

**ANALISIS LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN  
GROUND PROFILES KECEPATAN GELOMBANG GESER DENGAN  
METODE *ELLIPTICITY CURVE* DI KAWASAN SESAR OPAK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

Diajukan oleh:

Muhammad Firman Maulana

18106020016

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2022**

# PENGESAHAN TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1838/Un.02//PP.00.9/08/2022

Tugas Akhir dengan judul : Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode Ellipticity Curve Di Kawasan Sesar Opak

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MUHAMMAD FIRMAN MAULANA  
Nomor Induk Mahasiswa : 18106020016  
Telah diujikan pada : Kamis, 11 Agustus 2022  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 6303fda2c7972



Penguji I

Nugroho Budi Wibowo, S.Si., M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 63032d4c47e3d



Penguji II

Andi, M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 63015fe5643b5



Yogyakarta, 11 Agustus 2022  
UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 630447521f686

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Firman Maulana  
NIM : 18106020016  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan *Ground Profiles* Kecepatan Gelombang Geser Dengan Metode *Ellipticity Curve* Di Kawasan Sesar Opak ” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 21 Juli 2022

Penulis



Muhammad Firman Maulana

18106020016

## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

### SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada  
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Muhammad Firman Maulana  
NIM : 18106020016  
Judul Skripsi : ANALISIS LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN *GROUND PROFILES* KECEPATAN GELOMBANG GESER DENGAN METODE *ELLIPTICITY CURVE* DI KAWASAN SESAR OPAK

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 28 Juli 2022

Pembimbing

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si

NIP. 19771025 200501 1 004



**ANALISIS LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN  
GROUND PROFILES KECEPATAN GELOMBANG GESER DENGAN  
METODE *ELLIPTICITY CURVE* DI KAWASAN SESAR OPAK**

**MUHAMMAD FIRMAN MAULANA**

**18106020016**

**INTISARI**

Penelitian analisis litologi bawah permukaan berdasarkan *ground profiles* kecepatan gelombang geser telah dilakukan menggunakan 10 data primer dan 20 data sekunder yang bersumber dari BMKG. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis litologi bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dari pemodelan *ground profiles*. Pemodelan *ground profiles* dilakukan menggunakan metode *ellipticity curve* dengan parameter input utama yaitu kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S, densitas, dan rasio poisson. Hasil penelitian menunjukkan nilai  $V_s$  pada Formasi Merapi Muda bervariasi antara 108,25 m/s s.d 1390,83 m/s dengan dominasi batuan pasir dan breksi. Nilai  $V_s$  pada Formasi Nglanggran bervariasi antara 135,92 m/s s.d 2311,67 m/s dengan dominasi batuan leleran lava tak terpisahkan. Nilai  $V_s$  pada Formasi Semilir bervariasi antara 182,84 m/s s.d 1960,34 m/s dengan dominasi batu dasit dan andesit. Nilai  $V_s$  pada Formasi Wonosari bervariasi antara 219,44 m/s s.d 1027,04 m/s dengan dominasi batu gamping. Nilai  $V_s$  pada Formasi Sambipitu bervariasi antara 146,15 m/s s.d 1170,44 m/s dengan dominasi batu lanau dan pasir. Nilai  $V_s$  pada Formasi Aluvium bervariasi antara 164,68 m/s s.d 836,41 m/s dengan dominasi lanau dan lempung.

**Kata Kunci:** *Ellipticity curve*, *ground profiles*, litologi, kecepatan gelombang geser.

**SUBSURFACE LITHOLOGY ANALYSIS BASED ON SHEAR-WAVE  
VELOCITY GROUND PROFILES WITH ELLIPTICITY CURVE METHOD  
IN OPAK FAULT AREA**

**MUHAMMAD FIRMAN MAULANA**

**18106020016**

**ABSTRACT**

*Subsurface lithology analysis based on shear-wave velocity ground profiles research have been done using 10 primary data and 20 secondary data from BMKG. The purpose of this research is analyzing subsurface lithology based on shear-wave velocity value from ground profiles modeling. The ground profiles modeling used ellipticity curve method with primary input parameter in the form of P-wave velocity, S-wave velocity, density, and poisson ratio. The results showed that the Vs value of Merapi Muda Formation varied between 108,25 m/s to 1390,83 m/s dominated by sandstone and breccia. The Vs value of Nglanggran Formation varied between 135,92 m/s to 2311,67 m/s dominated by lava flows. The Vs value of Semilir Formation varied between 182,84 m/s to 1960,34 m/s dominated by dacite and andesite. The Vs value of Wonosari Formation varied between 219,44 m/s to 1027,04 m/s dominated by limestone. The Vs value of Sambipitu Formation varied between 146,15 m/s to 1170,44 m/s dominated by siltstone and sandstone. The Vs value of Aluvium Formation varied between 164,68 m/s to 836,41 m/s dominated by silt and clay.*

**Keyword:** *Ellipticity curve, ground profiles, lithology, shear-wave velocity.*

## HALAMAN MOTTO

Gagal Boleh, Menyerah Jangan.

Karena **Sukses** adalah milik mereka yang pernah **gagal**, namun **tidak pernah menyerah**.

-Muhammad Firman Maulana-

MAN SAARA ALA DARBI WASHALA

“Barang siapa berjalan pada jalannya, maka dia akan sampai (pada tujuannya)”

-Ahmad Fuadi-



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

Allah SWT

Nabi Muhammad SAW

Bapak Prasetyo dan Ibu Ani Hidayati S

Alm. Bapak Budi Leksono

Rekan-rekan Fisika 2018

*Study Club* Geofisika



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warakhmatullahi Wabarakatuh

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat diberikan kekuatan untuk menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan *Ground Profiles* Kecepatan Gelombang Geser Dengan Metode *Ellipticity Curve* Di Kawasan Sesar Opak**”. Shalawat serta salam selalu tercurah-limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafaatnya kelak di hari akhir.

Selesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan kerjasama yang baik dari banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat. Oleh karena itu, pada kesempatan ini sudah selayaknya penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Prasetyo dan Ibu Ani atas segala perhatian, doa dan harapan besar yang diberikan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, S.Ag., M.A. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Fisika.

Semoga selalu diberikan kekuatan dan kesabaran dalam memimpin generasi fisika menuju arah yang selalu lebih baik.

5. Bapak Dr. Thaقيبul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si. dan Bapak Nugroho Budi Wibowo, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam mengarahkan proses tugas akhir ini. Semoga selalu diberikan keberkahan dalam setiap langkah dan nikmat kesehatan yang teriring.
6. Ibu Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si. selaku dosen pendamping akademik yang selalu membimbing penulis dengan sabar dan penuh semangat. Semoga segala urusannya selalu dimudahkan.
7. Seluruh dosen Program Studi Fisika yang pernah membagikan ilmunya kepada penulis, semoga mendapat balasan kebaikan dari Allah SWT.
8. Fikri, Reyhan, Munajat, Ahmad, Imel, Ica, Silva, Zaim, Anggita, Tri, Risky, Riri, dan Dini, terima kasih telah memberikan semangat dan dukungannya serta menyediakan waktu untuk saling berbagi ilmu.
9. Rekan-rekan Fisika Berang-berang (2018), HM-PS Fisika, dan Geofisika *Study Club* UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, kalian semua hebat telah memberikan pengalaman yang tidak tergantikan.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun sangat penulis butuhkan. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat dan menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Wassalamualaikum Warakhmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 27 Juli 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iv
INTISARI.....	v
ABSTRACT .....	vi
HALAMAN MOTTO.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	1
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Batasan Penelitian .....	7
1.5 Manfaat Penelitian .....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1 Studi Pustaka.....	9
2.2 Landasan Teori.....	12
2.2.1 Gempa Bumi.....	12
2.2.2 Gelombang .....	14
2.2.3 Mikrotremor .....	22
2.2.4 Transformasi <i>Fourier</i> .....	24
2.2.5 Metode <i>Horizontal to Vertical Shear Ratio (HVS)</i> .....	28
2.2.6 Metode Ellipticity Curve.....	33
2.2.7 Litologi.....	37

2.2.8 Kondisi Geologi Daerah Penelitian .....	39
BAB III METODE PENELITIAN .....	42
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	42
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	42
3.2.1 Alat.....	43
3.2.2 Bahan .....	44
3.3 Prosedur Kerja.....	44
3.4 Teknik Analisis Data .....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	48
4.1 Hasil Penelitian .....	48
4.1.1 Karakteristik dan Nilai Kurva <i>HVSR</i> .....	48
4.1.2 <i>Ground Profiles</i> Nilai Kecepatan Gelombang Geser ( <i>V<sub>s</sub></i> ).....	51
4.1.3 Litologi Bawah Permukaan .....	55
4.1.4 Hasil Verifikasi Lapangan .....	60
4.2 Pembahasan .....	61
4.2.1 Karakteristik dan Nilai Kurva <i>HVSR</i> .....	61
4.2.2 <i>Ground Profiles</i> Kecepatan Gelombang Geser .....	67
4.2.3 Litologi Bawah Permukaan .....	72
4.3 Integrasi-Interkoneksi .....	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran .....	80
DAFTAR PUSTAKA .....	81
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	87

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Peta persebaran lempeng tektonik Indonesia (BMKG, 2017) .....	2
<b>Gambar 1.2</b> Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Rahardjo et al., 1977) .....	5
<b>Gambar 2.1</b> Ilustrasi <i>Elastic Rebound Theory</i> oleh Reid (Lowrie, 2007) .....	13
<b>Gambar 2.2</b> Komponen Gaya-gaya yang Bekerja pada Medium Kubus Homogen (Telford, 1990).....	15
<b>Gambar 2.3</b> Gelombang Primer (Reynolds, 2011).....	19
<b>Gambar 2.4</b> Gelombang Sekunder (Reynolds, 2011) .....	20
<b>Gambar 2.5</b> Gelombang <i>Rayleigh</i> (Reynolds, 2011) .....	21
<b>Gambar 2.6</b> Gelombang <i>Love</i> (Reynolds, 2011).....	22
<b>Gambar 2.7</b> Tampilan tiga komponen sinyal mikroseismik pada <i>software</i> geopsy .....	23
<b>Gambar 2.8</b> Pemodelan Cekungan yang Terisi oleh Batuan Lunak (Slob, 2007).....	29
<b>Gambar 3.1</b> Desain Survei Penelitian.....	42
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Penelitian.....	45
<b>Gambar 3.3</b> Desain Sayatan.....	47
<b>Gambar 4.1</b> Karakteristik Kurva <i>Clear Peak</i> (titik 29).....	49
<b>Gambar 4.2</b> Karakteristik Kurva <i>Unclear Low Frequency Peak</i> (titik 27) .....	49
<b>Gambar 4.3</b> Peta kontur Frekuensi Dominan.....	50
<b>Gambar 4.4</b> Peta Kontur Amplifikasi Tanah .....	50
<b>Gambar 4.5</b> 3D <i>Solid Model</i> Persebaran Nilai <i>Vs</i> .....	52
<b>Gambar 4.6</b> Model Sayatan <i>Vs</i> (a) Model Sayatan Menyilang (b) Model Sayatan Barat-Timur .....	52
<b>Gambar 4.7</b> Log 3D Formasi Merapi Muda .....	55
<b>Gambar 4.8</b> Log 3D Formasi Nglanggran .....	55
<b>Gambar 4.9</b> Log 3D Formasi Semilir .....	56
<b>Gambar 4.10</b> Log 3D Formasi Wonosari .....	56
<b>Gambar 4.11</b> Log 3D Formasi Sambipitu .....	56
<b>Gambar 4.12</b> Log 3D Formasi Aluvium.....	57
<b>Gambar 4.13</b> 3D <i>Solid Model</i> pada Formasi Merapi Muda.....	57
<b>Gambar 4.14</b> Model Sayatan A-A' .....	57
<b>Gambar 4.15</b> Model Sayatan B-B' .....	58
<b>Gambar 4.16</b> Model 3D Sayatan A-A' dan B-B' .....	58

<b>Gambar 4.17</b> Model 3D Log Berdasarkan Data Bor Formasi Merapi Muda .....	59
<b>Gambar 4.18</b> Hasil verifikasi lapangan .....	60
<b>Gambar E.1</b> Batu Breksi di Formasi Merapi Muda .....	108
<b>Gambar E.2</b> Lanau di Formasi Aluvium .....	109
<b>Gambar E.3</b> Batu Gamping di Formasi Wonosari .....	109
<b>Gambar E.4</b> <i>Tuff</i> dan breksi di Formasi Nglanggran .....	110
<b>Gambar E.5</b> Breksi andesit di Formasi Semilir .....	110
<b>Gambar E.6</b> Batu Konglomerat di Formasi Sambipitu .....	111
<b>Gambar E.7</b> Batu Gamping di Formasi Wonosari .....	111
<b>Gambar E.8</b> Tanah dan Lanau di Formasi merapi Muda (a) Tanah (b) Lanau .	112
<b>Gambar F.1</b> Tampilan input data mikrotremor .....	113
<b>Gambar F.2</b> Tampilan setelah input data mikrotremor .....	113
<b>Gambar F.3</b> Tampilan ketika proses <i>windowing</i> .....	114
<b>Gambar F.4</b> Tampilan kurva <i>HVSR</i> .....	114
<b>Gambar F.5</b> Tampilan untuk menyimpan kurva dengan format hv .....	115
<b>Gambar F.6</b> Tampilan awal program <i>dinver</i> .....	116
<b>Gambar F.7</b> Tampilan input kurva hv .....	116
<b>Gambar F.8</b> Tampilan setelah input kurva hv .....	117
<b>Gambar F.9</b> Pemilihan opsi <i>ellipticity curve</i> .....	117
<b>Gambar F.10</b> Tampilan input parameter .....	118
<b>Gambar F.11</b> Tampilan menambahkan program .....	118
<b>Gambar F.12</b> Tampilan ketika <i>running</i> program .....	119
<b>Gambar F.13</b> Tampilan <i>running ellipticity curve view</i> .....	119
<b>Gambar F.14</b> Tampilan <i>running ground profiles view</i> .....	120
<b>Gambar F.15</b> Tampilan awal <i>rockworks 16</i> .....	120
<b>Gambar F.16</b> Tampilan mengatur koordinat .....	121
<b>Gambar F.17</b> Tampilan mengatur informasi lokasi .....	121
<b>Gambar F.18</b> Tampilan mengatur informasi litologi .....	122
<b>Gambar F.19</b> Tampilan mengatur informasi stratigrafi .....	122
<b>Gambar F.20</b> Tampilan <i>scan boreholes</i> .....	123
<b>Gambar F.21</b> Tampilan menu <i>striplogs</i> .....	124
<b>Gambar F.22</b> Tampilan awal menu <i>multilogs 3D</i> .....	124



<b>Gambar F.23</b> Tampilan pembuatan model 3D .....	125
<b>Gambar F.24</b> Tampilan menu stratigrafi .....	125
<b>Gambar F.25</b> Tampilan menu model stratigrafi.....	126
<b>Gambar F.26</b> Tampilan pembuatan model <i>solid</i> .....	126
<b>Gambar F.27</b> Tampilan menu stratigrafi .....	127
<b>Gambar F.28</b> Tampilan pemilihan titik sayatan.....	127
<b>Gambar F.29</b> Tampilan pembuatan model sayatan.....	128
<b>Gambar F.30</b> Tampilan input parameter <i>datasheet</i> .....	128
<b>Gambar F.31</b> Tampilan menu <i>solid model</i> .....	129
<b>Gambar F.32</b> Tampilan pembuatan <i>solid model</i> persebaran nilai $V_s$ .....	129
<b>Gambar H.1</b> Dokumentasi lapangan .....	135

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Relevansi Penelitian Terdahulu.....	11
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Setiawan, 2009) .....	32
<b>Tabel 2.3</b> Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor Oleh Kanai (Buletin Meteorologi dan Geofisika, 1998).....	32
<b>Tabel 2.3</b> (Lanjutan).....	33
<b>Tabel 2.4</b> Nilai rasio poisson dari batuan sedimen (Ostander, 1984) .....	35
<b>Tabel 2.5</b> Variasi Nilai Densitas Batuan (Telford, 1990).....	37
<b>Tabel 2.6</b> Tabel Nilai Kecepatan Gelombang P pada Beberapa Batuan (Burger, 1992) .....	38
<b>Tabel 2.7</b> Tabel Nilai Kecepatan Gelombang S pada Beberapa Material (Daryono, 2011) .....	38
<b>Tabel 2.8</b> Tabel Klasifikasi situs Berdasarkan Nilai VS Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium SNI 1726 (Badan Standardisasi Nasional, 2019).....	39
<b>Tabel 4.1</b> Kompilasi Nilai Vs (Ahrens, 1995., Burger, 1992., Daryono, 2011., Dobrins, 1988., Mavko, 2009., Reynolds, 2011., Wibowo, 2018).....	51
<b>Tabel 4.2</b> Pengelompokan Titik Pengukuran Berdasarkan Formasi Geologi .....	53
<b>Tabel 4.3</b> Interpretasi Nilai Vs pada Formasi Merapi Muda .....	53
<b>Tabel 4.4</b> Interpretasi Nilai Vs pada Formasi Nglanggran .....	53
<b>Tabel 4.5</b> Interpretasi Nilai Vs pada Formasi Semilir .....	54
<b>Tabel 4.6</b> Interpretasi Nilai Vs pada Formasi Wonosari .....	54
<b>Tabel 4.7</b> Interpretasi Nilai Vs pada Formasi Sambipitu.....	54
<b>Tabel 4.8</b> Interpretasi Nilai Vs pada Formasi Aluvium.....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Hasil pengolahan data mikrotremor berupa karakteristik Kurva HVSr .....	87
LAMPIRAN B Parameter Input Dinver dan Output Dinver.....	91
LAMPIRAN C Kurva ellipticity curve dan ground profiles kecepatan gelombang geser .....	95
LAMPIRAN D Pengolahan data menggunakan metode ellipticity curve .....	105
LAMPIRAN E Hasil verifikasi lapangan .....	108
LAMPIRAN F Tahap-tahap Pengolahan Data.....	113
LAMPIRAN G Logsheets Pengambilan Data Lapangan .....	130
LAMPIRAN H Dokumentasi lapangan .....	135



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

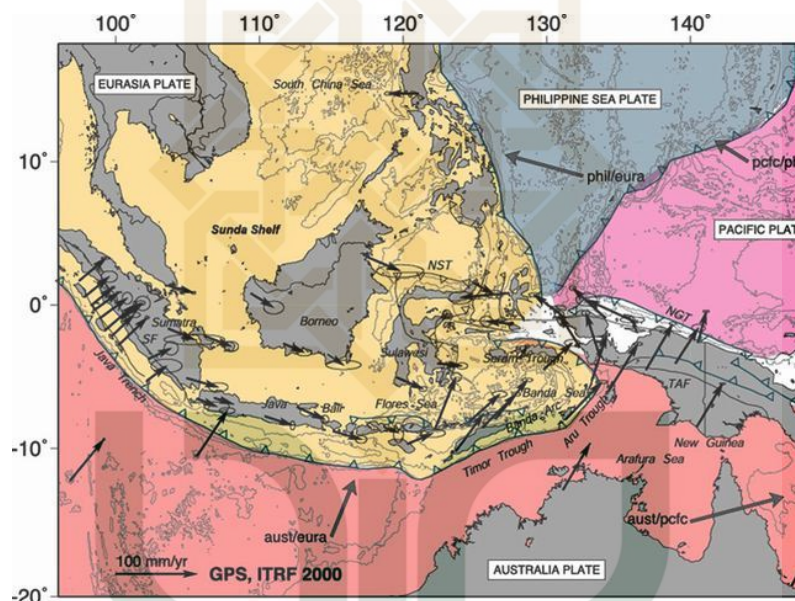
Bencana alam merupakan peristiwa alam yang menimbulkan kerugian, kesusahan, atau penderitaan. Bencana alam menjadi hal nyata dalam kehidupan yang selalu ditemui dan menyebabkan dampak negatif bagi sekitarnya seperti kematian, hilangnya harta benda, hancurnya tempat tinggal bahkan kerusakan alam. Bencana alam yang terjadi kerap kali diakibatkan oleh perbuatan manusia, baik perbuatan yang merusak alam ataupun perbuatan yang menimbulkan dosa hingga Allah SWT dengan kehendak-Nya memberikan teguran berupa bencana alam. Al-Qur'an menjelaskan tentang bencana alam yang menjadi teguran Allah SWT kepada umat manusia, salah satunya adalah pada surat Al-Ankabut ayat 37:

فَكَذَّبُوهُ فَأَخَذَتْهُمُ الرَّجْفَةُ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جَاثِمِينَ

Artinya: *Maka mereka mendustakan Syu'aib, lalu mereka ditimpa gempa yang dahsyat, dan jadilah mereka mayat-mayat yang bergelimpangan di tempat-tempat tinggal mereka.*

Surat Al-Ankabut ayat 37 diterangkan dalam tafsir KEMENAG RI “akan tetapi, sebagaimana halnya kaum Nabi Luth, umat Nabi Syuaib pun durhaka dan tidak mau menerima nasihat Nabi Syuaib, mereka malah mendustakannya. Oleh karena itu, berlakulah sunah Allah. Ketika mereka dengan terang-terangan mengingkari Syuaib setelah diberi peringatan berulang-ulang, maka tibalah waktunya Allah mengazab mereka. Bumi tempat kediaman mereka diguncang oleh

gempa yang menggetarkan dan menghancurkan tanah kediaman mereka. Mereka mati jungkir balik dan ditelan bumi, tanpa bergerak lagi”. Tafsir tersebut menjelaskan ketika Allah SWT telah menurunkan bencana alam berupa gempa bumi dahsyat yang mengguncang dan menghancurkan tanah juga kediaman. Gempa bumi tersebut merupakan azab bagi umat Nabi Syuaib yang telah durhaka dan tidak mau menerima nasihat serta terus menerus berdusta.



**Gambar 1.1** Peta persebaran lempeng tektonik Indonesia (BMKG, 2017)

Secara geografis dapat dilihat pada Gambar 1.1, Indonesia terletak di area gempa teraktif di dunia karena dikelilingi oleh Cincin Api Pasifik (*ring of fire*) serta berada diatas pertemuan 4 lempeng benua yakni Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik (PUSGEN, 2017). Kondisi tersebut membuat Indonesia berpotensi mengalami banyak bencana alam, utamanya gempa bumi dan letusan gunung api (BNPB, 2021). Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu daerah yang rawan akan gempa bumi hal tersebut dikarenakan Lempeng Indo-Australia yang bergeser ke utara setiap tahunnya dan mendesak Lempeng Eurasia. Peristiwa terdesaknya lempeng tersebut

mengakibatkan munculnya patahan dan sesar yang masih aktif di kawasan Daerah Istimewa Yogyakarta (Daryono, 2010). Beberapa sesar yang diprediksi masih aktif adalah Sesar Opak, Sesar Oyo, Sesar Dengkeng, Sesar Progo, dan juga ada beberapa sesar mikro yang belum teridentifikasi. Salah satu gempa bumi merusak yang terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya adalah gempa bumi yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 dengan kekuatan 5,9 SR. Gempa bumi merusak ini terjadi akibat aktifnya Sesar Opak di kawasan Gunungkidul yang digambarkan sepanjang Sungai Opak (Fathonah et al., 2017). Peristiwa tektonik yang terjadi di daerah ini dapat terlihat dengan adanya morfotektonik yang terlihat di lapangan seperti teras sungai, lereng rombakan, dan sejumlah tanggul-tanggul di daerah Pantai Samas.

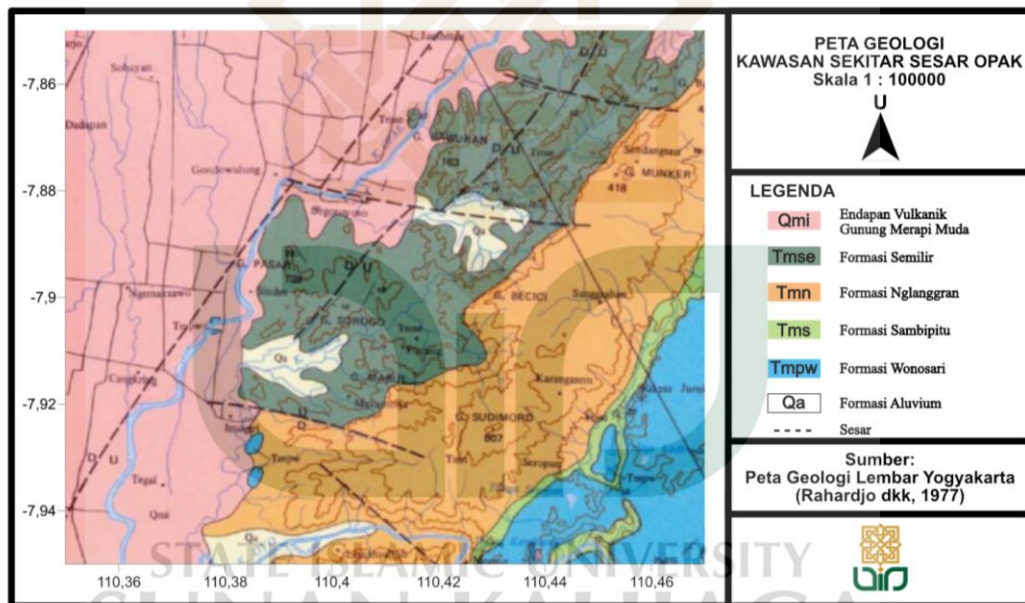
Aktivitas tektonik pada suatu sesar yang mengakibatkan peristiwa gempa bumi dapat memengaruhi kondisi geologi regional dan litologi bawah permukaan (Santoso, 2007, 2009). Analisis litologi bawah permukaan akan memberikan hasil berupa model bawah permukaan yang dapat berguna untuk mengetahui kondisi litologi bawah permukaan seperti batuan penyusun dan jalur sesar lokal lainnya. Analisis litologi bawah permukaan dapat dilakukan menggunakan beberapa metode geofisika. Pertama, pencatatan dan pengukuran pada suatu kedalaman tanah tertentu menggunakan metode *well logging*. Metode *well logging* memiliki kelebihan yaitu informasi yang didapat lebih akurat tetapi lebih mahal dan membutuhkan waktu yang lama (Reynolds, 2011). Metode selanjutnya adalah metode *Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)* dan *Spectral Analysis of Surface Waves (SASW)*, keduanya memanfaatkan gelombang seismik, terutama



yang merambat secara horizontal langsung dari sumber ke penerima. Kelebihan kedua metode ini sama dengan metode pengeboran, yaitu informasi yang diperoleh cukup akurat, namun metode ini memiliki kelemahan yaitu proses akuisisi data membutuhkan bentangan alat yang luas pada suatu area (Rosyidi, 2013). Metode ketiga adalah penentuan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dengan mengukur sinyal gelombang seismik. Metode ini akan memanfaatkan sinyal gelombang seismik yang selanjutnya diinversikan menggunakan metode *ellipticity curve* atau disebut juga dengan pemodelan terbalik (*inverse modeling*). Metode ini memanfaatkan gelombang yang merambat di dalam bumi akibat adanya deformasi struktur dari sifat keelastisan kerak bumi atau sering disebut gelombang seismik (Telford et al., 1990).

Metode penentuan nilai  $V_s$  dengan mengukur sinyal gelombang seismik adalah metode yang paling efisien untuk digunakan dalam melakukan analisis litologi bawah permukaan. Hasil dari metode ini cukup baik dan lebih unggul dalam faktor biaya. Pengukuran sinyal gelombang seismik akan menghasilkan suatu spektrum gelombang yang digunakan dalam pengolahan kurva *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*. Metode penentuan kurva *HVSr* merupakan salah satu cara untuk mengetahui litologi bawah permukaan tanpa menyebabkan kerusakan ataupun gangguan terhadap struktur tersebut (Nakamura, 1989). Kurva *HVSr* memiliki karakteristik tertentu yang mampu menggambarkan kondisi geologi daerah penelitian dengan menganalisis parameter frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Kriteria karakteristik yang memenuhi standar telah diatur pada *SESAME European Research Project (SESAME, 2004)*. Nilai dari kurva *HVSr*

yang telah didapatkan akan dimanfaatkan dalam metode inversi atau lebih dikenal dengan metode *ellipticity curve*. Metode ini digunakan untuk mendapatkan nilai  $V_s$ , nilai  $V_s$  menjadi salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan interpretasi litologi bawah permukaan (Rosyidi, 2013). Parameter lain yang mendukung dalam proses analisis litologi bawah permukaan selain kurva *HVSR* yaitu, rasio poisson, kecepatan gelombang, dan densitas. Hasil interpretasi tersebut akan berupa *ground profiles* dari  $V_s$ , yang selanjutnya dapat dilakukan analisis untuk mengetahui kondisi litologi bawah permukaan suatu kawasan.



**Gambar 1.2** Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Rahardjo et al., 1977)

Kawasan penelitian akan berfokus pada jalur Sesar Opak mulai dari tengah ke utara atau secara khusus dalam batas koordinat  $110^{\circ}19'60''$  BT s.d.  $110^{\circ}30'00''$  BT dan  $7^{\circ}49'60''$  LS s.d.  $8^{\circ}00'00''$  LS. Secara umum, stratigrafi daerah penelitian termasuk sektor Jawa Tengah kategori pegunungan selatan. Peta geologi lembar Yogyakarta menggambarkan bahwa Sesar Opak ini membentuk jalur yang melewati beberapa formasi batuan, dapat diperhatikan pada Gambar 1.2. Formasi

tersebut antara lain; endapan vulkanik merapi muda, Formasi Semilir, Formasi Nglanggran, Formasi Wonosari, Formasi Sambipitu (Rahardjo, dkk. 1977).

Penelitian tentang interpretasi bawah permukaan pada jalur Sesar Opak bisa dilakukan menggunakan metode geomagnet dan seismik. Metode geomagnet memanfaatkan nilai suseptibilitas batuan dalam melakukan analisis litologi bawah permukaan, sedangkan metode seismik akan memanfaatkan gelombang seismik yang di inversi untuk melakukan analisis lanjutan (Dayana, 2017, Indra, 2018, Issaadi, 2020). Wibowo (2018) juga melakukan penelitian terkait analisis litologi bawah permukaan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, Kabupaten Klaten. Penelitian tersebut membagi daerah penelitian menjadi tiga zona berdasarkan parameter nilai  $V_s$ -nya. Penelitian mengenai analisis litologi bawah permukaan di kawasan sekitar jalur Sesar Opak pada batas koordinat  $110^{\circ}19'60''$  BT s.d.  $110^{\circ}30'00''$  BT dan  $7^{\circ}49'60''$  LS s.d.  $8^{\circ}00'00''$  LS belum pernah dilakukan sebelumnya. Lokasi penelitian yang dipilih memiliki keunikan yaitu saling berbatasan antara 5 formasi geologi yang berbeda, dapat dilihat pada Gambar 1.2. Analisis litologi bawah permukaan menjadi penting di kawasan ini untuk mendapatkan data bawah permukaan terbaru. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi pembaruan data litologi bawah permukaan daerah penelitian untuk pengembangan dan pemanfaatan data tersebut kedepannya baik dari sisi keilmuan geosains ataupun pengembangan wilayah. Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, maka perlu diadakan penelitian analisis litologi bawah permukaan di sekitar jalur Sesar Opak.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik dan nilai kurva *HVSR* di kawasan Sesar Opak?
2. Berapa nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dari setiap lapisan pada struktur bawah permukaan di kawasan Sesar Opak?
3. Bagaimana litologi bawah permukaan berdasarkan *ground profiles* kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dengan metode *ellipticity curve* di kawasan Sesar Opak?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik dan nilai kurva *HVSR* di kawasan Sesar Opak.
2. Menentukan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dari setiap lapisan pada struktur bawah permukaan di kawasan Sesar Opak.
3. Menganalisis litologi bawah permukaan berdasarkan *ground profiles* kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dengan metode *ellipticity curve* di kawasan Sesar Opak.

## 1.4 Batasan Penelitian

1. Kawasan penelitian berada pada jalur Sesar Opak bagian tengah ke utara dengan batas koordinat  $110^{\circ}19'60''$  BT s.d.  $110^{\circ}30'00''$  BT dan  $7^{\circ}49'60''$  LS s.d.  $8^{\circ}00'00''$  LS.
2. Pengolahan data dilakukan menggunakan metode *ellipticity curve* atau *inverse modelling* (pemodelan ke belakang).
3. Litologi yang dimaksud dalam penelitian ini merujuk pada jenis batuan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Memberikan informasi dan gambaran terkait kondisi litologi bawah permukaan di kawasan Sesar Opak.
2. Diharapkan dapat menjadi referensi literatur bagi peneliti dan praktisi yang berkaitan baik secara langsung ataupun tidak di bidang kebumihan dalam melakukan penelitian dan pengembangan wilayah.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik kurva *HVSR* di kawasan Sesar Opak didominasi dengan tipe *unclear low frequency peak*. Nilai frekuensi dominan bervariasi mulai dari 0,59 Hz s.d 17,68 Hz dan didominasi oleh klasifikasi tanah jenis III dan jenis IV. Nilai amplifikasi tanah bervariasi mulai dari 1,28 s.d 9,57 dan didominasi oleh amplifikasi zona 2 atau tingkat sedang.
2. Nilai kecepatan  $V_s$  di kawasan Sesar Opak relatif bervariasi. Nilai  $V_s$  dengan rentang 108,25 m/s hingga 1390,83 m/s berada di Formasi Merapi. Nilai  $V_s$  dengan rentang 135,92 m/s hingga 2311,67 m/s berada di Formasi Nglanggran. Nilai  $V_s$  dengan rentang 182,84 m/s hingga 1960,34 m/s berada di Formasi Semilir. Nilai  $V_s$  dengan rentang 219,44 m/s hingga 1027,04 m/s berada di Formasi Wonosari. Nilai  $V_s$  dengan rentang 146,15 m/s hingga 1170,44 m/s berada di Formasi Sambipitu. Nilai  $V_s$  dengan rentang 164,68 m/s hingga 836,41 m/s berada di Formasi Aluvium.
3. Kawasan Sesar Opak dalam lingkup daerah penelitian memiliki litologi penyusun yang didominasi oleh batu pasir dan breksi pada Formasi Merapi Muda, leleran lava tak terpisahkan pada Formasi Nglanggran, dasit dan andesit pada Formasi Semilir, batuan gamping pada Formasi Wonosari, batu lanau dan batu pasir pada Formasi Sambipitu, serta lanau dan lempung pada Formasi Aluvium.



## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat lebih diperhatikan pada pengembangan penelitian selanjutnya, diantaranya sebagai berikut:

1. Perlunya pengkajian lebih dalam terkait analisis nilai *misfit* pada metode *ellipticity curve*.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan metode lain seperti geolistrik dan *MASW*, jika memiliki wilayah kajian yang sama dengan penelitian ini agar dapat menambah tingkat keakuratan analisis dan interpretasi data.
3. Penelitian selanjutnya yang dilakukan di wilayah kajian yang sama dan dengan metode yang sama diharapkan dapat mengkaji pengaplikasian data penelitian terhadap aspek lainnya seperti mitigasi bencana dan potensi air tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, T. J. 1995. *Rocks Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constants*. American Geophysical Union. Washington.
- Andriyani, G., Kahar, S., Awaluddin, M., dan Meilano, I. 2011. *Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data Gns Kontinu Tahun 2009-2011*. Kelompok Keilmuan Geodesi dan Geomatika (FITB) Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Arai, H., dan Tokimatsu, K. 2004. *S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum*. Bulletin of the Seismological Society of America, **Vol. 94 No.1** : 53-63.
- Arai, H., dan Tokimatsu, K. 2005. *S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor Dispersion Curve and Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectrum*. Bulletin of the Seismological Society of America, **Vol.95 No.5** : 1766-1778.
- Arai, H., dan Tokimatsu, K. 2008. *Three-dimensional Vs Profiling Using Microtremors in Kushiro, Japan*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 845-859.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2017. *Tentang Gempabumi*. Diakses 30 November 2021 dari <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2019. *Buku Saku Destana Tsunami*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2021. *Potensi Ancaman Bencana*. Diakses 28 November 2021 dari <https://bnpb.go.id/potensi->

ancaman-bencana.

Badan Standarisasi Nasional (SNI) 1726. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta.

Bates, R. L. dan Jackson, J. A. 1987. *Glossary of Geology*. American Geological Institute.

Burger, H. R. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. Englewood Cliffs.

Daryono, Sutikno, Sartohadi, J., Dulbahri, dan Brotopuspito, K.S. 2009. *Efek tapak lokal di Graben bantul berdasarkan pengukuran mikrotremor*. International Conference Earth Science and Technology. Yogyakarta.

Daryono. 2010. *Aktivitas Gempabumi Tektonik di Yogyakarta Menjelang Erupsi Merapi 2010*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Yogyakarta.

Daryono. 2011. *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan Di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. (Disertasi), Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Dobrin, M. B. dan Savit, C. H. 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting*. McGraw- Hill Book Co. Singapura.

Fathonah, I. M., Wibowo, N. B., dan Sumardi, Y. 2017. Identifikasi Jalur Sesar Opak Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Magnet dan Geologi Regional Yogyakarta. *Indonesian Journal of Applied Physics*, **Vol.4 No.2 Oktober 2014** : 192-200.

Herak, M. 2008. Model HVSr—A Matlabs Tool to Model Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise. *Computers And Geoscience*. **Vol.34 July**

2007 : 1514-1526.

Hobiger, M. 2011. *Polarization Of Surface Waves : Characterization, Inversion and Application to Seismic Hazard Assessment*. University of Grenoble. France.

Kanai, K. 1983. *Engineering Seismology*. University of Tokyo Press. Japan.

Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an (LPMQ), KEMENAG RI. (2021). *Tafsir Surat Al-Ankabut Ayat 37*. Diakses 30 November 2021 dari <https://quran.kemenag.go.id/sura/29/37>.

Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an (LPMQ), KEMENAG RI. (2021). *Tafsir Surat An-Nahl ayat 15*. Diakses 16 Juli 2022 dari <https://quran.kemenag.go.id/surah/16>.

Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an (LPMQ), KEMENAG RI. (2021). *Tafsir Surat Fatir ayat 27*. Diakses 16 Juli 2022 dari <https://quran.kemenag.go.id/surah/35>.

Lowrie, W. 2007. *Fundamentals Of Geophysics*. Cambridge University Press. New York.

Lutfianur, I., Wulandari, R. S., dan Fauziah, S. 2015. Identifikasi Zona Sesar Opak Di Daerah Bantul Yogyakarta Menggunakan Metode Seismik Refraksi. *Sainteknol*, Vol.13 No.1 Juli 2015 : 39-46.

Manolakis, D. G., dan Ingle, V. K. 2011. *Applied Digital Signal Processing*. Cambridge University Press. Cambridge.

Mavko, G., Mukerji, T., dan Dvorkin, J. 2009. *The Rock Physics Handbook*. Cambridge University Press. New York.

- Nakamura, Y. 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. *Japan Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, **Vol. 30 No.1 Februari 1989** : 25-33.
- Nakamura, Y. 2000. Real-Time Information System for Hazards Mitigation. Japan: Tokyo University. *Quarterly Report of RTRI*, **Vol. 37 No. 3**.
- Nurwidyanto, M. I., Indriana, R. D., dan Darwis, Z. T. 2007. Pemodelan Zona Sesar Opak Di Daerah Pleret Bantul Yogyakarta Dengan Metode Gravitasi. *Berkala Fisika*, **Vol.10 No.1 April 2007** : 65-70.
- Nurwidyanto, M. I., Brotopuspito, K. S., Waluyo, dan Sismanto. 2011. Study Pendahuluan Sesar Opak Dengan Metode Gravity ( Study Kasus Daerah Sekitar Kecamatan Pleret Bantul ). *Berkala Fisika*, **Vol.14 No.1 Januari 2011** : 11–16.
- Ostrander, W.J. 1984. *Plane Wave Reflection Coefficients for Gas Sands at Nonnormal Angles of Incidence*. *Geophysics*, 1637-1648.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., dan Siever, R. 1987. *Sand and Sandstones 2nd ed*. Springer-Verlag. New York.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H. M. D. (1977). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Direktorat Geologi. Yogyakarta.
- Reynolds, J. M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons, Ltd. United Kingdom.
- Rosyidi, S. A. P. 2013. *Metode Analisis Gelombang Permukaan untuk Penyelidikan Sub-Permukaan*. Lembaga Penelitian, Publikasi Penerbitan, dan Pengabdian

- Masyarakat Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Santoso. 2007. Deformasi *Landform* Pascagempa Tektonik Jogjakarta 27 Mei 2006. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, **Vol.XVII No. 5 Oktober 2007** : 322-335.
- Santoso. 2009. Morfologi dan Umur Perpindahan Alur Sungai Opak di Daerah Berbah Sleman. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, **Vol.19 No. 4 Agustus 2009** : 239-249.
- SESAME. 2004. *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibration*. SESAME European Research Project. Europe.
- Setiawan, J. R. 2009. *Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya*. (Tesis). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Slob, S. 2007. *Micro Seismic Hazard Analysis*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press. New York.
- Thomson. 2006. *Geology Of The Oceans*. Cole Publishing Company. Utah.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN). 2017. *Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung.
- Tuladhar, R., Cuong, N. N. H., dan Yamasaki, F. 2004. *Seismic microzonation of Hanoi, Vietnam using microtremor observation*. 13th World Conference On Earthquake Engineering. Canada.



Wibowo, N. B., Darmawan, D., dan Patimah, S. 2018. Analisis Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Vs di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten. *Kurvatek*, **Vol.3 No.1 April 2018** : 83–90.

Young, H. D., dan Freedman, R. A. 2003. *Fisika Universitas Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.

