktor yang dapat dikendalikan oleh kemampuan manusia dalam merancang suatu kegiatan peledakan untuk memperoleh hasil peledakan yang diharapkan. Faktor-faktor tersebut di antaranya adalah:

- a. Jenis bahan peledak
  - b. Total muatan bahan peledak per *delay*
  - c. Rancangan *tie up*
  - d. Jarak antara titik pengukuran getaran tanah dan lokasi peledakan
2. Variabel yang tidak dapat dikontrol

Variabel ini merupakan faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh kemampuan manusia yang disebabkan karena prosesnya terjadi secara alamiah. Faktor-faktor tersebut di antaranya adalah:

- a. Kondisi geologi seperti, air tanah, litologi, massa batuan dan lain-lain.
- b. Kondisi struktur geologi seperti, rekahan, retakan, patahan, lipatan, sisipan, dan lain-lain.

Perkiraan nilai getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan dapat dilakukan dengan menghubungkan hasil pengukuran getaran tanah dengan parameter-parameter peledakan yang memengaruhinya. Parameter-parameter tersebut adalah jarak dari lokasi peledakan ( $R$ ) dan jumlah bahan peledak yang meledak bersamaan ( $W$ ). US Bureau of Mines menyatakan hubungan tersebut dalam suatu konsep *peak particle velocity* (PPV) dan *scaled distance* (SD) seperti berikut (Rudini, 2012; Halimah & Octova, 2018).

$$SD = \frac{R}{\sqrt{W}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$PPV = k \times SD^{-\alpha} = k \times \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-\alpha} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

PPV = *Peak Particle Velocity* (mm/s)

- k = Koefisien peluruh getaran
- $\alpha$  = Konstanta kondisi massa batuan
- R = Jarak dari lokasi peledakan (m)
- W = Jumlah bahan peledakan yang meledak bersamaan (kg)
- SD = *Scaled Distance*
- = Perbandingan jarak dengan muatan bahan peledak per waktu tunda

Bentuk persamaan serupa juga berlaku untuk hubungan antara *peak particle acceleration* (PPA) dan *scaled distance* (SD) yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Arif, 2016).

$$PPA = k \times SD^{-\alpha} = k \times \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-\alpha} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- PPA = *Peak Particle Acceleration* (mm/s<sup>2</sup>)
- k = Koefisien peluruh getaran
- $\alpha$  = Konstanta kondisi massa batuan

Menurut Lucca (2003), hubungan antara PPV dan PPA juga dinyatakan dalam persamaan berikut (Princessca et. al, 2020).

$$acceleration = \frac{2\pi \times PPV \times f}{386,4} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- $\pi$  = 3,14159
- PPV = *Peak Particle Velocity* (mm/s)
- f = Frekuensi dari respons getaran (Hz)

Nilai k dan  $\alpha$  yang digunakan pada kedua persamaan di atas bukan merupakan nilai yang sama karena nilainya diperoleh dengan terlebih dahulu menentukan parameter mana yang akan digunakan (PPV atau PPA). Kedua parameter tersebut dapat diperoleh dari pengujian lapangan (Arief, 2016).

## 2.4 Pengaruh Getaran Peledakan terhadap Kekuatan Batuan

Selain menghasilkan efek hancuran pada batuan yang dinyatakan sebagai *disturbance factor* (D), energi dari proses peledakan juga menghasilkan gelombang seismik yang merambat di bawah permukaan bumi yang dikenal dengan getaran tanah. Getaran tanah yang dihasilkan akan memengaruhi kemantapan lereng karena getaran tanah tersebut akan menambah gaya pendorong lereng yang dapat memicu terjadinya longsor (Arif, 2016).

Hoek et. al. (2002) telah mengembangkan suatu kriteria keruntuhan yang dapat digunakan untuk menentukan kekuatan batuan yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma'_{ci}} + s \right) \alpha \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

$\sigma_{ci}$  = Kekuatan batuan utuh (*Intack rock*)/Nilai UCS (MPa)

$\sigma'_1$  = Tegangan efektif mayor

$\sigma'_3$  = Tegangan efektif minor

$m_b$  = Konstanta Hoek-Brown untuk massa batuan

$s, \alpha$  = Konstanta ( $s=1$  dan  $\alpha =0,5$  untuk batuan utuh)

Persamaan 2.4 menunjukkan bahwa diperlukan estimasi untuk  $\sigma_{ci}$ ,  $m_b$ ,  $s$ , dan  $\alpha$  agar kriteria keruntuhan untuk massa batuan dapat diperoleh. Konstanta  $m_b$ ,  $s$ , dan  $\alpha$  dapat diperkirakan dengan menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut.



$$m_b = m_i \exp \left[ \frac{GSI-100}{28-14D} \right] \quad (2.6)$$

$$s = \exp \left[ \frac{GSI-100}{9-3D} \right] \quad (2.7)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (2.8)$$

Konstanta  $m_b$  dan  $s$  dipengaruhi oleh nilai  $D$ . *Disturbance factor* ( $D$ ) merupakan faktor yang menunjukkan tingkat ketergangguan batuan akibat aktivitas peledakan. Nilai  $D$  tersebut berada pada rentang 0 untuk kondisi massa batuan tak terganggu, sampai dengan 1 untuk kondisi massa batuan dengan tingkat ketergangguan tinggi. Petunjuk untuk pemilihan nilai  $D$  dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Faktor gangguan  $D$  pada tambang terbuka (Hoek dan Brown, 2018)

Kenampakan massa batuan	Deskripsi massa batuan	Nilai $D$
	<p>Peledakan skala kecil di lereng teknik sipil menghasilkan kerusakan massa batuan ringan saat peledakan terkontrol digunakan, seperti yang ditunjukkan di sisi kiri foto. Peledakan produksi yang tidak terkontrol dapat mengakibatkan kerusakan signifikan pada permukaan batuan.</p>	<p><math>D^{1/4} = 0,5</math> untuk presplit terkontrol atau <i>smooth wall blasting</i></p> <p><math>D^{1/4} = 1.0</math> untuk peledakan produksi</p>
	<p>Pada beberapa massa batuan yang lemah, penggalian dapat dilakukan dengan <i>ripping</i> dan <i>dozing</i>. Kerusakan lereng terutama disebabkan oleh <i>stress relief</i>. Lereng tambang terbuka yang sangat besar mengalami gangguan yang signifikan akibat peledakan produksi yang berat dan <i>stress relief</i> akibat pemindahan lapisan penutup.</p>	<p><math>D^{1/4} = 0,7</math> untuk efek penggalian mekanis dari pengurangan stres</p> <p><math>D^{1/4} = 1.0</math> untuk peledakan produksi</p>

Ketiga konstanta di atas ( $m_b$ ,  $s$ , dan  $\alpha$ ) dipengaruhi pula oleh GSI. Berdasarkan Hoek, Carter, dan Diederichs (2013), nilai GSI dapat dikuantifikasi melalui persamaan berikut.







$$GSI = 1.5 JCond_{89} + RQD/2 \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan

$J_{Cond89}$  = nilai dari kondisi bidang lemah yang didefinisikan oleh Bienieawski (1989)

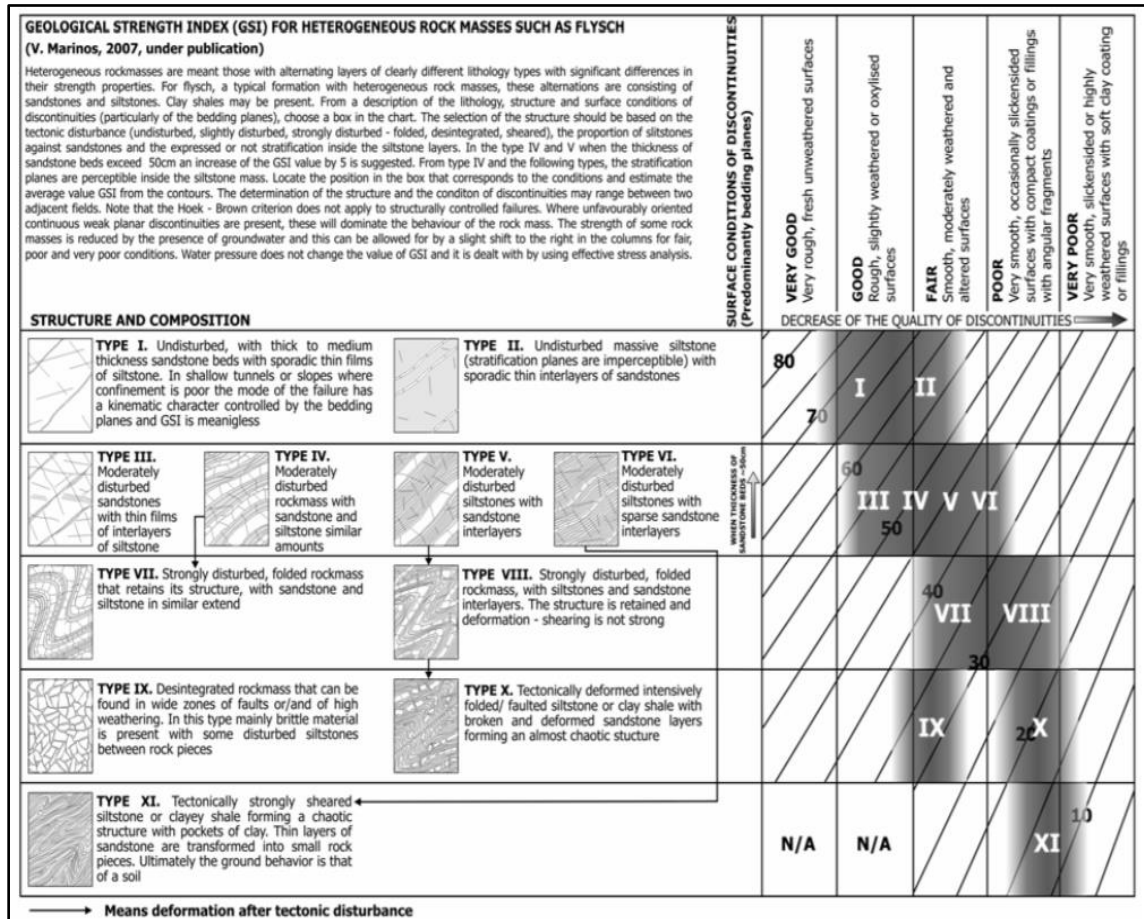
RQD = Persentase panjang *core* utuh yang lebih dari 10 cm terhadap panjang total *core run*.

*Geological Strength Index* (GSI) merupakan sistem karakterisasi massa batuan yang dikembangkan oleh Hoek pada tahun 1994 dan Hoek et. al. tahun 1995 yang bertujuan untuk menghubungkan kriteria keruntuhan dengan pengamatan geologi di lapangan. GSI memberikan angka-angka yang dapat dikombinasikan dengan karakteristik batuan utuh untuk memprediksi pengurangan dalam kekuatan massa batuan pada berbagai kondisi geologi. Penggunaan GSI dapat dilihat pada Gambar 2.3 untuk massa batuan *blocky* dan pada Gambar 2.4 untuk massa batuan heterogen (Hoek dan Brown, 2018).

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE—intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90				
	BLOCKY—well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY—interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY—folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40		
	DISINTEGRATED—poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED—Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					10
DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓						

Gambar 2.3 GSI untuk batuan *blocky* (Hong et. al, 2017)





Gambar 2.4 *Geological strength index for heterogeneous rock such us flysch* (Marinos, 2014)

## 2.5 Percepatan Getaran Horizontal Maksimum ( $a_{maks}$ )

Getaran yang dihasilkan dari aktivitas peledakan dapat memengaruhi kestabilan lereng tambang. Ketika peledakan terjadi, gelombang seismik yang timbul akan menghasilkan gangguan pada massa batuan dan merambat dalam bentuk gelombang tekan dan gelombang geser (*body wave*). Besarnya gelombang tekan maksimum (*stress wave peak*) pada area yang dekat dengan sumber ledakan melebihi kekuatan tarik batuan sehingga batuan hancur dan menghasilkan zona hancuran (*crushed zones*), zona rekahan (*fracture zone*), atau *blasting damage*. Sementara itu, pada area yang jauh dari sumber ledakan di mana gelombang tekan maksimumnya lebih kecil dari kekuatan tarik batuan, ledakan menghasilkan gelombang tegangan elastis, gelombang seismik, getaran

elastis dari partikel batuan yang akan menyebabkan kerusakan pada batuan dan dapat mengakibatkan ketidakstabilan lereng (Arif, 2016).

Faktor keamanan sering digunakan untuk menilai kestabilan lereng. Pada suatu lereng tambang akan bekerja gaya pendorong dan gaya penahan. Gaya pendorong adalah gaya tangensial dari berat massa tanah dan batuan, sedangkan gaya penahan berupa tahanan geser tanah dan batuan. Lereng tambang akan runtuh apabila gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan (Abramson, 2001; Arif, 2016).

Secara sederhana, nilai FK dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan (*resisting forces*) dan gaya penggerak (*driving forces*) sebagai berikut (Mandal, *et al.* 2017).

$$Faktor\ Keamanan\ (FK) = \frac{\Sigma\ Gaya\ Penahan}{\Sigma\ Gaya\ Pendorong} \dots\dots\dots(2.10)$$

Lereng dapat dikatakan stabil apabila nilai  $FK > 1$ , dan jika nilai  $FK < 1$  maka dikatakan lereng dalam kondisi tidak stabil. Nilai  $FK = 1$  merupakan kondisi kritis yang dapat mempengaruhi kuat geser pada lereng (Mandal, *et al.* 2017).

Gaya penggerak yang bekerja pada massa batuan yang akan longsor dapat dinyatakan sebagai berikut (Arif, 2016; Rizka, *et al.* 2017).

$$F_{penggerak} = w \cdot \sin \psi + m \cdot a \cos \psi \dots\dots\dots(2.11)$$

$$F_{penahan} = c \cdot A + (w \cdot \cos \psi - m \cdot a \sin \psi) \tan \phi \dots\dots\dots(2.12)$$

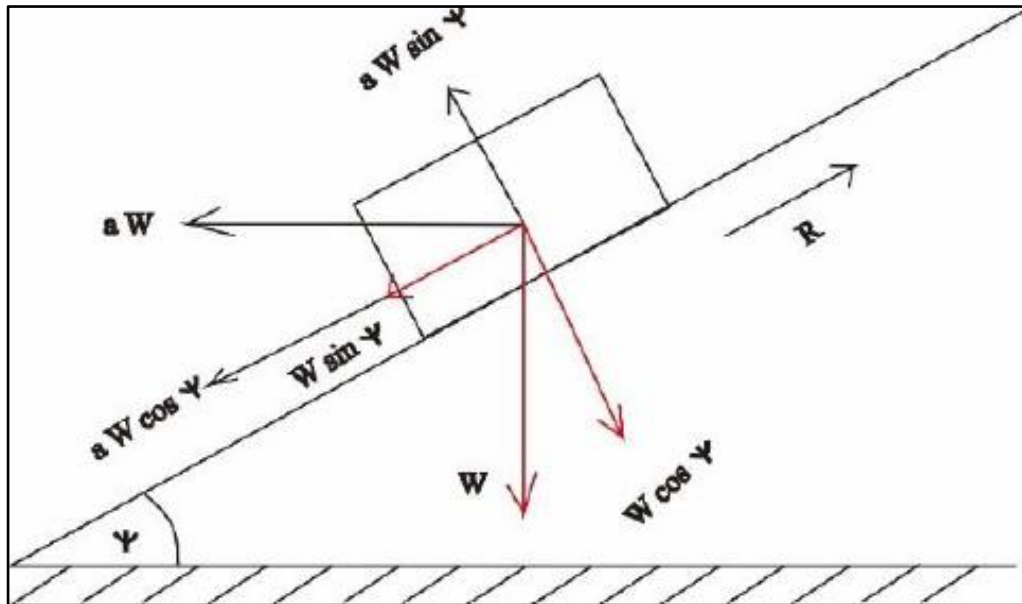
Keterangan:

A = Luas permukaan dasar bidang yang akan longsor

a = Percepatan horizontal (g)

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa jika lereng menerima getaran tanah hasil peledakan sebesar a, massa batuan akan mengalami penambahan gaya penggerak

dan pengurangan gaya penahan (Gambar 2.5). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa percepatan horizontal menyebabkan berkurangnya kemantapan suatu lereng.



Gambar 2.5 Pengaruh kesetimbangan terhadap percepatan gaya (Arif, 2016)

Besarnya nilai percepatan getaran sebagai faktor seismik ( $a_{maks}$ ) berhubungan dengan nilai *Peak Particle Acceleration* (PPA). Kesalahan yang sering dilakukan dalam analisis adalah menggunakan nilai PPA dari hasil pengukuran sebagai nilai  $a_{maks}$ , padahal nilai  $a_{maks}$  berbeda dengan nilai PPA.

Kenyataannya nilai  $a_{maks}$  tidak didapat dari pengukuran dan masih belum ada cara sederhana yang dapat diterima secara universal untuk menghitungnya. Nilai  $a_{maks}$  yang digunakan dalam analisis hanyalah nilai perkiraan. Perhitungan besarnya nilai  $a_{maks}$  diusulkan oleh beberapa penulis, mayoritas berdasarkan analisis balik dari kasus yang sebenarnya dan kumpulan data empiris.

Tabel 2.2 Rekomendasi nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) oleh beberapa ahli

Peneliti	Rekomendasi nilai amaks
Seed (1979)	13% - 20% dari PPA
Marcuson (1981)	$\frac{1}{3}$ dan $\frac{1}{2}$ dari PPA
Matsuo (1984)	0,65 dari nilai PPA
Wong (1992)	$z \times PPA$
Hermawan (2017)	$\sqrt{ax^2 + ay^2}$

Untuk menghubungkan parameter peledakan terhadap nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ), sebagai koefisien seismik dalam analisis kestabilan lereng, (Wong, 1992; Arif, 2016) melakukan pendekatan antara nilai percepatan getaran horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) dan PPA dengan menggunakan persamaan berikut.

$$a_{maks} = z \times PPA \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

$a_{maks}$  = Percepatan horizontal maksimum (g)

$z$  = Koefisien peledakan yang diperoleh dari respon analisis.

PPA = *Peak Particle Acceleraton* (g)

Nilai  $z$  dalam persamaan di atas merupakan nilai koefisien yang diperoleh dari hasil korelasi antara nilai *peak particle velocity* dan *scale distance*. Nilai koefisien ini akan berbeda pada tiap-tiap jenis batuan yang diuji.

Menurut Hermawan (2017), untuk menentukan nilai percepatan horizontal maksimum ( $a_{maks}$ ) dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$a_{maks} = \sqrt{ax^2 + ay^2} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan:

$ax^2$  = Gelombang Longitudinal dari PPA

$ay^2$  = Gelombang Transversal dari PPA

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa terdapat dua faktor yang memengaruhi kestabilan lereng akibat peledakan. Kedua faktor tersebut ialah *disturbance factor* (D) yang akan mengurangi kekuatan batuan dan faktor seismik akibat peledakan yang akan menambah pembebanan lereng. Keduanya akan mengurangi nilai FK yang mengindikasikan berkurangnya kemantapan lereng (Arif, 2016).