

**ANALISIS *SITE CLASS* DAN *SITE EFFECT*
BERDASARKAN DATA MIKROTREMOR DAN
GEOLOGI REGIONAL DI KAWASAN SESAR OPAK**

TUGAS AKHIR

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

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:

Anggita Febriana

18106020007

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2023

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-910/Un.02/DST/PP.00.9/03/2023

Tugas Akhir dengan judul : Analisis Site Class dan Site Effect Berdasarkan Data Mikrotremor dan Geologi Regional di Kawasan Sesar Opak

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ANGGITA FEBRIANA
Nomor Induk Mahasiswa : 18106020007
Telah diujikan pada : Senin, 06 Maret 2023
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dr. Thaqqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6423a5073997e



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

Valid ID: 6423b0b6d731



Penguji II
Andi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6423c0a6bedda



Yogyakarta, 06 Maret 2023
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6424d7a171e0

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anggita Febriana

NIM : 18106020007

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisis *Site Class* dan *Site Effect* Berdasarkan Data Mikrotremor dan Geologi Regional 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 secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 5 Desember 2022

Penulis



Anggita Febriana

18106020007

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



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

Assalaamu'alaikum wr. wb.

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

Nama : Anggita Febriana
NIM : 18106020007
Judul Skripsi : ANALISIS *SITE CLASS* DAN *SITE EFFECT*
BERDASARKAN DATA MIKROTREMOR DAN
GEOLOGI REGIONAL 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 mengharapkan agar skripsi/tugas akhir Saudari tersebut di atas dapat segera dimunaqosyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalaamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing I

Yogyakarta, 23 Februari 2023
Pembimbing II

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si.
NIP. 19771025 200501 1 004

Nugroho Budi Wibowo, S.Si., M.Sc.
NIP. 19840223 200801 1 011

**ANALISIS *SITE CLASS* DAN *SITE EFFECT* BERDASARKAN DATA
MIKROTREMOR DAN GEOLOGI REGIONAL DI KAWASAN SESAR
OPAK**

Anggita Febriana

18106020007

INTISARI

Penelitian analisis *site class* dan *site effect* berdasarkan data mikrotremor dan geologi regional di kawasan Sesar Opak telah dilakukan menggunakan 33 data primer dan 42 data sekunder bersumber dari BMKG. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah menganalisis karakteristik *site class* dan *site effect* pada tiap formasi geologi Sesar Opak. Metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dan *ellipticity curve*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik *site class* dan *site effect* di kawasan Sesar Opak bervariasi. Formasi Merapi Muda memiliki nilai V_{s30} antara 139,95 m/s s.d 612,15 m/s didominasi karakteristik *site SD* dengan f_0 rendah dan sedang, A_0 sedang hingga tinggi dan K_g relatif rendah hingga sangat tinggi. Formasi Nglanggran memiliki nilai V_{s30} mulai dari 588,42 m/s s.d 769,32 m/s didominasi karakteristik *site SC* dengan f_0 tinggi dan sangat tinggi, A_0 sedang dan K_g relatif rendah. Formasi Semilir dengan rentang V_{s30} antara 309,71 m/s s.d 962,37 m/s didominasi karakteristik *site SB* dengan f_0 tinggi dan sangat tinggi, A_0 rendah hingga sedang dan K_g relatif rendah. Formasi Wonosari yang terdiri dari nilai V_{s30} antara 280,16 m/s s.d 590,18 m/s didominasi karakteristik *site SC* dengan f_0 rendah hingga sangat tinggi, A_0 rendah dan K_g relatif rendah. Formasi Sambipitu memiliki nilai V_{s30} berkisar pada 405,14 m/s s.d 467,18 m/s didominasi karakteristik *site SC* dengan f_0 sedang hingga tinggi, A_0 rendah hingga sedang dan K_g relatif rendah. Formasi Aluvium dengan nilai V_{s30} antara 413,60 m/s s.d 425,42 m/s didominasi karakteristik *site SC* dengan f_0 dan A_0 rendah hingga tinggi, serta K_g relatif rendah hingga sedang.

Kata kunci: HVSr, kurva eliptisitas, kelas situs, efek situs, dan geologi regional.

**SITE CLASS AND SITE EFFECT ANALYSIS BASED ON MICROTREMOR
DATA AND REGIONAL GEOLOGY IN OPAK FAULT AREA**

Anggita Febriana

18106020007

ABSTRACT

Site class and site effect analysis based on microtremor data and regional geology in the Opak Fault area research has been carried out using 33 primary data and 42 secondary data sourced from BMKG. The purpose of this research was to analyze the characteristics of the site class and site effect on each Opak Fault geological formation. The methods used in this research include the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) and the ellipticity curve. The results showed that the characteristics of the site class and site effect in the Opak Fault area varied. The Merapi Muda Formation has a V_{s30} value between 139,95 m/s to 612,15 m/s dominated by SD site characteristics with low to medium f_0 , medium to high A_0 and low to very high Kg. The Nglanggran Formation has V_{s30} values ranging from 588,42 m/s to 769,32 m/s dominated by SC site characteristics with high to very high f_0 , medium A_0 and low Kg. The Semilir Formation with a V_{s30} range between 309,71 m/s to 962,37 m/s is dominated by SB site characteristics with high to very high f_0 , low to medium A_0 and low Kg. The Wonosari Formation which consists of V_{s30} values between 280,16 m/s to 590,18 m/s is dominated by SC site characteristics with low to very high f_0 , low A_0 and low Kg. The Sambipitu Formation has V_{s30} values ranging from 405,14 m/s to 467,18 m/s dominated by SC site characteristics with moderate to high f_0 , low to medium A_0 and low Kg. The Aluvium Formation with V_{s30} values between 413,60 m/s to 425,42 m/s is dominated by SC site characteristics with low to high f_0 and A_0 , and low to medium Kg.

Keywords: *HVSr, ellipticity curve, site class, site effect, and regional geology.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

“..... Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui.”

(Al-Baqarah 2 : 216)

“Loving myself might be harder than loving someone else, let’s admit it.

The me of yesterday, the me of today, the me of tomorrow.

With no exceptions, it’s all me.”

BTS - “Love Myself”



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

Almh. Nenek, atas cinta dan kasihnya

Diri sendiri yang telah berjuang hingga saat ini

Bapak Kusmanto dan Ibu Lasirah

Kakak-kakak tercinta Agung Misgianto, Linda Septiana, dan Tion Yuniar

Sahabat-sahabat tersayang, Najla Narulita dan Erlin Nur Fatma

Rekan-rekan Fisika 2018

Geophysics Study Club



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberi kekuatan dan kesempatan menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis *Site Class* dan *Site Effect* Berdasarkan Data Mikrotremor dan Geologi Regional di Kawasan Sesar Opak”. Shalawat serta salam senantiasa turunkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang dinantikan *syafa'at*-nya di hari akhir. Selesaiannya tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan kerjasama dari banyak pihak yang telah terlibat. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Almh. nenek, kedua orang tua, dan kakak-kakak tercinta yang telah merawat dan membesarkan penulis dengan segala dukungan, doa dan kasih sayang.
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, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika. Semoga diberikan kesehatan, kekuatan dan kesabaran dalam mengemban amanah.
5. Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing tugas akhir ini hingga terselesaikan. Semoga senantiasa dilimpahi keberkahan dan kesehatan.

6. Bapak Nugroho Budi Wibowo, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa sabar meluangkan waktu dan tenaga dalam mengarahkan dan membimbing tugas akhir ini. Semoga diberikan kesehatan, keberkahan dan senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
7. Ibu Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik beserta seluruh dosen Program Studi Fisika yang telah membagikan ilmu, semoga mendapat keberkahan dan balasan kebaikan dari Allah SWT.
8. Najla Narulita, Erlin Nur Fatma, Disca Risma, dan para sahabat yang senantiasa ada membantu dan mendukung.
9. *Team* “TA Data Sekunder” Alan, Munajat, Cantika, Putri, dan Andre, terimakasih atas dukungan dan bantuan sehingga masa penelitian tugas akhir ini dapat terjalan dengan sangat menyenangkan.
10. Rekan-rekan *Geophysics* '18, Fisika Berang-berang (Angkatan 2018), HM-PS Fisika, dan *Geophysics Study Club* UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, terimakasih atas ilmu dan pengalaman yang luar biasa.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih belum sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan di masa yang akan datang. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberi manfaat positif dan menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh.

Yogyakarta, 1 Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
INTISARI.....	iv
ABSTRACT.....	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Batasan Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Studi Pustaka	10
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Gempa Bumi.....	14
2.2.2 Gelombang Seismik	16
2.2.3 Mikrotremor.....	20
2.2.4 Transformasi <i>Fourier</i>	21
2.2.5 Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSr)	25
2.2.6 <i>Site Effect</i>	29
2.2.7 Faktor Amplifikasi (A_0)	31
2.2.8 Frekuensi Dominan (f_0).....	33

2.2.9	Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	34
2.2.10	Kecepatan Gelombang Geser (V_s)	36
2.2.11	Metode <i>Ellipticity Curve</i>	38
2.2.12	Kondisi Geologi Daerah Penelitian	44
BAB III METODE PENELITIAN		48
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	48
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	49
3.3	Prosedur Kerja/ Tahapan Penelitian	51
3.4	Teknik Analisis Data	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Hasil Penelitian	57
4.1.1	Karakteristik Kurva H/V Berdasarkan Metode HVSR	57
4.1.2	<i>Ground Profiles</i> Kecepatan Gelombang Geser (V_s).....	59
4.1.3	Karakteristik <i>Site Class</i>	61
4.1.4	Karakteristik <i>Site Effect</i>	64
4.1.5	Karakteristik <i>Site Class</i> dan <i>Site Effect</i> Tiap Formasi Geologi	68
4.1.6	Hasil Verifikasi Lapangan	77
4.2	Pembahasan.....	78
4.2.1	Karakteristik Kurva H/V Berdasarkan Metode HVSR	81
4.2.2	<i>Ground Profiles</i> Kecepatan Gelombang Geser (V_s).....	82
4.2.3	Karakteristik <i>Site Class</i>	83
4.2.4	Karakteristik <i>Site Effect</i>	89
4.2.5	Karakteristik <i>Site Class</i> dan <i>Site Effect</i> Tiap Formasi Geologi	106
4.3	Integrasi – Interkoneksi.....	116
BAB V PENUTUP		118
5.1	Kesimpulan	118
5.2	Saran.....	119
DAFTAR PUSTAKA		120
LAMPIRAN - LAMPIRAN		124
CURRICULUM VITAE.....		183

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Peta persebaran lempeng tektonik Indonesia (PUSGEN, 2017)	2
Gambar 2. 1	Sketsa perilaku batuan ketika mengalami peningkatan tekanan (Thompson, 1998)	15
Gambar 2. 2	Gelombang Primer dan Gelombang Sekunder (Reynolds, 2011)	17
Gambar 2. 3	Gelombang <i>Love</i> dan Gelombang <i>Rayleigh</i> (Reynolds, 2011)	19
Gambar 2. 4	Tiga komponen sinyal mikrotremor pada tampilan <i>Geopsy</i>	26
Gambar 2. 5	Model cekungan yang berisi material sedimen (Nakamura, 2000) ..	30
Gambar 2. 6	Peta geologi lembar Yogyakarta (Rahardjo, dkk. 2012)	45
Gambar 3. 1	Peta desain penelitian (Rahardjo dkk., 2012)	48
Gambar 3. 2	Diagram alir penelitian	53
Gambar 3. 3	Peta desain sayatan DEM daerah penelitian	56
Gambar 4. 1	Karakteristik kurva <i>Clear Peak</i>	58
Gambar 4. 2	Karakteristik kurva <i>Unclear peak</i>	58
Gambar 4. 3	Model <i>ground profiles Vs</i> (a) Formasi Merapi Muda (b) Formasi Nglanggran (c) Formasi Semilir (d) Formasi Wonosari (e) Formasi Sambipitu (f) Formasi Aluvium	60
Gambar 4. 4	Peta Mikrozonasi V_{S30}	63
Gambar 4. 5	Peta Mikrozonasi <i>Site Class</i>	63
Gambar 4. 6	Peta Mikrozonasi Frekuensi Dominan	66
Gambar 4. 7	Peta Mikrozonasi Faktor Amplifikasi Tanah	67
Gambar 4. 8	Peta Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik	67
Gambar 4. 9	Grafik hubungan V_{S30} dan f_0 pada Formasi Merapi Muda	68
Gambar 4. 10	Grafik hubungan V_{S30} dan A_0 pada Formasi Merapi Muda	69
Gambar 4. 11	Grafik hubungan V_{S30} dan K_g pada Formasi Merapi Muda	69
Gambar 4. 12	Grafik Hubungan V_{S30} dan f_0 pada Formasi Nglanggran	70
Gambar 4. 13	Grafik Hubungan V_{S30} dan A_0 pada Formasi Nglanggran	70
Gambar 4. 14	Grafik Hubungan V_{S30} dan K_g pada Formasi Nglanggran	70
Gambar 4. 15	Grafik Hubungan V_{S30} dan f_0 pada Formasi Wonosari	71
Gambar 4. 16	Grafik Hubungan V_{S30} dan A_0 pada Formasi Wonosari	71
Gambar 4. 17	Grafik Hubungan V_{S30} dan K_g pada Formasi Wonosari	71
Gambar 4. 18	Grafik Hubungan V_{S30} dan f_0 pada Formasi Semilir	72
Gambar 4. 19	Grafik Hubungan V_{S30} dan A_0 pada Formasi Semilir	72
Gambar 4. 20	Grafik Hubungan V_{S30} dan K_g pada Formasi Semilir	72
Gambar 4. 21	Grafik Hubungan V_{S30} dan f_0 pada Formasi Sambipitu	73
Gambar 4. 22	Grafik Hubungan V_{S30} dan A_0 pada Formasi Sambipitu	73
Gambar 4. 23	Grafik Hubungan V_{S30} dan K_g pada Formasi Sambipitu	73
Gambar 4. 24	Grafik Hubungan V_{S30} dan f_0 pada Formasi Aluvium	74

Gambar 4. 25 Grafik Hubungan V_{S30} dan A_0 pada Formasi Aluvium	74
Gambar 4. 26 Grafik Hubungan V_{S30} dan K_g pada Formasi Aluvium.....	74
Gambar 4. 27 Hasil Sayatan Kontur DEM Daerah Penelitian	75
Gambar 4. 28 Peta singkapan litologi hasil verifikasi lapangan	77
Gambar 4. 29 Perbandingan Hasil Kurva H/V Data Mikrotremor (a) Titik 24 Sekunder (b) Titik 24 Primer	80
Gambar 4. 30 Grafik uji validasi titik 24 sekunder dan titik 24 primer	80
Gambar 4. 31 Peta Mikrozonasi V_{S30} di Daerah Penelitian (a) Singkapan di Formasi Semilir (b) Singkapan di Formasi Nglanggran	85
Gambar 4. 32 Peta Mikrozonasi f_0 Daerah Penelitian (a) Lokasi titik 68 di Formasi Merapi Muda (b) Singkapan di Formasi Alluvium.....	92
Gambar 4. 33 Peta Mikrozonasi A_0 Daerah Penelitian (a) Lokasi titik 66 di Formasi Semilir (b) Singkapan di Formasi Sambipitu	98
Gambar 4. 34 Peta Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Daerah Penelitian (a) Lokasi persawahan di titik 24 Formasi Merapi Muda (b) Singkapan di Formasi Wonosari.....	102
Gambar Lampiran 4. 1 Data Bor di Kec. Kretek, Kab. Bantul, D. I. Yogyakarta (Fakultas Teknik UGM).....	160
Gambar Lampiran 5. 1 Singkapan Breksi di titik A Formasi Nglanggran	161
Gambar Lampiran 5. 2 Singkapan Breksi di titik E Formasi Semilir	163
Gambar Lampiran 5. 3 Singkapan Andesit di titik E Formasi Semilir	163
Gambar Lampiran 5. 4 Singkapan batugamping di titik C Formasi Wonosari ...	164
Gambar Lampiran 5. 5 Singkapan batupasir di titik B Formasi Sambipitu	165
Gambar Lampiran 5. 6 Singkapan batupasir-lanau di titik D Formasi Aluvium.	166
Gambar Lampiran 6. 1 Tampilan <i>input</i> data mikrotremor.....	167
Gambar Lampiran 6. 2 Tampilan setelah <i>input</i> data mikrotremor.....	167
Gambar Lampiran 6. 3 Tampilan ketika pemilihan sinyal pada H/V <i>toolbox</i>	168
Gambar Lampiran 6. 4 Tampilan kurva HVSR	168
Gambar Lampiran 6. 5 Tampilan untuk menyimpan kurva HVSR	169
Gambar Lampiran 6. 6 Tampilan awal program <i>Dinver</i>	169
Gambar Lampiran 6. 7 Tampilan input parameter	170
Gambar Lampiran 6. 8 Tampilan ketika <i>running</i> program.....	170
Gambar Lampiran 6. 9 Tampilan untuk melihat hasil kurva <i>ellipticity</i>	171
Gambar Lampiran 6. 10 Tampilan <i>running ground profiles view</i>	171
Gambar Lampiran 6. 11 Tampilan awal perintah <i>grid</i> data	172
Gambar Lampiran 6. 12 Tampilan <i>setting</i> untuk <i>gridding</i> data.....	172
Gambar Lampiran 6. 13 Tampilan <i>icon</i> untuk membuat <i>New Contour Map</i>	172
Gambar Lampiran 6. 14 Tampilan untuk memilih data hasil <i>gridding</i>	173
Gambar Lampiran 6. 15 Tampilan hasil peta kontur	173
Gambar Lampiran 6. 16 Tampilan pengaturan peta pada <i>property manager</i>	174

Gambar Lampiran 6. 17 Tampilan perintah untuk membuat <i>Profile</i> sayatan.....	175
Gambar Lampiran 6. 18 Tampilan membuat jalur sayatan.....	175
Gambar Lampiran 6. 19 Tampilan hasil <i>profile</i> sayatan.....	175
Gambar Lampiran 8. 1 Dokumentasi Lapangan.....	182



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Relevansi penelitian yang dilakukan dengan penelitian referensi	13
Tabel 2. 2 Klasifikasi nilai faktor amplifikasi oleh Ratdomopurbo.....	32
Tabel 2. 3 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) oleh Kanai	34
Tabel 2. 4 Klasifikasi <i>site class</i> berdasarkan nilai V_s hasil penyelidikan tanah oleh Laboratorium SNI 1726.....	37
Tabel 2. 5 Harga <i>Poisson ratio</i> dari batuan sedimen	41
Tabel 2. 6 Variasi nilai densitas batuan	42
Tabel 2. 7 Nilai kecepatan gelombang P pada beberapa batuan	43
Tabel 2. 8 Nilai kecepatan gelombang S pada beberapa batuan	43
Tabel 2. 9 Kompilasi Nilai V_s dan Jenis Batuan dalam formasi Sesar Opak sebagai parameter analisis <i>ground profiles</i>	44
Tabel 4. 1 Pengelompokan Titik Pengukuran Berdasarkan Formasi Geologi.....	57
Tabel 4. 2 Pengelompokan Nilai V_s pada Formasi Merapi Muda	60
Tabel 4. 3 Pengelompokan Nilai V_s pada Formasi Nglanggran	60
Tabel 4. 4 Pengelompokan Nilai V_s pada Formasi Semilir	61
Tabel 4. 5 Pengelompokan Nilai V_s pada Formasi Wonosari	61
Tabel 4. 6 Pengelompokan Nilai V_s pada Formasi Sambipitu.....	61
Tabel 4. 7 Pengelompokan Nilai V_s pada Formasi Aluvium	61
Tabel 4. 8 Karakteristik nilai V_{s30} dan <i>site class</i> daerah penelitian	62
Tabel 4. 9 Karakteristik <i>site effect</i> daerah penelitian	64
Tabel 4. 10 Klasifikasi Indeks Kerentanan Seismik pada Daerah Penelitian	66
Tabel 4. 11 Karakteristik <i>Site Class</i> dan <i>Site Effect</i> Tiap Formasi Geologi	76

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Hasil Pengolahan Data Mikrotremor berupa Karakteristik Kurva HVSr	124
LAMPIRAN 2 Parameter <i>Input Dinver</i> dan <i>Output Dinver</i>	132
LAMPIRAN 3 Kurva <i>Ellipticity</i> dan <i>Ground Profiles Vs</i>	144
LAMPIRAN 4 Data Bor di Formasi Merapi Muda	160
LAMPIRAN 5 Litologi Hasil Verifikasi Lapangan.....	161
LAMPIRAN 6 Tahap-tahap Pengolahan Data	167
LAMPIRAN 7 <i>Logsheet</i> Pengambilan Data Lapangan.....	176
LAMPIRAN 8 Dokumentasi Lapangan.....	182

BAB I

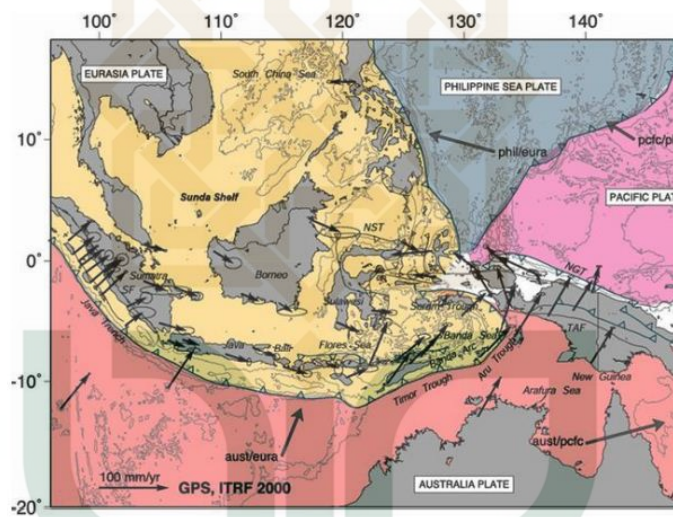
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana mendefinisikan mengenai bencana alam, bencana non alam, dan bencana sosial. Secara spesifik, bencana alam merupakan bencana yang diakibatkan oleh peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.

Wilayah kepulauan dengan pegunungan dan perbukitan majemuk menjadikan Indonesia sebagai wilayah yang berpotensi sering mengalami bencana alam. Risiko tersebut diperkuat dengan keberadaan wilayah Indonesia yang terletak pada zona subduksi yang memiliki tingkat seismisitas tinggi akibat pertemuan 4 lempeng besar dunia. Gambar 1.1 menunjukkan bahwa wilayah Indonesia dikelilingi oleh Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, Lempeng Laut Philipina dan Lempeng Indo-Australia (PUSGEN, 2017). Hal ini mengakibatkan terjadinya pergerakan lempeng yang menciptakan bidang patahan serta membentuk gunung api dan sesar-sesar aktif yang dapat memicu gempa bumi, utamanya gempa bumi

tektonik (Daryono, 2009). Gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan tanah akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari pecahnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Lowrie (2007) menyebutkan bahwa sekitar 90% dari kejadian gempa bumi merupakan hasil peristiwa tektonik utamanya akibat gerakan pada daerah sesar, sedangkan 10% lainnya berhubungan dengan vulkanisme, runtuhnya rongga bawah tanah, atau akibat aktivitas manusia.



Gambar 1. 1 Peta persebaran lempeng tektonik Indonesia (PUSGEN, 2017)

Peristiwa gempa bumi telah disebutkan pada kisah para Nabi yang menyatakan bahwa gempa bumi diturunkan oleh Allah SWT untuk orang-orang yang tidak mau mengikuti ajaran Nabi menuju kebaikan. Namun dalam perspektif lainnya, Allah juga menciptakan daerah-daerah yang memiliki kondisi geografis yang mengakibatkan suatu wilayah rawan terhadap bencana gempa bumi. Terjadinya gempa bumi merupakan salah satu fenomena yang menunjukkan bahwa suatu bencana dapat terjadi atas kehendak Allah dengan izin-Nya yang dapat terjadi

dalam waktu dan tempat yang tidak bisa diduga. Hal ini telah disebutkan oleh firman Allah SWT dalam Q.S. At-Taghabun ayat 11 yang berbunyi:

مَا أَصَابَ مِنْ مُصِيبَةٍ إِلَّا بِإِذْنِ اللَّهِ ۗ وَمَنْ يُؤْمِنُ بِاللَّهِ يَهْدِ
قَلْبَهُ ۗ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

Artinya: *“Tidak ada sesuatu musibah yang menimpa (seseorang), kecuali dengan izin Allah; dan barangsiapa beriman kepada Allah, niscaya Dia akan memberi petunjuk kepada hatinya. Dan Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.”*

Berdasarkan tafsir oleh Kementerian Agama RI, ayat tersebut menjelaskan perihal Allah SWT menerangkan bahwa apa yang menimpa manusia, baik yang merupakan kenikmatan dunia maupun yang berupa siksa adalah *qadha'* dan *qadar*, sesuai dengan kehendak Allah yang telah ditetapkan di muka bumi. Dalam berusaha keras, hendaknya manusia tidak menyesal dan merasa kecewa apabila menemui hal-hal yang tidak sesuai dengan usaha dan keinginannya. Hal tersebut di luar kemampuan manusia, karena hanya ketentuan Allah SWT yang akan berlaku dan menjadi kenyataan. Allah Maha Mengetahui segala sesuatu yang terjadi di jagat raya maupun yang terjadi di jagat kecil seperti sanubari manusia.

Salah satu gempa bumi bersejarah yakni gempa bumi Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006 dengan kekuatan berkisar 6,3 M yang diperkirakan berasal dari aktivitas di sekitar Sesar Opak (Wibowo, 2017). Gempa bumi tersebut mengguncang wilayah Bantul, Sleman, Kota Yogyakarta, dan Klaten pada pukul 05.53.58 WIB dengan durasi selama kurang lebih 60 (enam puluh) detik. Menurut data USGS, pusat gempa bumi berada sekitar 25 km di sebelah tenggara Yogyakarta dengan kedalaman berkisar 17,1 km di bawah permukaan laut. Gempa bumi

tersebut diikuti kejadian gempa bumi susulan di beberapa wilayah seperti Yogyakarta, Bantul, dan Gunung Kidul sebanyak 750 gempa bumi susulan dengan magnitudo terbesar mencapai 5,2 M (Abidin dkk, 2009). Penelitian lain menyebutkan bahwa berdasarkan kajian *aftershock* yang dilakukan 3 bulan yakni dimulai pada hari ke empat setelah kejadian gempa bumi, sesar penyebab gempa bumi Yogyakarta tersebut berada sekitar 10 s.d. 20 km di sebelah timur dari rendahan Sesar Opak (Walter dkk, 2008).

Sesar Opak merupakan salah satu sesar di wilayah Indonesia yang diperkirakan masih aktif. Sesar ini memanjang dari kawasan Pantai Parangtritis hingga ke sebelah timur kota Yogyakarta. Berdasarkan penelitian oleh tim peneliti Teknik Geodesi Institut Teknologi Bandung dan Universitas Gadjah Mada bekerja sama dengan Nagoya *University* yang mengkaji tentang deformasi koseismik, disimpulkan bahwa penyebab gempa bumi Yogyakarta pada 27 Mei 2006 merupakan sesar jenis sinistral dengan panjang 18 km lebar 10 km dan *strike* 48° serta *dip* 89° yang berada di sebelah timur 3 s.d. 4 km dari Sesar Opak (Walter dkk, 2008).

Kerusakan akibat gempa bumi Yogyakarta pada 27 Mei 2006 tercatat sebagai salah satu gempa bumi dengan korban terbanyak di Indonesia sejak tahun 1612. Berdasarkan data dari Departemen Sosial Republik Indonesia dilaporkan bahwa terdapat 6.234 orang meninggal, 36.299 orang terluka, serta sekitar 1,5 juta orang kehilangan tempat tinggal. Selain menelan korban jiwa, gempa bumi tersebut juga menyebabkan kerusakan pada 616.458 unit bangunan pemukiman yang tersebar di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. Salah satu

kawasan cagar budaya di Jawa Tengah yakni Candi Prambanan yang memiliki lapisan sedimen lunak juga mengalami retakan tanah dan gejala likuefaksi akibat guncangan kuat dengan percepatan tanah sebesar 200 s.d. 300 gal. Selain itu terdapat pula kerusakan pada bangunan Candi Prambanan berupa pergeseran pasangan batu pondasi secara tegak dan mendatar, serta jatuhnya stupa yang mengelilingi mahkota candi tersebut (Abidin, 2009; Setyawati, 2017).

Menurut Daryono dkk. (2009), kerusakan yang ditimbulkan akibat bencana gempa bumi tidak hanya disebabkan oleh besarnya kekuatan gempa bumi dan jarak episenter, melainkan juga dipengaruhi oleh kondisi regional suatu wilayah. Daerah rawan kerusakan akibat gempa bumi terjadi pada daerah sedimen lunak tebal yang berada di atas *bedrock* yang keras. Semakin lunak batuan penyusun suatu wilayah, maka semakin besar dampak gempa bumi yang akan terjadi di daerah tersebut. Wilayah yang labil mempunyai sifat batuan yang umumnya belum kompak, sehingga mudah terurai dan akan menimbulkan kerusakan semakin besar apabila terjadi gempa bumi. Menegaskan pernyataan sebelumnya, Daryono (2009) menyebutkan bahwa wilayah dengan pola mikrotremor berfrekuensi resonansi rendah dan puncak spektrum tinggi umumnya akan mengakibatkan intensitas kerusakan yang tinggi.

Fakta bahwa di Daerah Istimewa Yogyakarta dan khususnya Sesar Opak termasuk wilayah dengan tingkat seismisitas tinggi, maka diperlukan upaya pencegahan yakni melalui mitigasi bencana gempa bumi untuk mengurangi dampak kerusakan yang ditimbulkan. Upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan menganalisis klasifikasi *site class* dan karakteristik *site effect* melalui pemanfaatan

data mikrotremor. Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019, *site class* atau kelas situs merupakan klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan. Klasifikasi *site class* untuk lapisan tanah setebal 30 m dapat ditentukan melalui nilai V_{s30} dengan berdasarkan parameter kecepatan gelombang geser (V_s).

Fenomena *local site effect* merupakan respon berbeda-beda dari setiap jenis batuan ketika dikenai gelombang seismik yang ditunjukkan dengan munculnya perubahan karakteristik seismogram mengikuti jenis batuan tersebut. *Site effect* mempelajari pengaruh suatu lapisan permukaan dalam memodifikasi getaran baik memperkuat maupun memperlemah gempa bumi (Mirzaouglu dkk, 2003). Karakteristik *site effect* berhubungan dengan kajian bahaya gempa bumi yang dapat ditentukan berdasarkan parameter nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi dan indeks kerentanan seismik (Daryono dkk, 2009).

Penelitian yang berfokus di kawasan Sesar Opak bagian utara ke selatan ini menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mengolah data sinyal mikrotremor, sehingga diperoleh kurva H/V serta nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Kedua parameter nilai tersebut digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik melalui pendekatan empiris. Hasil pengolahan HVSr berupa kurva H/V selanjutnya dilakukan proses inversi menggunakan metode *ellipticity curve* untuk menghasilkan nilai V_s guna dimanfaatkan dalam perhitungan nilai V_{s30} . Analisis karakteristik *site class* dan *site effect* dalam penelitian ini dilakukan pada tiap formasi geologi Sesar Opak.

Penelitian mengenai klasifikasi *site class* dan karakteristik *site effect* pada tiap formasi geologi di kawasan Sesar Opak dengan batas koordinat $7,75^\circ$ LS s.d.

8° LS dan 110,265° BT s.d. 110,5° BT belum pernah dilakukan sebelumnya. Hal ini menjadi penting dilakukan untuk memperoleh informasi terbaru dan terperinci mengenai seismisitas di kawasan Sesar Opak khususnya mengenai *site class* dan *site effect*. Kajian mengenai klasifikasi *site class* dapat dimanfaatkan dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa bumi, sedangkan kajian *site effect* dapat digunakan dalam analisis potensi bahaya gempa bumi sehingga keduanya dapat diaplikasikan dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih untuk pemanfaatan dan pengembangan data hasil penelitian tersebut, baik dalam bidang keilmuan yang sama maupun bidang keilmuan lain. Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, maka perlu dilakukan penelitian analisis klasifikasi *site class* dan *site effect* pada tiap formasi geologi di kawasan Sesar Opak.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari latar belakang tersebut di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik kurva HVSR berdasarkan data mikrotremor di kawasan Sesar Opak?
2. Bagaimana klasifikasi *site class* Sesar Opak berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser kedalaman 30 meter (V_{s30})?
3. Bagaimana karakteristik *site effect* Sesar Opak berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g)?
4. Bagaimana karakteristik *site class* dan *site effect* pada tiap formasi geologi Sesar Opak?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang berjudul “Analisis *Site Class* dan *Site Effect* Berdasarkan Data Mikrotremor dan Geologi Regional di Kawasan Sesar Opak” memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik kurva HVSR berdasarkan data mikrotremor di kawasan Sesar Opak.
2. Mengetahui klasifikasi *site class* Sesar Opak berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser kedalaman 30 meter (V_{s30}).
3. Mengetahui karakteristik *site effect* Sesar Opak berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g).
4. Menganalisis karakteristik *site class* dan *site effect* pada tiap formasi geologi Sesar Opak.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Area kajian penelitian merupakan kawasan Sesar Opak bagian utara s.d. selatan dengan batas koordinat $7,75^\circ$ LS s.d. 8° LS dan $110,265^\circ$ BT s.d. $110,5^\circ$ BT.
2. Data mikrotremor yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder hasil pengukuran pada tanggal 22 s.d. 26 Januari 2016 yang bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta dan data primer hasil akuisisi lapangan.
3. Metode yang digunakan dalam pengolahan data mikrotremor adalah metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dan pemodelan inversi menggunakan metode *ellipticity curve*.

4. Penentuan klasifikasi *site class* menggunakan pembobotan nilai kecepatan gelombang geser berdasarkan Laboratorium SNI 1726:2019 oleh Badan Standardisasi Nasional 2019.
5. Penentuan karakteristik *site effect* berdasarkan parameter nilai frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai potensi bahaya gempa bumi melalui kajian karakteristik *site class* dan *site effect* pada tiap formasi geologi Sesar Opak sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi di kawasan Sesar Opak.
2. Sebagai sumber kajian riset perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang Geofisika kebencanaan, baik pada topik sejenis maupun topik lainnya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Karakteristik kurva HVSR di kawasan Sesar Opak terklasifikasi menjadi dua tipe kurva yakni *unclear peak* dengan persentase 91% ditemukan pada seluruh formasi geologi dan tipe kurva *clear peak* dengan persentase 9% pada Formasi Merapi Muda, Nglanggran, Sambipitu dan Aluvium.
2. Kawasan Sesar Opak termasuk dalam 4 klasifikasi *site class* antara lain *site SE* (tanah lunak) dengan V_{s30} antara 139,95 m/s s.d 168,90 m/s, *site SD* (tanah sedang) dengan V_{s30} rentang 176,30 m/s s.d 349,62 m/s, *site SC* (tanah keras) dengan V_{s30} mulai dari 353,19 m/s s.d 615,67 m/s, serta *site SB* (batuan) dengan V_{s30} antara 759,14 m/s s.d 962,37 m/s.
3. Kawasan Sesar Opak memiliki karakteristik *site effect* meliputi: frekuensi dominan mulai dari 0,88 Hz s.d 14,98 Hz mengindikasikan ketebalan sedimen sangat tipis hingga sangat tebal; faktor amplifikasi bervariasi antara 1,44 s.d 7,87 mengindikasikan zona amplifikasi rendah hingga tinggi; serta indeks kerentanan seismik antara 0,27 s.d 46,04 mengindikasikan tingkat kerusakan akibat gempa bumi yang relatif rendah hingga relatif sangat tinggi.
4. Karakteristik *site class* dan *site effect* di kawasan Sesar Opak bervariasi. Formasi Merapi Muda didominasi karakteristik *site SD* dengan f_0 rendah dan

sedang, A_0 sedang hingga tinggi dan Kg relatif rendah hingga sangat tinggi. Formasi Nglanggran didominasi karakteristik *site* SC dengan f_0 tinggi dan sangat tinggi, A_0 sedang dan Kg relatif rendah. Formasi Semilir didominasi karakteristik *site* SB dengan f_0 tinggi dan sangat tinggi, A_0 rendah hingga sedang dan Kg relatif rendah. Formasi Wonosari didominasi karakteristik *site* SC dengan f_0 rendah hingga sangat tinggi, serta A_0 dan Kg relatif rendah. Formasi Sambipitu didominasi karakteristik *site* SC dengan f_0 sedang hingga tinggi, A_0 rendah hingga sedang, serta Kg relatif rendah. Formasi Aluvium didominasi karakteristik *site* SC dengan f_0 dan A_0 rendah hingga tinggi, serta Kg relatif rendah hingga sedang.

5.2 Saran

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

1. Diperlukan kajian lebih mendalam terkait penentuan parameter input dalam pengolahan data menggunakan metode *ellipticity curve*.
2. Diharapkan dapat ditambahkan validasi data bor yang lebih lengkap atau dapat dilakukan pengukuran menggunakan metode lain seperti metode geolistrik pada wilayah kajian yang sama untuk meningkatkan keakuratan analisis dan interpretasi data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. H., Andreas, H., Meliano, I., Gamal, M., Kusuma, MA., Kimata, F., Ando, M. 2007. Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*. **Vol. 4 No. 4** Desember 2009: 275-284.
- Ahrens, T. J. 2012. *Rocks Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constant*. Americal Geophysical Union. Washington.
- Arifin, S. S., Bagus, Marjiyono, dan Setianegara. 2014. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, **Vol.2 No.1 2018** : 30-40.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2019. Tata Cara Perencanaan Destana Tsunami. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI) 1726. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta.
- Burger, H. R. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Susurface*. Englewood Cliffs.
- Daryono, Sutikno, Sartohadi J., Dulbahri, dan Brotopuspito K.S. 2009. Pengkajian *Local Site Effect* di Graben Bantul Menggunakan Indeks Kerentnan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. *Jurnal Kebencanaan Indonesia*, **Vol. 2 No. 1 Mei 2009** : 456-467.
- Daryono. 2010. Aktivitas Gempa Bumi Tektonik di Yoyakarta Menjelang Erupsi Merapi 2010. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Yogyakarta.
- Dobrin, M. B. dan Savit, C. H. 1998. *Introduction to Geophysical Prospecting*. McGraw-Hill Book Co. Singapura.
- Hasan, M. Iqbal. 2001. *Pokok-pokok Materi Statistika I (Statistika Deskriptif)*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Herak, M., 2008, Model HVSR-A Matlab tool to Model Horizontal to Vertical Spectral Ratio of Ambien Noise. *Computer & Geoscience* **34 (2008)** 1514-1526.

- Jamal, A. B. dan Daliya Shadiq Jamal. 2008. *Ensiklopedi Petunjuk Sains dalam Al-Qur'an dan Sunnah Diterjemahkan Oleh Ahrul Tsani Fathurahman*. PT. Kuwais International. Jakarta.
- Kanai, K. 1961. Improved Empirical Formula for Characteristics of Stray Earthquake Motions. Proceedings of the Japanese Earthquake Symposium. Not seen. Reported in Trifunac & Brady (1957)
- Kanai, K. 1983. *Engineering Seismology*. University of Tokyo Press. Japan.
- Lachet, C. dan Brad. 1994. Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *Jurnal Physics Earth*, 42 : 377 – 397.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals Of Geophysics*. Cambridge University Press. New York.
- Manolakis, D. G., dan Ingle. 2011. *Applied Digital Signal Processing*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Mavko, G., Mukerji dan Dvorkin. 2009. *The Rock Physics Handbook*. Cambridge University Press. New York.
- Mirzaoglu, Mete dan Unal Dykmen. 2003. Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure. *Journal of The Balkan Geophysical Society*, **Vol. 6 No. 3** : 143-156.
- 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**.
- Nakamura, Y. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura Technique and Its Application. Japan: System and Data Research Co. Ltd., 3-25-3 Fujimidai, Kunitachi-shi, Tokyo.
- Nakamura, Y. (2008). *On the HV Spectrum*. Beijing: The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Nurahmi, Effendi, R. dan Sandra., 2015. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) di Kelurahan Talise. *Jurnal Gravitasi*, **Vol. 14 No. 1**.
- Nurwidyanto, M. I., Brotopuspito, K. S., Waluyo, dan Sismanto. 2011. Studi Pendahuluan Sesar Opak dengan Metode Gravity (Studi Kasus Daerah Sekitar Kecamatan Pleret Bantul). *Berkala Fisika*, **Vol. 14 No. 1 Januari 2011**: 11-16.

- Ostander, W. J. 1984. Plane Wave Reflection Coefficients for Gas Sands at Nonnormal Angles of Incidence. *Geophysics*, 1637-1648.
- Putra, M. F. N., Rustadi, Haerudin, dan Sulaeman. 2019. Analisis *Site Effect* Berdasarkan Data Mikrotremor dan Nilai *Peak Ground Acceleration* pada Sesar Opak Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, **Vol. 3 No. 3 2019**.
- Putri, Y. D. A. 2016. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. (Skripsi). Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Qothrunnada, N. H., Utami R. Y., dan Rizky S. A. 2022. Menganalisis Bencana Alam Gempa Bumi dalam Perspektif Al-Qur'an. *Prosiding Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam dan Sains P-ISSN 1535697734; E-ISSN 1535698808 Volume 4, 2022*: 257 – 260
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H. M. D. 2012. 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.
- SESAME. 2004. *Guidelines For the Implementation of the HV Spectral Ratio Technique on Ambient Fibration*. Europe: SESAME Europe research project.
- Sheriff, R.E. 2012. *Exploration Seismology*. USA: Cambridge University.
- Setiawan, J. R. 2009. *Mikrozonasi Seismisitas Daerah Istimewa Yogyakarta dan Sekitarnya*. (Tesis). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Soebowo, E., Adrin Tohari, dan Dwi Sarah. 2007. Studi Potensi Likuifaksi di Daerah Zona Patahan Opak Patalan - Bantul, Jogjakarta. *Prosiding Seminar Geoteknologi Kontribusi Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Berkelanjutan, Desember 2007 ISBN : 978-979-799-255-5*: 57-65.
- Telford, W.M. 1990. *Applied Geophysics, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Thompson, G.R., dan Turk. 1998. *Introduction to Physical Geology 2nd Edition*. Philadelphia USA: Saunders College Publishing., **ISBN-13 : 978-0030243486, ISBN-10 : 0030243483**.

- 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.
- Tumurbaatar, Z., Miura H., dan Tsamba T. 2019. Site Effect Assessment in Ulaanbaatar, Mongolia through Inversion Analysis of Microtremor H/V Spectral Ratios. *Geosciences Journal*, **Vol. 9 No. 228** 2019, doi:10.3390/geosciences9050228.
- Verdugo, R. 2018. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. *Elsevier Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.04.045>.
- Walter, T. R., Wang R., dan Luehr B. 2008. The 26 May 2006 Magnitude 6.4 Yogyakarta Earthquake South Of Mt. Merapi Volcano: Did Lahar Deposits Amplify Ground Shaking And Thus Lead To The Disaster?. *Geochemistry Geophysics Geosystems Journal*, **Vol. 9 No. 5 Mei 2008** : 1-9.
- 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.
- Wibowo, N. B, dan Juwita Nur Sembri. 2017. Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) dan Intensitas Gempabumi berdasarkan Data Gempabumi Terasa Tahun 1981 – 2014 di Kabupaten Bantul Yogyakarta. *Indonesian Journal of Applied Physics*, **Vol.7 No.2 Oktober 2017** : 65-72.
- Young, H. D. dan Freedman. 2003. *Fisika Universitas Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.