

SKRIPSI

**PENERAPAN MIKROSEISMIK METODE HVSR UNTUK
PEMANTAUAN PERILAKU BATUAN DAMPAK DARI
AKTIFITAS PENAMBANGAN BAWAH TANAH**

***ANALYSIS OF ROCK BEHAVIOUR EFFECT OF
UNDERGROUND MINING AND LOCAL EARTHQUAKE BY
VULNERABILITY INDEX HVSR METHOD***

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memenuhi gelar Sarjana Strata Satu (S1)
Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta



AKARU FARIDENTITO

115 150 059

**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA**

2019

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

PENERAPAN MIKROSEISMIK METODE HVSR UNTUK PEMANTAUAN PERILAKU BATUAN DAMPAK DARI AKTIFITAS PENAMBANGAN BAWAH TANAH

Telah dipersiapkan dan disusun oleh

AKARU FARIDENITO
115 150 059

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 18 Desember 2019

Susunan Tim Penguji

Pembimbing I

Penguji I

Wiji Raharjo, S.Si., M.Si.
NIP. 19870206 201903 1 012

Muhammad Faizal Z., S.Si., MT.
NIP. 19881218 201803 1 001

Pembimbing II

Penguji II

Indriati Retno Palupi, S.Si., M.Si.
NIP. 19861013 201903 2 010

Wrego Seno G., ST., M.Sc.
NIP. 19861213 201903 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Ir. Firdaus Maskuri, M.T.
NIP. 19580822.199203.1001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya menyatakan bahwa judul dan keseluruhan isi dari skripsi adalah asli karya ilmiah saya, dengan ini saya menyatakan bahwa dalam rangka menyusun, berkonsultasi dengan dosen pembimbing hingga menyelesaikan skripsi ini, tidak melakukan penjiplakan (plagiasi) terhadap karya orang atau pihak lain baik karya lisan maupun tulisan, baik secara sengaja maupun tidak sengaja.

Saya menyatakan bahwa apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini mengandung unsur penjiplakan (plagiasi) dari karya orang atau pihak lain, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, diluar tanggung jawab Dosen Pembimbing. Oleh karenanya saya sanggup bertanggung jawab secara hukum dan bersedia dibatalkan/dicabut gelar kesarjanaan saya oleh Otoritas/Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta dan diumumkan kepada khalayak ramai.

Yogyakarta, 18 Desember 2019

Yang Menyatakan,

Akaru Faridenito

Nomor HP/Telepon : +62-812-1227-3320

Alamat E-mail : akaru.faridenito@gmail.com

Nama dan Alamat Orang Tua : Ika Karuni

Jalan Pondok Jaya X no 24 010/006 Pela Mampang,
Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, DKI Jakarta.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dihaturkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi ini dengan baik dan penuh pelajaran. Tidak lupa pula penulis berterima kasih untuk pihak pihak yang membantu secara langsung maupun tidak langsung, diantaranya adalah:

1. Ayah, ibu dan adik adik saya yang turut banyak membantu secara moral, material, doa doa yang diberikan, motivasi serta semangat yang tak pernah lepas dari awal hingga akhir.
2. Bapak Wiji Raharjo, S.Si., M.Sc. sebagai pembimbing I penulis dan bapak Indriati Retno P, S.Si., M.Si. sebagai pembimbing II penulis yang telah dengan tulus membimbing dan memberikan masukan kepada penulis hingga skripsi ini dapat ditulis hingga selesai.
3. PT Freeport Indonesia tempat penulis mendapatkan data dan melakukan penelitian tugas akhir. Selain itu juga Departemen UG Geotech dan seluruh jajarannya, dan juga UG Geotech Monitoring beserta staf dan krunya.
4. Seluruh jajaran dosen dan staf kependidikan yang ada di Jurusan Teknik Geofisika yang banyak membantu secara langsung maupun tidak langsung selama pelaksanaan kuliah penulis.
5. Keluarga Magneto Teknik Geofisika 2015 atas kesempatan menjadi bagian dari keluarga harmonis.
6. Pihak pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu dalam ucapan terima kasih ini yang tentunya membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan skripsi ini. Nama kalian tetap tersebut dalam hati penulis, sekarang dan selama lamanya.

Yogyakarta, 18 Desember 2019

Akaru Faridenito

ABSTRAK

PENERAPAN MIKROSEISMIK METODE HVSR UNTUK PEMANTAUAN PERILAKU BATUAN DAMPAK DARI AKTIFITAS PENAMBANGAN BAWAH TANAH

Oleh:

Akaru Faridenito

115 150 059

Tambang bawah tanah masih memiliki permasalahannya sendiri, salah satunya adalah dalam pemantauan perilaku batuan. Sama halnya seperti di permukaan, gempa bumi masih belum dapat diprediksi. Dalam hal tambang bawah tanah, tantangan yang dimiliki adalah pemantauan tekanan dari batuan tersebut. Pemantauan tekanan secara tidak langsung dapat dilakukan dengan metode mikroseismik.

Nakamura pada tahun 1989 menyimpulkan suatu teori yang dapat memungkinkan memantau karakter dinamis dari batuan menggunakan *Ambient Noise*. Metode tersebut merupakan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*. Dari metode tersebut kita dapat mendapatkan nilai faktor amplifikasi dan frekuensi dominan dari geologi lokal. Kemudian dari faktor amplifikasi dan frekuensi dominan didapatkan nilai Indeks Kerentanan Seismik. Nakamura menyimpulkan persamaan bahwa Indeks Kerentanan Seismik berbanding lurus dengan regangan geser yang mana regangan geser berbanding lurus dengan tegangan geser seperti yang disebutkan Bieniawski. Hal ini memungkinkan bahwa Indeks Kerentanan Seismik menjadi parameter untuk pemantauan karakter dinamis batuan. Indeks Kerentanan seismik didapatkan dari Faktor Amplifikasi dibagi dengan Frekuensi Dominan.

Dari hasil penelitian ini, Indeks Kerentanan Seismik terbesar berada pada daerah DMLZ yang merupakan tambang bawah tanah pada daerah 1,5 km dibawah permukaan yaitu 41.272 dimana memiliki tingkat seismisitas terbesar pada saat penelitian. Didapatkan dari hasil penelitian ini nilai regresi linear dari Indeks Kerentanan Seismik dengan Momen Magnitud pada daerah DMLZ yaitu $y = 40.609x + 145.35$ sedangkan pada daerah GBC $y = 6.1649x + 4.93$. Hal ini dapat direkomendasikan untuk penelitian mengenai pemantauan batuan di daerah yang tidak stabil. Dari garis linear tersebut, terdapat kecocokan antara Indeks Kerentanan Seismik maupun regangan geser dengan besaran Momen Magnitudo pada daerah DMLZ. Hal ini dapat memungkinkan melakukan pemantauan tekanan secara tidak langsung dengan nilai Indeks Kerentanan Seismik untuk melakukan tindakan pendahuluan pada saat kenaikan nilai tersebut. Di lain sisi, pada daerah GBC tidak menggambarkan hubungan Indeks Kerentanan Seismik dengan baik. Hal ini dikarenakan variasi energi dari besaran momen magnitudo tidak besar, sehingga perbedaan nilai Indeks Kerentanan Seismik dan regangan geser juga tidak besar.

Kata Kunci : mikroseismik, hvsr, pemantauan karakter batuan.

ABSTRACT

APPLICATION MICROSEISMIC METHOD OF HVSR FOR MONITORING OF BEHAVIORAL ROCK IMPACTS OF UNDERGROUND MINING ACTIVITIES

By:

Akaru Faridenito

115 150 059

Underground mines still have their own problems, one of them is in monitoring rock behaviour. Just like on surface, earthquakes are still not predictable. In the case of underground mines, the challenge is the pressure monitoring of the rocks. Indirect pressure monitoring can be done by microseismic methods.

Nakamura in 1989 concluded a theory that could allow monitoring the dynamic characters of rocks using Ambient Noise. The method is Horizontal to Vertical Spectral Ratio. From these methods we can get the value of amplification factor and the dominant frequency of local geology. Then the amplification factor and the dominant frequency obtained by the seismic Vulnerability index. Nakamura concluded the equation that the seismic vulnerability index is directly proportional to the shear strain it is proportional to the shear stress as mentioned by Bieniawski. This allows that the seismic vulnerability index can be a parameter for the monitoring of rock dynamic characters. Seismic vulnerability index obtained from amplification factor divided by dominant frequency.

From the results of this research, the largest seismic vulnerability index was located in the DMLZ area exactly in 1.5 km under the surface which is 41,272 where it has the largest seismicity rate at the time of research. From the results of this study the linear regression value of the seismic vulnerability index with a moment of Magnitud in the DMLZ region is $y = 40.609 x + 145.35$ whereas on the GBC y region = $6.1649 x + 4.93$. It can be recommended for research on rock monitoring in unstable areas. From the linear line, there is a match between the seismic vulnerability index and a sliding strain with the magnitude of the moment in the DMLZ region. This could allow for indirect pressure monitoring with the seismic vulnerability index value to perform preliminary actions at the time of the increase in the value. On the other hand, the GBC area does not describe a good seismic vulnerability index relationship. This is because the energy variation of the magnitude of the moment is not large, so the difference in the seismic vulnerability index value and the shear strain is also not large.

Key Words: *microseismic, hvsr, rock monitoring.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiv
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Regional	4
2.2 Geologi Lokal.....	5
2.2.1 <i>Deep Mill Level Zone</i>	5
2.2.2 <i>Grasberg Block Cave</i>	8
2.3 Stratigrafi.....	10
2.4 Struktur Geologi.....	11
2.5 Penelitian Terdahulu	11
2.5.1 <i>Application of Microseismic Monitoring in Underground Block Caving Mine</i>	11
2.5.2 <i>A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface</i>	12
 BAB III. DASAR TEORI	
3.1 Gelombang Seismik	14

3.1.1 Prinsip Huygens	14
3.1.2 Asas Fermat	15
3.1.3 Gelombang Primer	15
3.1.4 Gelombang Sekunder.....	16
3.1.5 Gelombang Love.....	17
3.1.6 Gelombang Rayleigh	17
3.2 Transformasi Fourier, DFT, dan FFT	18
3.2.1 Transformasi Fourier	18
3.2.2 <i>Discrete Fourier Transform</i> (DFT)	19
3.2.3 FFT (<i>Fast Fourier Transform</i>).....	20
3.3 Horizontal to Vertical Spectral Ratio.....	21
3.4 Amplifikasi.....	23
3.5 Frekuensi Dominan	23
3.6 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)	24
3.7 Sistem Penambangan <i>Block Caving</i>	25
3.8 Perilaku Tegangan – Regangan.....	26
3.9 Momen Seismik	27
3.10 Momen Magnitud Hanks dan Kanamori.....	28
3.11 Energi Seismik	28
3.12 Regresi Linear	30

BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1 Alur Kerja Penelitian.....	31
4.1.1 <i>Pre-processing</i>	31
4.1.2 Pengolahan data	33
4.1.3 Kontrol data	34
4.1.4 Interpretasi	35
4.2 Peta Survei Penelitian	36
4.3 Instrumen Akuisisi	36
4.4 Ketersediaan Data	37

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Sensor XPLOR-2	38
5.2 Sensor GrasbergBB	39
5.3 Sensor EFD SGM.....	40
5.4 Sensor SGM EXRFGCH.....	41
5.5 Sensor BG SGM.....	42
5.6 Regresi Indeks Kerentanan Seismik vs Momen Magnitud	43
5.7 Regresi Regangan Geser vs Momen Magnitud.....	45

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	48
6.2 Saran.....	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Distrik Pertambangan Ertsberg (Sunyoto, G, & De Jong, 2015)	4
Gambar 2.2 Area Ekstrasi <i>Deep Mill Level Zone</i> (Sunyoto, G, & De Jong, 2015)	7
Gambar 2.3 Peta Geologi distrik pertambangan (Sunyoto, G, & De Jong, 2015) .	9
Gambar 3.1 Prinsip Huygens (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990).....	14
Gambar 3.2 Prinsip Fermat (N, Reading, Abdullah, & Kennet, 2006)	15
Gambar 3.3 <i>Ilustrasi Gerak Gelombang P</i> (Lay & Wallace, 1995).....	16
Gambar 3.4 <i>Ilustrasi Gerak Gelombang S</i> (Lay & Wallace, 1995).....	17
Gambar 3.5 <i>Ilustrasi Gerak Gelombang Love</i> (Lay & Wallace, 1995).....	17
Gambar 3.6 <i>Ilustrasi Gerak Gelombang Rayleigh</i> (Lay & Wallace, 1995)	18
Gambar 3.7 Regangan Permukaan	24
Gambar 3.8 Metode Penambangan <i>Block Caving</i> (Siswanto, 2018).....	26
Gambar 3.9 Kurva tegangan regangan (Bieniawski, 1967).....	27
Gambar 3.10 Hubungan antara perpindahan dengan partikel pada patahan (Lay & Wallace, 1995)	28
Gambar 3.11 Energi Seismik vs Momen Magnitud (Gibowicz S. J., 2006)	29
Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 4.2 Kondisi data yang sudah diberikan informasi sesuai kondisi sensor pada saat pengukuran.....	33
Gambar 4.3 Data yang sudah dilakukan <i>windowing</i>	33
Gambar 4.4 Contoh kurva H/V.....	34
Gambar 4.5 Perbedaan Mikroseismik dengan <i>Microtremor</i> (Bard, 2004).....	35

Gambar 4.6 Peta Survei Penelitian	36
Gambar 4.7 Data dalam format .SG2	37
Gambar 5.1 Interpretasi data sensor Xplor-2.....	38
Gambar 5.2 Interpretasi data sensor GrasbergBB	39
Gambar 5.3 Interpretasi data sensor EFD SGM	40
Gambar 5.4 Interpretasi Data Sensor EXRFCH	41
Gambar 5.5 Interpretasi Data Sensor BG SGM	42
Gambar 5.6 Regresi Indeks Kerentanan Seismik vs Momen Magnitud DMLZ ..	44
Gambar 5.7 Regresi Indeks Kerentanan Seismik vs Momen Magnitud GBC	45
Gambar 5.8 Regresi Regangan Geser vs Momen Magnitud DMLZ	46
Gambar 5.9 Regresi Regangan Geser vs Momen Magnitud GBC	47

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hubungan indeks kerentanan seismik dengan regangan geser	35
---	----

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan Nama

HVSR	<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>
DMLZ	<i>Deep Mill Level Zone</i>
GBC	<i>Grasberg Block Caving</i>
DFT	Discrete Fourier Transform
FFT	Fast Fourier Transform

Lambang

A_0	Amplifikasi
f_0	Dominan Frekuensi
λ	Modulus Bulk
μ	<i>Shear Modulus</i>
ρ	Densitas
V_p	Kecepatan Gelombang P
V_s	Kecepatan Gelombang S
$F(\omega)$	Transformasi Fourier
A_g	Faktor Amplifikasi
K_g	Indeks Kerentanan Seismik
M_w	Momen Magnitud