

**ANALISIS *SITE EFFECT* BERDASARKAN DATA
MIKROTREMOR DAN NILAI *PEAK GROUND
ACCELERATION* PADA SESAR OPAK, KABUPATEN
BANTUL DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD FAJRI NUGROHO PUTRA



**KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2018**

ABSTRACT

SITE EFFECT ANALYSIS BASED ON MICROTREMOR DATA AND VALUE OF PEAK GROUND ACCELERATION ON OPAK FAULT, BANTUL REGENCY SPECIAL REGION OF YOGYAKARTA

By

MUHAMMAD FAJRI NUGROHO PUTRA

Bantul regency is located in the south of special region of Yogyakarta, which close to the subduction zone and active faults. In earthquake disaster mitigation, soil vulnerability classification is required by using site effect characterization and scenario of earthquake hazard with DSHA model. The goals of this study is to determine the site effect with the parameters of the dominant frequency, V_{s30} and amplification, determine the high risk zone of earthquake hazard and create a map of earthquake disaster-prone zone based on site effect and PGA soil value. The stages in this research consist of data processing to obtain the dominant frequency, V_{s30} and amplification, calculate PGA value based on earthquake source from Opak Fault and make a map of earthquake disaster-prone zone in Bantul regency by using earthquake source from Opak fault. Concerning of the site effect, if the dominant frequency and V_{s30} is low, that mean the surface sediment is thick, it is classified as soft soil. The amplification value is inversely related to the dominant frequency and V_{s30} . High amplification values have a high degree of risk of damage, which is usually present in a thick layer of surface sediment. Meanwhile, for PGA in soil, there was a strengthening compared with PGA in bedrock unevenly. This is due to the amplification effect that works at some point. The regions with the highest PGA values are in areas that close into the Opak Fault and decrease with increasing distance. Based on the site effect and estimation of PGA in soil, the area most vulnerable to earthquake disasters is in areas close to the Opak Fault. This is due to the distance factor from the source of the earthquake and the soft soil type located around of Opak Fault.

Keywords : Bantul Regency, Opak Fault, Site Effect, Dominant Frequency, amplification, V_{s30} , DSHA and PGA

ABSTRAK

ANALISIS *SITE EFFECT* BERDASARKAN DATA MIKROTREMOR DAN NILAI *PEAK GROUND ACCELERATION* PADA SESAR OPAK, KABUPATEN BANTUL DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Oleh

MUHAMMAD FAJRI NUGROHO PUTRA

Kabupaten Bantul terletak di selatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang dekat dengan zona subduksi dan sesar aktif. Pada mitigasi bencana gempabumi, diperlukan klasifikasi kerentanan tanah dengan karakterisasi *site effect* dan skenario bahaya kegempaan dengan model DSHA. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan *site effect* dengan parameter nilai frekuensi dominan, V_{s30} dan amplifikasi, menentukan zona bahaya kegempaan dan membuat peta zona rawan bencana gempabumi berdasarkan *site effect* dan nilai PGA permukaan tanah. Tahapan dalam penelitian ini terdiri dari pengolahan data untuk memperoleh nilai frekuensi dominan, V_{s30} dan amplifikasi, menghitung nilai PGA berdasarkan sumber gempa dari Sesar Opak dan membuat peta zona rawan bencana gempabumi di Kabupaten Bantul dengan sumber gempa berasal dari Sesar Opak. Mengenai *site effect*, untuk nilai frekuensi dominan dan V_{s30} yang rendah menandakan ketebalan sedimen permukaan yang tebal, sehingga tergolong sebagai tanah lunak. Nilai amplifikasi berbanding terbalik terhadap frekuensi dominan dan V_{s30} . Nilai amplifikasi yang tinggi memiliki tingkat resiko kerusakan yang tinggi, yang biasanya terdapat pada lapisan sedimen permukaan yang tebal. Sedangkan untuk PGA permukaan tanah, terjadi penguatan dibandingkan dengan besar PGA di batuan dasar secara tidak merata. Hal ini dikarenakan adanya efek amplifikasi yang bekerja pada beberapa titik. Daerah dengan nilai PGA tertinggi terdapat pada daerah yang dekat dengan Sesar Opak dan terus berkurang seiring bertambahnya jarak. Berdasarkan *site effect* dan estimasi PGA permukaan tanah, daerah yang paling rentan terhadap bencana gempabumi yaitu pada wilayah yang dekat dengan Sesar Opak. Hal ini dikarenakan faktor jarak dari sumber gempa dan jenis tanah lunak yang terdapat di sekitar Sesar Opak.

Kata kunci : Kabupaten Bantul, Sesar Opak, *site effect*, frekuensi dominan, amplifikasi, V_{s30} , DSHA dan PGA

**ANALISIS *SITE EFFECT* BERDASARKAN DATA
MIKROTREMOR DAN NILAI *PEAK GROUND
ACCELERATION* PADA SESAR OPAK, KABUPATEN
BANTUL DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

Oleh

MUHAMMAD FAJRI NUGROHO PUTRA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi

: **ANALISIS *SITE EFFECT* BERDASARKAN
DATA MIKROTREMOR DAN NILAI *PEAK
GROUND ACCELERATION* PADA SESAR
OPAK, KABUPATEN BANTUL DAERAH
ISTIMEWA YOGYAKARTA**

Nama Mahasiswa

: **Muhammad Fajri Nugroho Putra**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315051031

Jurusan

: **Teknik Geofisika**

Fakultas

: **Teknik**



Pembimbing I

Pembimbing II

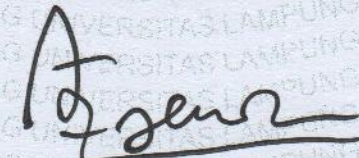

Rustadi, S.Si., M.T.

NIP 19720511 199703 1 002


Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.

NIP 19750911 200012 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.


NIP 19720928 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

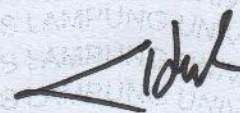
Ketua

: Rustadi, S.Si., M.T.



Sekretaris

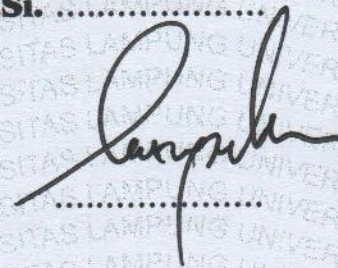
: Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Karyanto, S.Si., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Januari 2018

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Januari 2018

Penulis,



Muhammad Fajri Nugroho Putra

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandung pada tanggal 28 Mei 1995. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Teguh Wijanarko dan Ibu Murtiningsih. Penulis mengawali pendidikan Taman Kanak – kanak di TK Citra Melati Kedaton, Bandar Lampung pada tahun 2001 dan melanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Segala Mider, Bandar Lampung pada tahun 2007. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 2010. Dan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Perintis 1 Bandar Lampung pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Tes Tertulis). Pada periode 2015/2016, penulis menjadi anggota Kesekretariatan Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung. Pada periode 2016 penulis juga tercatat sebagai anggota divisi *Fieldtrip* AAPG SC UNILA dan juga sebagai anggota divisi *Public Relations* SEG SC UNILA. Pada Januari tahun 2016 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata di Desa Wiratama, Kecamatan Penawartama, Kabupaten Tulang Bawang selama 60 hari. Pada Tahun 2016 penulis berperan sebagai panitia pada kegiatan GWES (*Geophysics Workshop Expo & Seminar*). Didalam pengaplikasian ilmu di bidang Geofisika.

Penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktek di PT. Pertamina Upstream Technology Center (UTC), Jakarta Pusat dan mengambil tema “Pengolahan Data Seismik *2D Land Pre-Stack Time Migration* Menggunakan Software Omega”. Penulis juga melakukan Tugas Akhir untuk penulisan skripsi pada Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Bandung hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada tanggal 16 Januari 2018 dengan skripsi yang berjudul “**Analisis *Site Effect* Berdasarkan Data Mikrotremor Dan Nilai *Peak Ground Acceleration* Pada Sesar Opak, Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta**”

PERSEMBAHAN

*Aku persembahkan karyaku ini untuk,
Bapak dan Ibuku Tercinta*

Adik-adikku Tersayang

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2013

Keluarga Besar Teknik Geofisika UNILA

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

*Lebih baik menyesal karena mencoba daripada
menyesal karena tidak pernah mencoba*

(Penulis)

*Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai
dengan kadar kesanggupannya.*

(Q.S Al-Baqarah ayat 286)

SANWACANA

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Dalam pelaksanaan dan penyelesaian ini tentunya tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang bersangkutan :

1. Kedua orangtua saya, **Bapak Teguh Wijanarko, A.Ks** dan **Ibu Murtiningsih A.Ks.**, yang telah memberikan semangat serta do'a untuk penulis.
2. Kedua adik saya, **Putri Oktaviani** dan **Citra Putri** yang memberikan motivasi besar kepada penulis.
3. Bapak **Prof. Suharno, B.Sc.,M.sc.,Ph.D.**, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak **Dr. Ahmad Zaenudin, S. Si., M. T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dan sebagai Pembimbing Akademik yang telah memberikan waktu, saran, pengarahan dan motivasinya kepada penulis.
5. Bapak **Rustadi, S.Si., M.T.**, sebagai Pembimbing I serta yang telah memberikan waktu dan pengarahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Bapak **Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si**, selaku Pembimbing II yang

telah memberikan saran, pengarahan dan motivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

7. Bapak **Karyanto, S.Si., M.T.**, selaku Penguji yang telah memberi masukan dan perbaikan sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
8. Bapak **Drs. Cecep Sulaeman, M.Si.**, selaku pembimbing di PVMBG yang telah memberikan waktu, bimbingan, arahan, serta ilmu yang bermanfaat.
9. Seluruh Dosen dan Staff TU Jurusan Teknik Geofisika, Staff Dekanat Fakultas Teknik, Staff Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, terimakasih atas bantuannya.
10. **Dwi, Aloy dan Kurnia**, teman seperjuangan Tugas Akhir yang menemani dan membantu saat kesulitan melanda di perantauan.
11. Keluarga Teknik Geofisika 2013 tercinta, yang tak pernah lelah saling menyemangati, menghibur dan memotivasi selama menjalankan studi.
12. Kak Ucup, Kak Sigit dan Sule 12 yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.
13. Semua pihak yang telah membantu terlaksananya Tugas Akhir ini.

Semoga do'a, bantuan, bimbingan dan motivasi yang kalian berikan mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis berharap skripsi yang sederhana ini bermanfaat bagi kita semua, khususnya bagi penulis pribadi dan pengembangan pengetahuan pada umumnya

Penulis

Muhammad Fajri Nugroho Putra

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Letak Geografis Penelitian	4
2.2 Struktur Geologi Kabupaten Bantul	6

2.3	Sesar Opak	8
2.4	Sejarah Gempabumi Merusak di Yogyakarta	10

III. TEORI DASAR

3.1	Klasifikasi Gempabumi	12
3.2	Mikrotremor	13
3.3	Model Sumber Gempa	14
3.4	Mikrozonasi	19
3.5	<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSZ)</i>	21
3.6	Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30}).....	22
3.7	Amplifikasi	23
3.8	Fungsi Atenuasi	25
3.9	Fungsi Atenuasi Untuk Model Gempa Patahan	26
3.10	<i>Peak Ground Acceleration (PGA)</i>	32
3.11	<i>Logic Tree</i>	33
3.12	Seismic Hazard Analysis	35

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1	Alat dan Bahan	37
4.2	Waktu dan Tempat Penelitian	37
4.3	Diagram Alir Penelitian.....	38
4.4	Tahapan Pengolahan Data	39

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1	Hasil.....	43
5.2	Pembahasan	43

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1	Kesimpulan.....	69
6.2	Saran	70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta administrasi provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.....	5
Gambar 2. Peta geologi Kabupaten Bantul, berdasarkan peta geologi lembar Yogyakarta	8
Gambar 3. Distribusi episenter gempa bumi kuat periode 1840 – 2006	11
Gambar 4. Perbedaan sinyal tremor dan gempa bumi.....	14
Gambar 5. Model segmentasi dan parameter sumber gempa subduksi (<i>megathrust</i>) wilayah Indonesia	16
Gambar 6. Magnitudo maksimum dan <i>slip-rates</i> sumber gempa patahan	18
Gambar 7. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik dan frekuensi resonansi di tanah permukaan.....	24
Gambar 8. Model <i>logic tree</i> untuk sumber gempa sesar.....	34
Gambar 9. Model <i>logic tree</i> untuk sumber gempa subduksi.....	34
Gambar 10. Model <i>logic tree</i> untuk sumber gempa <i>background</i>	35
Gambar 11. Diagram alir penelitian	38
Gambar 12. Kotak dialog <i>HV Tools</i>	40
Gambar 13. Kurva HVSR hasil pengolahan	41
Gambar 14. Peta persebaran frekuensi dominan di Kabupaten Bantul	44
Gambar 15. Peta persebaran frekuensi dominan di Kabupaten Bantul berdasarkan klasifikasi Kanai	47
Gambar 16. Peta persebaran V_{s30} di Kabupaten Bantul	50

Gambar 17. Peta persebaran V_{s30} di Kabupaten Bantul berdasarkan klasifikasi NEHRP.....	52
Gambar 18. Peta persebaran amplifikasi di Kabupaten Bantul.....	55
Gambar 19. Peta <i>PGA Bedrock</i> di Kabupaten Bantul akibat Sesar Opak.....	57
Gambar 20. Peta <i>PGA Surface</i> di Kabupaten Bantul akibat Sesar Opak.....	60
Gambar 21. Peta rawan bencana gempabumi di Kabupaten Bantul.....	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Parameter sumber gempa <i>fault</i> untuk daerah Jawa dan sekitarnya	19
Tabel 2. Kalisifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor Oleh Kanai	20
Tabel 3. Klasifikasi tanah Kanai – Omote – Nakajima	21
Tabel 4. Klasifikasi <i>site class</i> berdasarkan NEHRP	23

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Yogyakarta merupakan provinsi yang rawan akan terjadinya bencana alam. Hal ini dikarenakan provinsi ini terletak di selatan Pulau Jawa, dekat dengan gunung api, zona subsuksi dan sesar aktif. Keberadaan Gunung Merapi, sehingga provinsi ini rawan akan terjadinya erupsi gunung api maupun gempa vulkanik. Sedangkan pada zona subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia dan sesar aktif Opak, rawan akan terjadinya gempa bumi. Gempa bumi besar terakhir yang terjadi di Yogyakarta terjadi pada 27 Mei 2006 berkekuatan 6,3 Mw dengan episenter $8,03^{\circ}$ LS $110,32^{\circ}$ BT dan hiposenter 11,3 km.

Bencana ini menyebabkan sejumlah retakan tanah, likuifaksi, dan longsor terjadi di wilayah Yogyakarta, dampak guncangan gempa cukup kuat dengan Kabupaten Bantul yang mengalami bencana terparah. Upaya mitigasi tersebut harus dilakukan secara terus menerus yang bertujuan untuk meminimalkan risiko bencana gempa dan tsunami di wilayah Yogyakarta yang mungkin akan terulang di masa yang akan datang.

Pada mitigasi bencana gempa bumi, diperlukan klasifikasi kerentanan tanah berdasarkan parameter nilai frekuensi, periode, kecepatan gelombang geser (V_s) dan amplifikasi. Dengan memanfaatkan data yang tercatat oleh seismometer tiga komponen yang dihitung dengan menggunakan modul *Horizontal to Vertikal*

Spectral Ratio (HVSR) hingga mendapatkan nilai-nilai parameter tersebut.

Peak Ground Acceleration (PGA) merupakan percepatan gerak tanah yang timbul akibat adanya gempa bumi. Untuk mengetahui nilai PGA suatu daerah, dapat dihitung dari gempa bumi yang bersumber dari patahan maupun sesar aktif. Selanjutnya dapat ditentukan daerah rawan kerusakan apabila terjadinya gempa bumi berdasarkan besar kecilnya nilai PGA pada daerah tersebut. Wilayah di sekitar zona subduksi maupun zona sesar aktif memiliki nilai PGA yang besar dan akan melemah seiring bertambahnya jarak dari sumber.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai frekuensi dominan, V_{S30} dan amplifikasi di Kabupaten Bantul berdasarkan data mikrotremor.
2. Menentukan zona bahaya kegempaan berdasarkan pendekatan *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Bantul.
3. Membuat peta zona rawan bencana gempa bumi di Kabupaten Bantul berdasarkan nilai frekuensi dominan, V_{S30} , amplifikasi dan *Peak Ground Acceleration*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian mikrotremor di Kabupaten Bantul, jumlah data sekunder sebanyak 126 titik yang tersebar secara *grid*.

2. Analisis *site effect* yang mencakup nilai frekuensi dominan, V_{S30} dan amplifikasi di Kabupaten Bantul.
3. Estimasi nilai PGA dalam analisis bahaya kegempaan di Kabupaten Bantul dengan sumber gempa berasal dari Sesar Opak.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari Penelitian ini antara lain :

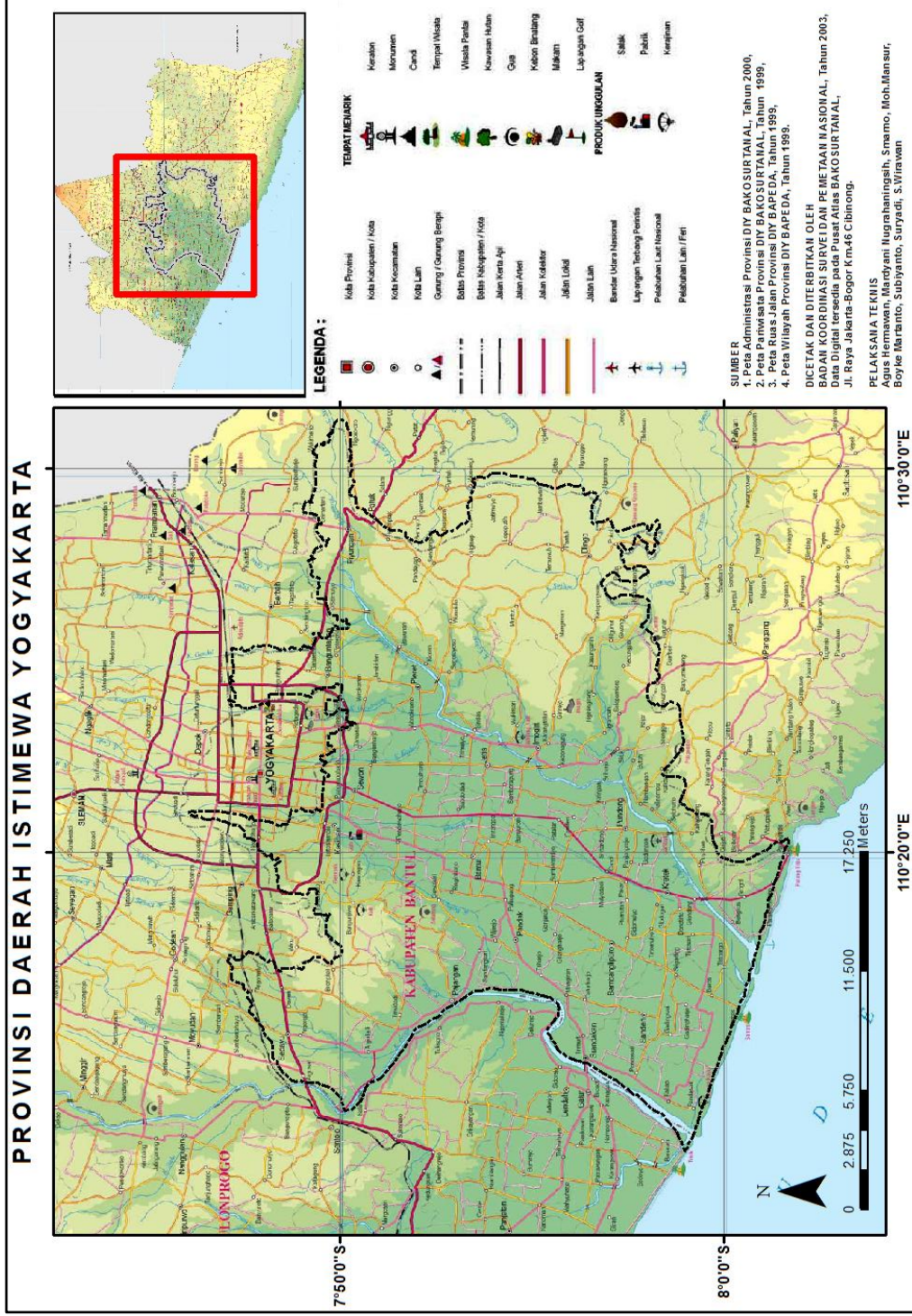
1. Daerah-daerah yang rentan terhadap bahaya gempabumi di Kabupaten Bantul dapat diketahui dan dipetakan persebarannya sehingga memungkinkan untuk dilakukan perencanaan pembangunan yang lebih tepat dan lebih baik.
2. Dapat menggambarkan seberapa besar nilai Percepatan Tanah (*Peak Ground Acceleration/PGA*) di Kabupaten Bantul jika terjadi gempabumi dengan magnitudo terbesar yang diperkirakan dapat terjadi pada Sesar Opak yang terbentang di Kabupaten Bantul.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Letak Geografis Penelitian

Daerah penelitian ini dilakukan di Kabupaten Bantul yang terletak di bagian selatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 1**. Kabupaten Bantul terletak antara $07^{\circ} 44' 04''$ - $08^{\circ} 00' 27''$ lintang selatan dan $110^{\circ} 12' 34''$ - $110^{\circ} 31' 08''$ bujur timur. Kabupaten Bantul terdiri dari 17 kecamatan. Batas-batas wilayah Kabupaten Bantul yaitu sebagai berikut (Hermawan, dkk, 2003) :

- Bagian utara berbatasan langsung dengan Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman.
- Bagian selatan berbatasan dengan Samudra Hindia.
- Bagian timur berbatasan langsung dengan Kabupaten Gunungkidul.
- Bagian barat berbatasan langsung dengan Kabupaten Kulonprogo.



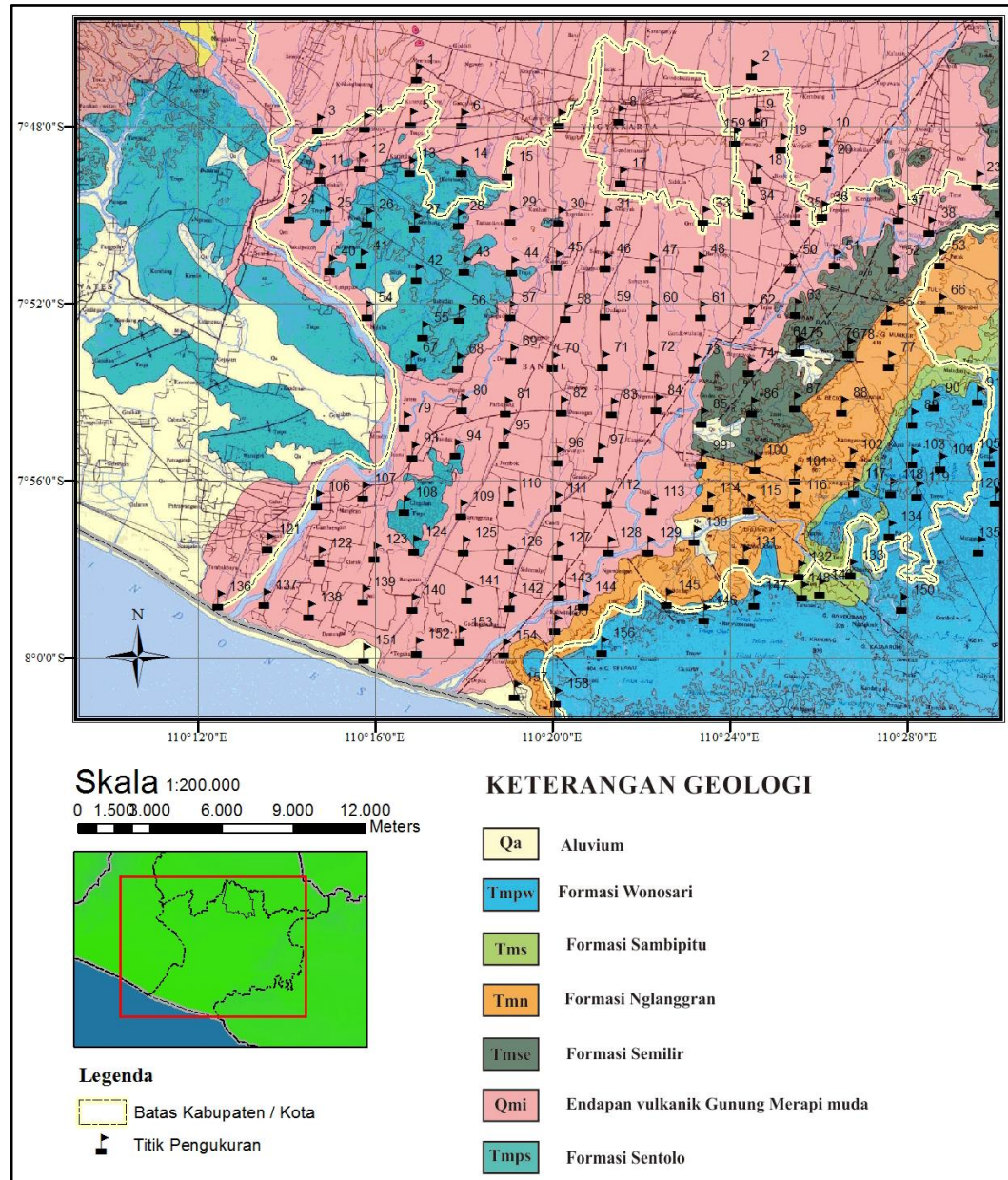
Gambar 1. Peta administrasi provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (Hermawan, dkk, 2003)

2.2 Struktur Geologi Kabupaten Bantul

Peta geologi lembar Yogyakarta dapat dilihat pada **Gambar 2** dengan pemaparan sebagai berikut :

- a. **Qa** merupakan endapan permukaan berupa andesit yang terbentuk pada periode Kwartar.
- b. **Tmpw** merupakan batuan sedimen dan perselingan batuan gunung api yang terdapat pada formasi wonosari, terbentuk pada periode Tersier kalaMiosen sampai tersier. Selaras di atas Formasi Sambipitu terdapat Formasi Oyo – Wonosari. Formasi ini terutama terdiri-dari batugamping dan napal. Penyebarannya meluas hampir setengah bagian dari Pegunungan Selatan memanjang ke timur.
- c. **Tms** merupakan batuan sedimen dan perselingan batuan gunung api yang terdapat pada formasi Sambipitu, terbentuk pada periode Tersier kalaMiosen. Formasi ini tersusun oleh batu pasir yang bergradasi menjadi batu lanau atau batu lempung. Pada bagian bawah, batu pasi masih menunjukkan sifat vulkanik.Sifat vulkanik ini berubah menjadi batupasir yang bersifat gampingan ke arah atas.
- d. **Tmn** merupakan batuan sedimen dan perselingan batuan gunung api yang terdapat pada formasi Nglanggran, terbentuk pada periode Tersier kala Miosen.Formasi Nanggulan mempunyai penyusun yang terdiri dari batu pasir, sisipan lignit, napal pasiran dan batu lempungan dengan konkresi limonit, batu gamping dan tuff, kaya akan fosil foraminifera dan moluska dengan ketebalan 300 m.

- e. **Tmse** merupakan batuan sedimen dan perselingan batuan gunung api yang terdapat pada formasi Semilir, terbentuk pada periode Tersier dan kala Miosen. Secara umum formasi ini tersusun oleh batupasir dan batulanau yang bersifat tufan, ringan, dan kadang-kadang diselingi oleh selaan breksi vulkanik.
- f. **Qmi** merupakan batuan gunung api yang berupa endapan vulkanik Gunung Merapi yang tergolong muda, terbentuk pada periode Kwartar.
- g. **Tmps** merupakan batuan sedimen dan perselingan batuan gunung api yang terdapat pada formasi Sentolo, terbentuk pada periode Tersier kala Miosen. Formasi Sentolo ini mempunyai batuan penyusun berupa batu pasir napalan dan batu gamping, dan pada bagian bawahnya terdiri dari napal tuffan. Ketebalan formasi ini sekitar 950 m. Letak formasi ini tidak selaras dengan formasi Jonggrangan.



Gambar 2. Peta geologi Kabupaten Bantul, berdasarkan peta geologi lembar Yogyakarta (Rahardjo, dkk, 1977).

2.3 Sesar Opak

Pola perpindahan di daerah studi memperlihatkan terdapat tiga blok yang bergerak masing-masing ke arah timurlaut, baratdaya, dan barat. Namun, bila dilihat sebaran data pengukuran dan validasi estimasi, data yang lebih lengkap berada di timurlaut dan di tengah daerah studi, sehingga dapat dikatakan bahwa

perpindahan yang dominan adalah di sebelah timur ke timurlaut dan di sebelah barat ke baratdaya. Pola perpindahan tersebut menunjukkan jenis sesar di daerah studi adalah sesar mendatar mengiri dengan arah baratdaya - timurlaut. Berdasarkan data geologi, di daerah penelitian terdapat sesar yang dikenal dengan Sesar Opak berarah baratdaya - timurlaut (Wartono, 1995), sedangkan jenis sesar hasil penelitian ini sama dengan yang dilaporkan USGS, yaitu sesar mendatar mengiri.

Jenis sesar dan nilai *strain* normal dalam arah barat - timur terlihat lebih besar dibandingkan dengan nilai *strain* normal dalam arah selatan-utara. Hal tersebut karena daerah penelitian mendapat gaya dalam arah selatan - utara yaitu subduksi. Oleh karena Sesar Opak berarah baratdaya - timurlaut, maka blok timur bergerak ke arah timurlaut dan blok barat ke arah baratdaya.

Hasil analisis *strain* geser maksimum memperlihatkan terdapat anomali positif di tiga lokasi, namun anomali yang berlokasi di timur Bantul dianalisis sebagai posisi sumber gempa utama 27 Mei 2006. Hal tersebut karena letak anomali positif tersebut membentuk pola yang berarah baratdaya – timurlaut yang dianalisis sebagai arah sesar. Persamaan *strain* geser maksimum untuk menentukan posisi sumber gempa tersebut mirip dengan metode lingkaran Mohr dalam mekanika batuan untuk menganalisis pecahnya suatu batuan.

Pola perpindahan dan pola arah anomali *strain* geser maksimum di daerah penelitian menunjukkan adanya sesar berarah baratdaya - timurlaut dengan jenis sesar mendatar mengiri. Sesar tersebut dikenal dengan nama Sesar Opak. Aktivitas Sesar Opak tersebut sebagai penyebab gempa bumi tanggal 27 Mei 2006. Posisi sumber gempa bumi 27 Mei 2006 diperkirakan berlokasi pada jarak

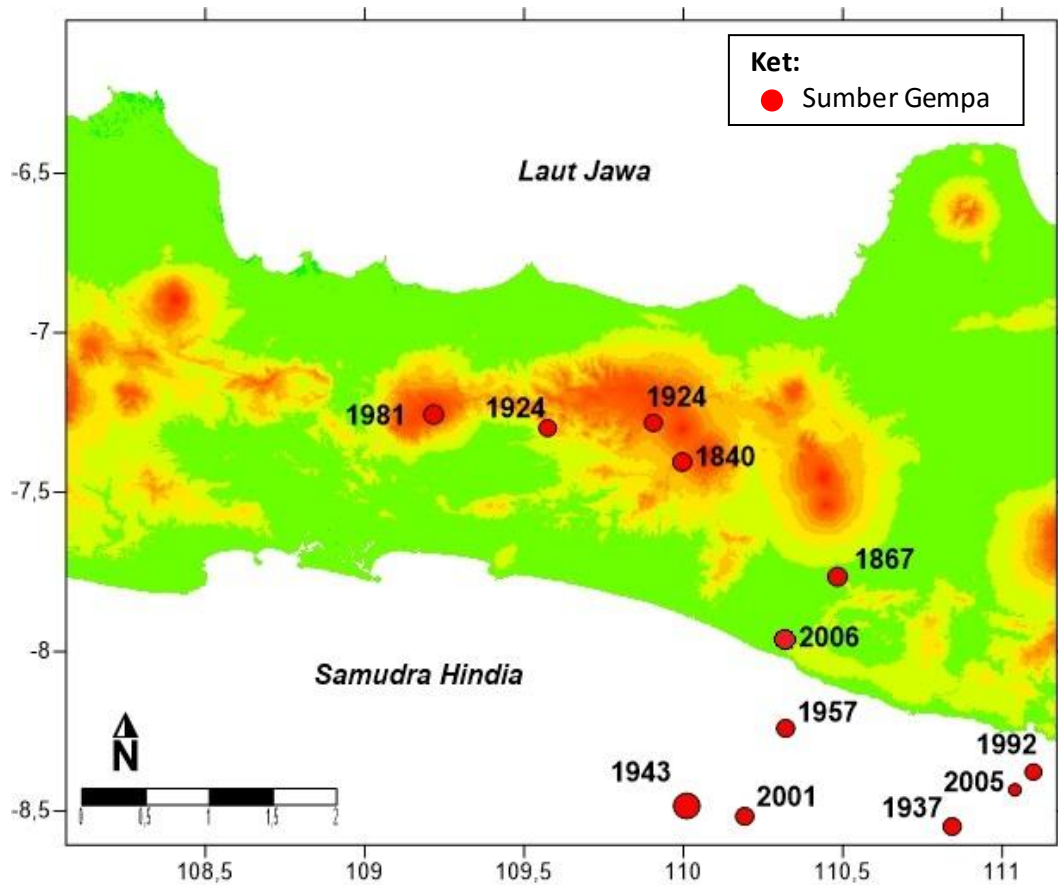
10 km sebelah timur Bantul.

Nilai momen seismik (M_0) gempa bumi Yogyakarta 2006 adalah $8,1385 \times 10^{25}$ dyne cm dan momen magnitudo (M_w) adalah 6,5. Nilai *strain* normal yang berorientasi dalam barat - timur lebih besar dibandingkan dengan nilai *strain* normal yang berorientasi dalam arah selatan – utara (Sulaeman, dkk, 2008).

2.4 Sejarah Gempabumi Merusak di Yogyakarta

Berdasarkan catatan sejarah kegempaan Jawa antara tahun 1840 hingga 2010, Daerah Yogyakarta mengalami gempabumi merusak lebih dari 13 kali seperti yang terlihat pada **Gambar 3**. Gempabumi yang pertamakali tercatat adalah Gempabumi Purworejo (1840). Gempabumi ini terjadi pada tanggal 4 Januari 1840. Daerah yang mengalami kerusakan meliputi Kebumen, Purworejo, Bantul, Salatiga, Demak, Semarang, Kendal dan Banjarnegara.

Selanjutnya adalah gempabumi besar pada tanggal 10 Juni 1867 menyebabkan 372 rumah robohdan 5 orang meninggal. Getaran gempabumi ini terasa hingga Klaten, Salatiga, Surakarta, dan Sragen. Gempabumi besar juga terjadi pada tanggal 23 Juli 1943. Kota-kota yang mengalami kerusakan adalah Cilacap, Tegal, Purwokerto, Kebumen, Purworejo, Bantul, dan Pacitan. Korban meninggal sebanyak 213 orang, sedangkan korban luka mencapai 2.096 jiwa. Terakhir adalah Gempabumi pada tanggal 27 Mei 2006. Meskipun kekuatan gempabumi ini relatif kecil ($M=6.4$), namun mengakibatkan lebih dari 6.000 korbanmeninggal (Daryono, 2010).



Gambar 3. Distribusi episenter gempabumi kuat periode 1840 – 2006 (Daryono, 2010)

III. TEORI DASAR

3.1 Klasifikasi Gempabumi

Gempabumi merupakan salah satu hal yang dapat menimbulkan penjalaran gelombang seismik. Gempabumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi di litosfer. Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau tarikan yang terus menerus menyebabkan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran dan akhirnya terjadi patahan secara tiba-tiba. Energi stress yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang dikenal dengan sebutan gempabumi (Fulki, 2011).

Ada beberapa jenis gempabumi yang dapat diklasifikasi berdasarkan berbagai aspek. Menurut sumber terjadinya, gempabumi dikelompokkan menjadi:

1. Gempa tektonik adalah gempabumi yang berasal dari pergeseran lapisan lapisan batuan sepanjang bidang sesar di dalam bumi.
2. Gempa vulkanik adalah gempabumi yang berasal dari pergerakan magma karena aktivitas gunungapi.
3. Gempa longsor atau runtuh adalah gempabumi yang terjadi karena aktivitas runtuh pada daerah pertambangan atau daerah tanah longsor.

4. Gempa buatan adalah gempabumi yang terjadi karena adanya aktivitas manusia di kulit bumi yang menyebabkan getaran yang cukup kuat.

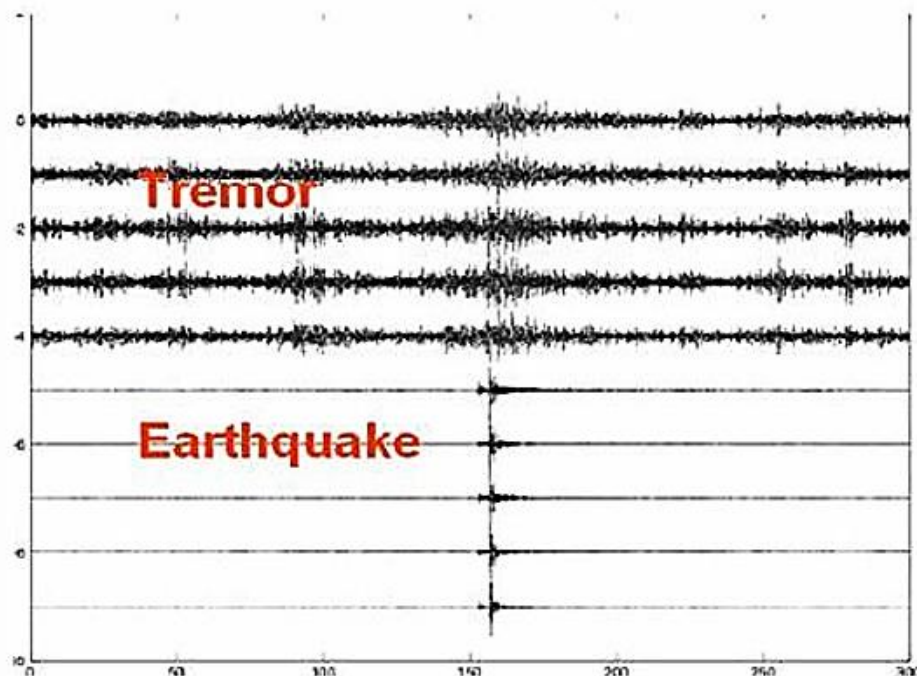
Berdasarkan kekuatannya atau magnitudo (M), gempabumi dapat dibedakan:

1. Gempabumi sangat besar dengan magnitudo lebih besar dari 8 SR.
2. Gempabumi besar magnitudo antara 7 hingga 8 SR.
3. Gempabumi merusak magnitudo antara 5 hingga 6 SR.
4. Gempabumi sedang magnitudo antara 4 hingga 5 SR.
5. Gempabumi kecil dengan magnitudo antara 3 hingga 4 SR.
6. Gempabumi mikro magnitudo antara 1 hingga 3 SR.
7. Gempabumi ultra mikro dengan magnitudo lebih kecil dari 1 SR (Ibrahim dan Subardjo, 2005).

3.2 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak dilapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi).

Dalam kajian teknik kegempaan, litologi yang lebih lunak mempunyai resiko yang lebih tinggi bila digoncang gelombang gempabumi, karena akan mengalami penguatan (amplifikasi) gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. Gempabumi dan tremor dapat dibedakan dengan mudah bila dilihat pada rekaman seismograf. Getaran tremor berupa getaran yang terus menerus, tidak dapat ditentukan dimana awal getarannya secara jelas. Getaran gempa bumi berupa getaran yang besar dan secara tiba-tiba, seperti yang terlihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Perbedaan sinyal tremor dan gempabumi (Ibrahim dan Subardjo, 2005)

3.3 Model Sumber Gempa

a. Model sumber gempa *background* (*gridded seismicity*)

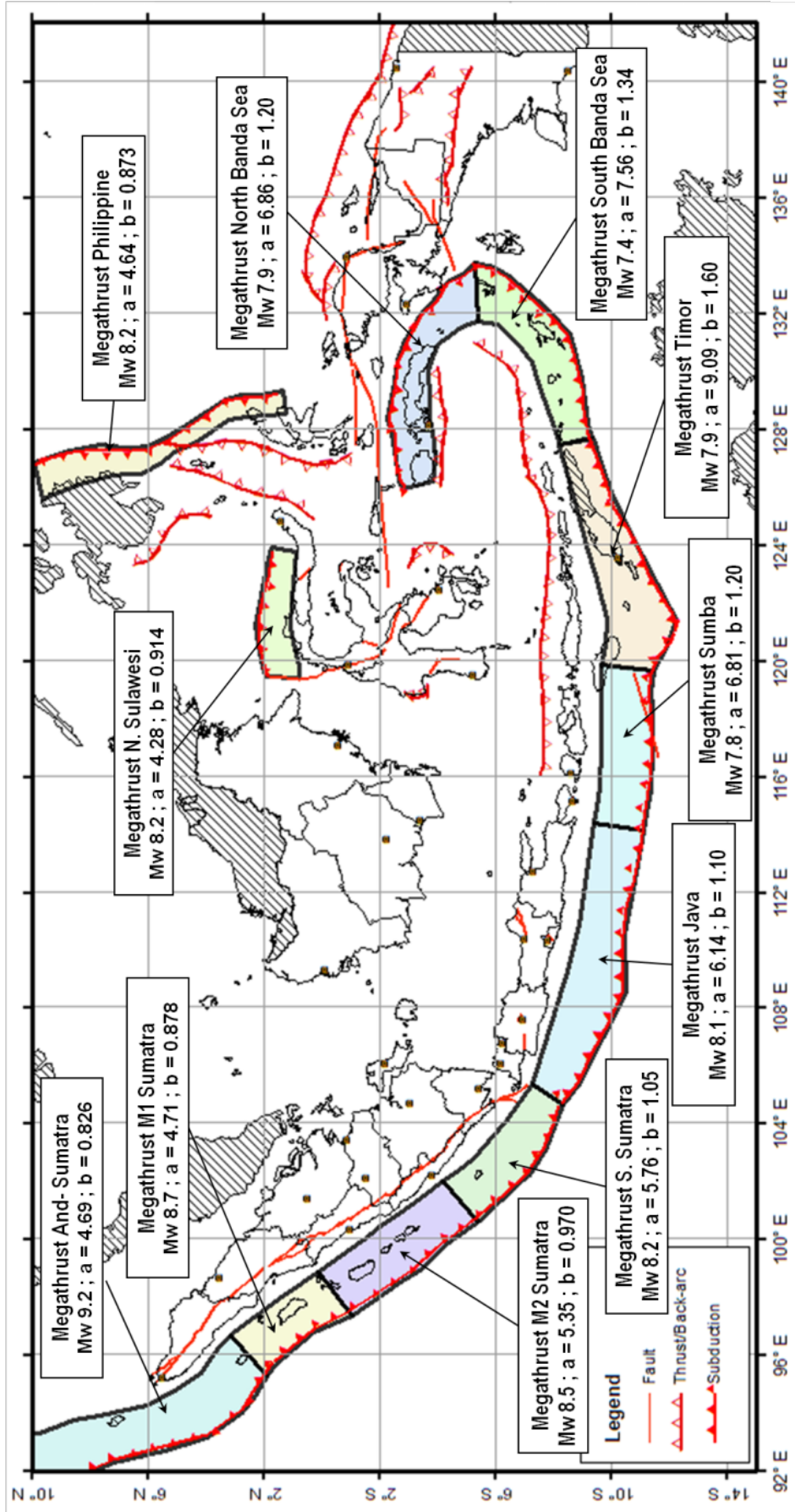
Model *gridded (smoothed) seismicity* digunakan untuk mengestimasi rute dari kejadian gempa sedang yang akan datang di daerah *fault* dan gempa-gempa acak di luar *fault*. Model ini memprediksikan bahwa kejadian gempa yang lebih

besar kemungkinan dapat terjadi di daerah sekitar gempa-gempa kecil sampai sedang yang telah terjadi sebelumnya. Oleh karena itu, pada daerah yang data *fault*-nya belum teridentifikasi dengan jelas, tetapi di daerah tersebut mempunyai sejarah gempa, maka model ini sangat sesuai. Kejadian gempa Yogyakarta tahun 2006 dengan magnituda $M = 6,4$ adalah salah satu contoh, dimana di daerah tersebut sebelumnya teridentifikasi *fault*-nya belum jelas dan gempa historis yang terjadi hanya gempa-gempa kecil saja.

b. Model sumber gempa pada zona subduksi

Sumber gempa subduksi adalah model yang didapat dari data seismotektonik yang sudah teridentifikasi dengan baik. Parameter dari model ini meliputi lokasi subduksi yang dituangkan dalam koordinat *latitude* dan *longitude*, kemiringan bidang subduksi (*dip*), rate dan *b-value* dari areal subduksi yang bisa didapatkan dari data gempa historis, serta batas kedalaman area subduksi.

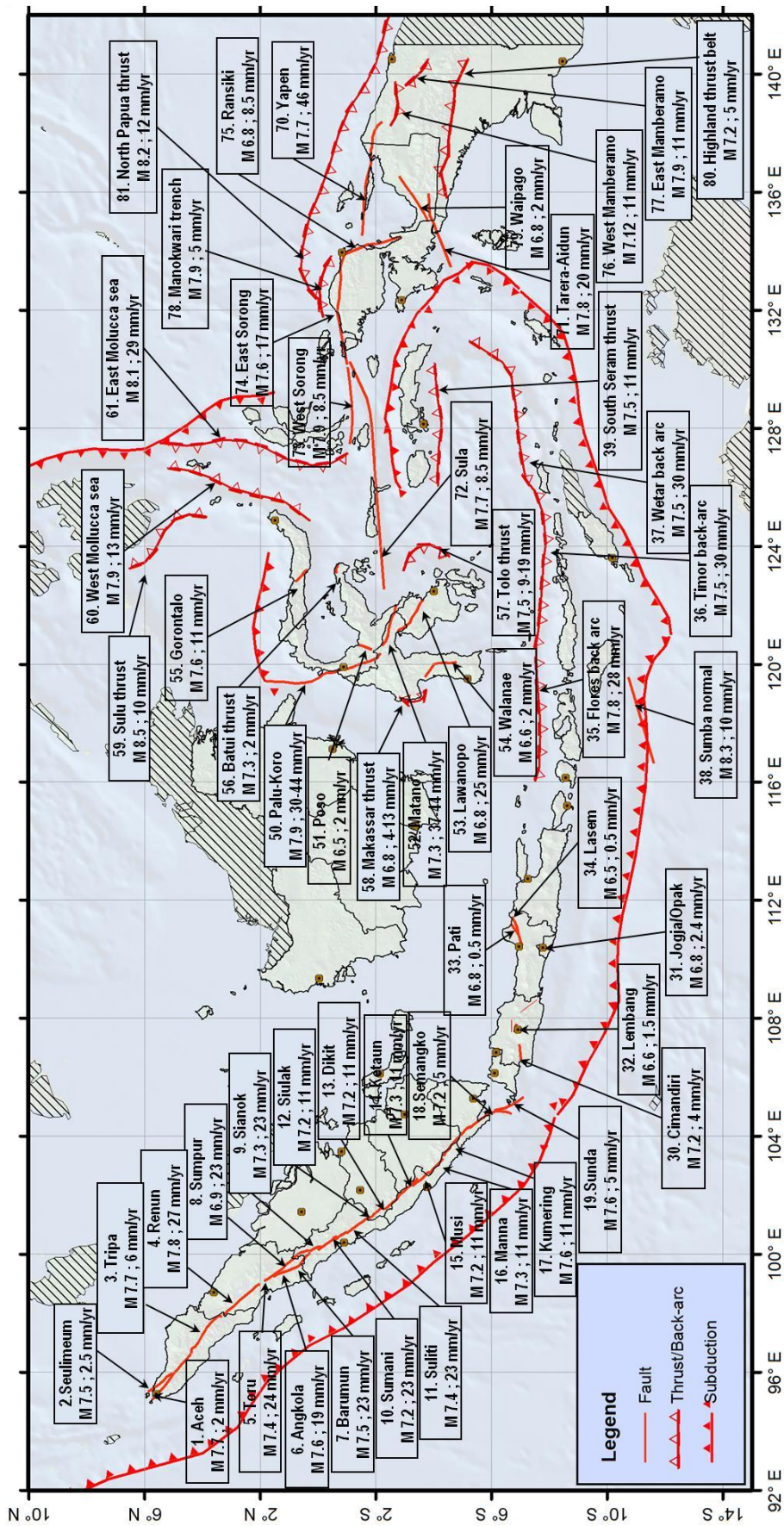
Kemiringan bidang subduksi didapat dari model Tomografi. Batas kedalaman maksimum dari sumber gempa ini adalah 50 km atau merupakan daerah *Megathrust*. Untuk daerah yang lebih dalam (lebih dari 50 km) diwakili oleh model sumber gempa *deep background* yang merupakan gempa-gempa *benioff*. Sumber-sumber gempa subduksi yang digunakan adalah *Megathrust* segmen Andaman-Sumatra, *Megathrust* segmen Nias Sumatra, *Megathrust* segmen Siberut Sumatra, *Megathrust* segmen Jawa, *Megathrust* segmen Sumba, *Megathrust* segmen Timor, *Megathrust* segmen Laut Banda, *Megathrust* segmen Utara Sulawesi dan *Megathrust* segmen Pilipina seperti yang terlihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Model segmentasi dan parameter sumber gempa subduksi (*megathrust*) wilayah Indonesia (Irsyam, dkk, 2010)

c. Modul sumber gempa pada zona patahan

Model sumber gempa *fault* ini juga disebut sebagai sumber gempa tiga dimensi karena dalam perhitungan probabilitas jarak, yang dilibatkan adalah jarak dari *site* ke *hypocenter*. Jarak ini memerlukan data *dip* dari *fault* yang akan dipakai sebagai perhitungan probabilitas tersebut. Parameter-parameter yang diperlukan untuk analisis probabilitas dengan model sumber gempa sesar adalah *fault trace*, mekanisme pergerakan, *slip-rate*, *dip*, panjang dan lebar *fault*. Pada **Tabel 1** diperlihatkan parameter sumber gempa *fault* untuk daerah Jawa dan sekitarnya. Penentuan lokasi sesar (*fault trace*) ini berdasarkan data-data peneliti yang sudah dipublikasi yang kemudian di *trace* ulang dengan menggunakan data *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) yang berbentuk peta geomorfologi dan data gempa historis yang sudah direlokasi. Dari hasil *trace* ini didapatkan panjang dari sesar yang dicari. Data-data yang lain didapatkan dari referensi yang sudah dipublikasi dan hasil diskusi dengan para ahli geologi, geofisika, geodinamika dan seismologi yang tergabung dalam Tim Teknis Revisi Peta Gempa Indonesia seperti yang terlihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Magnitudomaksimum dan slip-rates sumber gempa patahan (Irsyam, dkk, 2010)

Tabel 1. Parameter sumber gempa *fault* untuk daerah Jawa dan sekitarnya

<i>Fault</i>		<i>Slip - Rate</i>		<i>Sense Mechanism</i>	<i>Dip</i>	<i>Top</i>	<i>Bottom</i>	<i>L (km)</i>	<i>M max</i>
<i>ID</i>	<i>Name</i>	<i>mm/year</i>	<i>Weight</i>						
30	Cimandiri	4	1	<i>Strike slip</i>	90	3	18	62,2	7,20
31	Opak (Jogja)	2,4	1	<i>Strike slip</i>	90	3	18	31,6	6,80
32	Lembang	1,5	1	<i>Strike slip</i>	90	3	18	34,4	6,60
33	Pati	0,5	1	<i>Strike slip</i>	90	3	18	51,4	6,80
34	Lasem	0,5	1	<i>Strike slip</i>	90	3	18	114,9	6,50
35	Flores back-arc	28	1	<i>Reverse slip</i>	45	3	20	504,6	7,80
36	Timor back-arc	30	1	<i>Reverse slip</i>	45	3	20	504,6	7,50
37	Wetar back -arc	30	1	<i>Reverse slip</i>	45	3	20	468,0	7,50
38	Sumba normal	10	1	<i>Normal slip</i>	60	3	18	653,0	8,30
39	South Seram thrust	11	1	<i>Normal slip</i>	45	3	20	339,9	7,50

3.4 Mikrozonasi

Mikrozonasi mikrotremor adalah suatu proses pembagian area berdasarkan parameter tertentu memiliki karakteristik yang dipertimbangkan antara lain adalah getaran tanah atau frekuensi, faktor penguatan (amplifikasi) dan periode dominan. Secara umum, mikrozonasi mikrotremor dapat dikatakan sebagai proses untuk memperkirakan respon dan tingkah laku dari lapisan tanah atau sedimen terhadap adanya gempabumi (Arifin, dkk, 2014).

a. Frekuensi dominan

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut sehingga nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser

dan ketebalan lapisan *soil*. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi. Dari nilai frekuensi dominan yang terukur dipermukaan, dapat diketahui karakteristik batuan dibawahnya, hal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2** tentang klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor.

Tabel 2. Kalisifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Arifin, dkk, 2014)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,7 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan Hardy Sandy, gravel, dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	Jenis II	4 - 6,7	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari sandy-gravel, sandy hard clay, loam, dll	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 - 10 m
Tipe III	Jenis III	2,5 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan > 5m. Terdiri dari sandy-gravel, sandy hard clay, loam, dll	Kategori sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 - 30 m
Tipe II	Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpul, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal
Tipe I				

b. Periode dominan

Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan. Nilai periode dominan juga mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu wilayah seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3.Klasifikasi tanah Kanai – Omote – Nakajima (Arifin, dkk, 2014)

Klasifikasi Tanah		Periode (T) second	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote- Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 - 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan hardy sandy, gravel, dll	Keras
Jenis II	Jenis B	0,15 - 0,25	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari sandy-gravel, sandy hardy clay, loam. Dll.	Sedang
Jenis III	Jenis C	0,25 - 0,40	batuan alluvial, hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi bluff	Lunak
Jenis IV		> 0,40	batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30m atau lebih	Sangat Lunak

Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan berikut ;

$$T_0 = 1 / f_0 \quad (1)$$

Dimana,

T_0 = Periode dominan.

f_0 = Frekuensi dominan (Arifin dkk, 2014).

3.5 *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*

Penelitian *microtremor* dilakukan dengan memanfaatkan gelombang ambien (*ambient vibrations*) yang muncul di sekitar lokasi seismometer.

Pendekatan analisa untuk memprediksi nilai faktor amplifikasi yang diperkenalkan oleh Nakamura sangat mudah, karena mengabaikan kondisi geologi pada lokasi pengamatan. Untuk mendapatkan nilai faktor amplifikasi, Nakamura memperkenalkan satu metode analisis yang dikenal dengan *Horizontal to Vertical to Spectral Ratio* (HVSr).

HVSr merupakan satu metode analisa yang diperkenalkan oleh Nakamura berdasarkan pengalaman beliau melakukan pengamatan perambatan gelombang geser akibat peristiwa gempa. Nakamura dan Saito (1983) melakukan pengamatan perambatan gelombang gempa untuk berbagai kondisi geologi.

Konsep dasar metode HVSr adalah adanya kesamaan antara rasio spektra horizontal ke vertikal dengan transfer gelombang dari batuan dasar ke permukaan (Nakamura, 1989). Nakamura menyampaikan bahwa periode dominan dan nilai puncak dari spektra rasio (*H/V*) mempunyai kesamaan dengan periode natural dan faktor amplifikasi dari lapisan tanah, nilai *H/V* diperoleh dari perbandingan antara spektrum amplitudo fourier komponen gelombang horizontal terhadap gelombang vertikal (Windu dkk, 2013).

3.6 Kecepatan Gelombang Geser (V_{S30})

V_{S30} merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 m dari permukaan. Menurut Roser dan Gosar (2010) nilai V_{S30} ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai V_{S30} digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempabumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. V_{S30} merupakan data yang penting dan paling banyak

digunakan dalam teknik geofisika untuk menentukankarakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter (Nurahmi dkk, 2015).

V_{s30} merupakan parameter geoteknik yang sangat berguna untuk analisa gelombang seismik. Karakteristik atau sifat batuan sangat dibutuhkan untuk menganalisa sifat dinamis batuan, sehingga kekakuan batuan, dan kuat geser tanah dapat diketahui, dengan mengukur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter. Berikut merupakan **Tabel 4** yang menjelaskan pembagian *Site Class* untuk klasifikasi V_{s30} berdasarkan NEHRP :

Tabel 4. Klasifikasi *site class* berdasarkan NEHRP (FEMA, 1997)

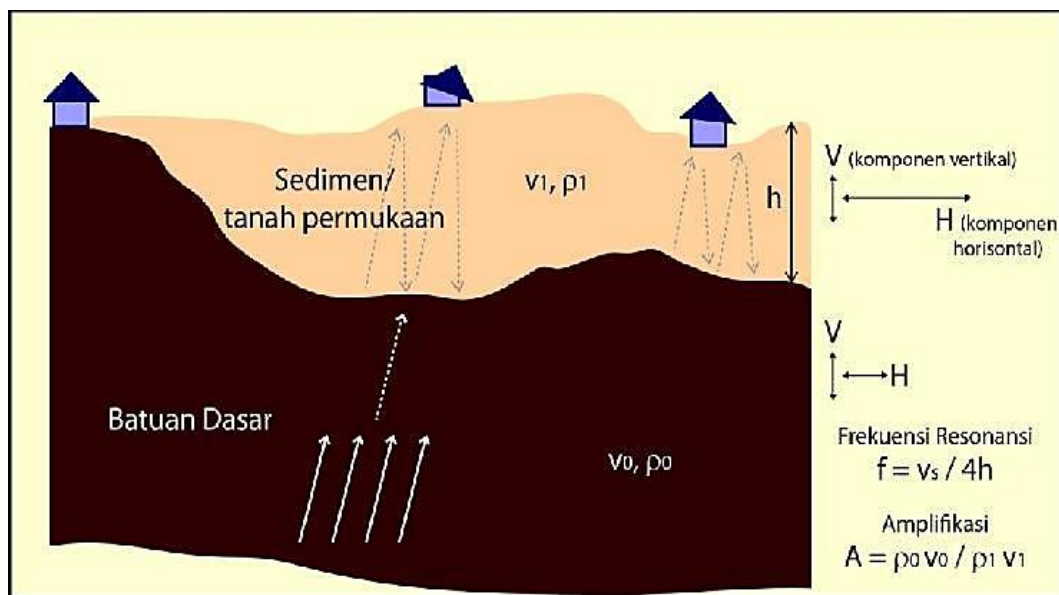
Kelas Tanah	Deskripsi Umum	V_{s30} (m/s)
A	Batuan keras	>1500
B	Batuan	750 – 1500
C	Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak	350 – 750
D	Tanah sedang	175 – 350
E	Tanah lunak	<175

Nilai V_{s30} ini digunakan untuk memperkirakan bahaya ketika terjadi gempa bumi dan penentuan standar bangunan tahan gempa. Hal ini dasar untuk mengurangi resiko bencana gempa bumi. Dengan klasifikasi tanah ini dapat menjadi salah satu tinjauan Pemerintah Daerah setempat dalam mengatur tata ruang dan wilayah dalam pengembangan dan pembangunan yang akan dilakukan ke depannya.

3.7 Amplifikasi

Salah satu cara yang sering dilakukan untuk mencari percepatan gerakan tanah di permukaan adalah dengan menggunakan faktor amplifikasi. Faktor

amplifikasi memberikan gambaran tentang perubahan (pembesaran) percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Pembesaran percepatan tanah dari batuan dasar ke permukaan disebabkan karena perbedaan kecepatan gerakan gelombang geser (V_s) di batuan dasar dan pada lapisan tanah (sedimen). Nilai V_s dari batuan dasar ke permukaan akan makin mengecil. Nilai V_s yang makin mengecil menyebabkan makin kecilnya nilai modulus geser (G_s) dan faktor redaman (μ), sehingga percepatan tanah akan makin membesar. Semakin besar nilai faktor amplifikasi, maka semakin besar pula percepatan gerakan tanah di permukaan (Windu, dkk, 2013).



Gambar 7. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik dan frekuensi resonansi di tanah permukaan (Nakamura, 1989).

Berdasarkan pengertian tersebut, maka amplifikasi dapat dituliskan sebagai suatu fungsi perbandingan nilai kontras impedansi, yaitu:

$$A_0 = \{(\rho_0 \cdot v_0) / (\rho_1 \cdot v_1)\} \quad (2)$$

ρ_0 = densitas batuan dasar (gr/ml),

ρ_1 = rapat massa dari batuan lunak (gr/ml),

v_0 = kec. gel. di batuan dasar (m/dt),

v_1 = kec. gel. di batuan lunak (m/dt).

Amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut (Marjiyono, 2010).

Gejala amplifikasi pada suatu daerah disebabkan adanya gelombang seismik yang terjebak di dalam suatu perlapisan sedimen. Besaran amplifikasi tanah dapat dihitung secara teoritis, seperti yang dilakukan oleh Wakamatsu (2006) dalam membuat *hazard zoning map* untuk wilayah Jepang. Amplifikasi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log Amp} = 2,367 - 0,82 \log Vs30 \pm 0,166 \quad (3)$$

3.8 Fungsi Atenuasi

Dengan tidak tersedianya data untuk menurunkan suatu fungsi atenuasi di wilayah Indonesia, pemakaian fungsi atenuasi yang diturunkan dari wilayah lain tidak dapat dihindari. Pemilihan fungsi atenuasi ini didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana fungsi atenuasi itu dibuat. Fungsi atenuasi yang digunakan sebagian besar sudah menggunakan *Next Generation Attenuation* (NGA), dimana atenuasi ini dalam pembuatannya sudah menggunakan data gempa global (Irsyam, 2010).

Dalam analisis studi ini, rumus atenuasi yang digunakan untuk masing-masing model sumber gempa (Irsyam, 2010), yaitu:

1. Model sumber gempa patahan (*fault*):
 - a. Boore – Atkinson NGA.
 - b. Campbell – Bozorgnia NGA.
 - c. Chiou – Youngs NGA.
2. Model sumber gempa subduksi (*megathrust*):
 - a. *Geometrix subduction*.
 - b. Atkinson Boore BC *rock and global source subduction*.
 - c. Zhao dkk, *with variable Vs 30*.
3. Sumber gempa Benioff (*deep interslab*):
 - a. *AB interslab seismicity Cascadia region BC-rock condition*.
 - b. *Geomatrix slab seismicity rock*, 1997.
 - c. *AB 2003 interslab seismicity worldwide data region BC-rock condition*.

3.9 Fungsi Atenuasi untuk Model Gempa Patahan.

a. Fungsi atenuasi Boore – Atkinson.

Fungsi atenuasi ini digunakan untuk sumber gempa *shallow crustal* (*strike slip*, *reverse* dan *normal*). Fungsi atenuasi ini dapat digunakan untuk $M = 5-8$, jarak kurang dari 200 km, dan $Vs_{30} = 180-1300$ m/s. Bentuk dari fungsi atenuasi tersebut adalah sebagai berikut:

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(Vs_{30}, R_{JB}, M) + \epsilon\sigma_T \quad (4)$$

- a. Untuk $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2 \quad (5a)$$

Untuk $M \geq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h) \quad (5b)$$

Dimana U , SS , NS , RS merupakan tipe patahan *unspecified*, *strike – slip*, *normal–slip* dan *reverse slip*.

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3(R - R_{ref}) \quad (6)$$

Dimana :

$$R = \sqrt{R_j b^2 + h^2} \quad (7)$$

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (8)$$

Untuk linear (F_{LIN}) :

$$F_{LIN} = b_{LIN} \ln(Vs\ 30 / V_{ref}) \quad (9)$$

Untuk non linear (F_{NL}) :

Jika $pga4nl \leq a_1$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_low / 0,1) \quad (10a)$$

Jika $a_1 < pga4nl \leq a_2$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_low / 0,1) + c [\ln(pga4nl / a_1)]^2 + d [\ln(pga4nl / a_1)]^3 \quad (10b)$$

Jika $a_2 < pga4nl$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga4nl / 0,1) \quad (10c)$$

Untuk b_{nl}

Jika $Vs\ 30 \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1 \quad (11a)$$

Jika $V_1 < Vs\ 30 \leq V_2$

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(Vs\ 30 / V_2) / \ln(V_1 / V_2) + b_2 \quad (11b)$$

Jika $V_2 < Vs\ 30 < V_{ref}$

$$b_{nl} = b_2 \ln (V_s 30 / V_{ref}) / \ln (V_2 / V_{ref}) \quad (11c)$$

Jika $V_{ref} \leq V_s 30$

$$b_{nl} = 0,0 \quad (11d)$$

$$c = (3\Delta y - b_{nl} \Delta x) / \Delta x^2 \quad (12)$$

$$d = - (2\Delta y - b_{nl} \Delta x) / \Delta x^3 \quad (13)$$

$$\Delta x = \ln (a_2 / a_1) \quad (14)$$

$$\Delta y = b_{nl} (a_2 / pga_{low}) \quad (15)$$

Dimana:

pga_{4nl} = estimasi awal PGA(g) untuk $V_{ref} = 760 \text{ m/s}$ dengan $FS = 0$

V_{ref} = reference velocity (760 m/s) sesuai dengan NEHRP

V_1	= 180 m/s	c_1	= - 0,6605	e_6	= - 0,10164
V_2	= 300 m/s	c_2	= 0,1197	e_7	= 0
Pga_{low}	= 0,06 g	c_3	= -0,01151	σ	= 0,052
M_h	= 6,75	h	= 1,35	τU	= 0,265
M_{ref}	= 4,5	e_1	= - 0,53804	τM	= 0,26
R_{ref}	= 1	e_2	= - 0,5035	σTU	= 0,566
b_{lin}	= - 0,360	e_3	= - 0,75472	σTM	= 0,56
b_1	= - 0,640	e_4	= - 0,5097		
b_2	= - 0,14	e_5	= 0,28805		

b. Fungsi atenuasi Campbell - Bozorgnia

Fungsi Atenuasi ini berlaku untuk sumber seismik kerak dangkal (*strike slip*, *reverse* atau *normal*). Model regresi persamaan ini dikembangkan menggunakan data *strong-motion* dibandingkan dengan magnitudo, jarak (0 sampai 200 km) menggunakan 1561 data dari 64 peristiwa gempa utama untuk M

antara 4,3 sampai 7,9 dan jarak *rupture* antara 0,1 sampai 199 km. Data gempa dikombinasikan dari gempa bumi dangkal yang terletak pada daerah tektonik aktif di seluruh dunia. Persamaan atenuasi adalah sebagai berikut:

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \quad (16)$$

Dimana f_{mag} merupakan fungsi berdasarkan magnitudo.

$$f_{mag} = c_0 + c_1 M \quad M \leq 5,5 \quad (17a)$$

$$f_{mag} = c_0 + c_1 M \quad 5,5 < M \leq 6,5 \quad (17b)$$

$$f_{mag} = c_0 + c_1 M + c_2 (M - 5,5) + c_3 (M - 6,5) \quad M > 6,5 \quad (17c)$$

f_{dis} merupakan fungsi berdasarkan pada jarak dari titik ukur ke sumber gempa.

$$f_{dis} = (c_4 + c_5 M) \ln (\sqrt{R_{rup}^2 + C6^2}) \quad (18)$$

f_{flt} merupakan fungsi berdasarkan tipe patahan

$$f_{flt} = C_7 F_{Rv} \cdot F_{flt,z} + C_8 F_{NM} \quad (19)$$

$$f_{flt,z} = Z_{Tor} \quad Z_{Tor} < 1 \quad (20a)$$

$$f_{flt,z} = 1 \quad Z_{Tor} > 1 \quad (20b)$$

f_{hng} merupakan fungsi berdasarkan efek *hanging wall*.

$$f_{hng} = C_9 F_{hng,R} + F_{hng,M} + F_{hng,Z} + F_{hng,\delta} \quad (21)$$

$$f_{hng,R} = 1 \quad R_{jb} = 0 \quad (22a)$$

$$f_{hng,R} = \frac{\max (R_{rup} + \sqrt{R_{jb}^2 + 1}) - R_{jb}}{\max (R_{rup} (\sqrt{R_{jb}^2 + 1}))} \quad R_{jb} > 0, Z_{TOR} < 1 \quad (22b)$$

$$f_{hng,R} = \frac{(R_{rup} - R_{jb})}{RR_{rup}} \quad R_{jb} > 0, Z_{TOR} \geq 1 \quad (22c)$$

$$f_{hng,M} = 0 \quad M \leq 6,0 \quad (23a)$$

$$f_{hng,M} = 2 (M - 6,0) \quad 6,0 < M < 6,5 \quad (23b)$$

$$f_{hng,M} = 1 \quad M \geq 6,5 \quad (23c)$$

$$f_{hng,Z} = 0 \quad Z_{Tor} \geq 20 \quad (24a)$$

$$f_{hmg, Z} = \frac{20 - Z_{tor}}{20} \quad 0 < Z_{TOR} < 20 \quad (24b)$$

$$f_{hmg, \delta} = 1 \quad \delta \leq 70 \quad (25a)$$

$$f_{hmg, \delta} = \frac{90 - \delta}{20} \quad \delta > 70 \quad (25b)$$

f_{site} adalah fungsi berdasarkan *shallow site*.

$$f_{site} = C_{10} \ln \left(\frac{V_s 30}{K_1} \right) + K_2 \{ \ln [A1100 + C \left(\frac{V_s 30}{K_1} \right)^n] \} \quad V_s 30 < K_1 \quad (26a)$$

$$f_{site} = (C_{10} + K_2 n) \ln \left(\frac{V_s 30}{K_1} \right) \quad K_1 < V_s 30 < 1100 \quad (26b)$$

$$f_{site} = (C_{10} + K_2 n) \ln \left(\frac{1100}{K_1} \right) \quad V_s 30 > 1100 \quad (26c)$$

f_{sed} adalah fungsi berdasarkan *deep site*.

$$f_{sed} = C_{11} (Z_{2,5} - 1) \quad Z_{2,5} < 1 \quad (27a)$$

$$f_{sed} = 0 \quad 1 \leq Z_{2,5} \leq 3 \quad (27b)$$

$$f_{sed} = C_{12} K_3 e^{-0,75} [1 - e^{-0,25} (Z_{2,5} - 3)] \quad Z_{2,5} > 3 \quad (27c)$$

dimana :

$$M = \text{Moment magnitude} \quad c_1 = 0,5 \quad c_4 = -2,118$$

$$Y = \text{PGA (g)} \quad c_2 = -0,53 \quad c_5 = 0,17$$

$$c_0 = -1,715 \quad c_3 = -0,262 \quad c_6 = 5,6$$

$$c_7 = 0,28 \quad k_3 = 1,839 \quad \delta = 90$$

$$c_8 = -0,12 \quad T \ln Y (\text{intraslab}) = 0,478 \quad V_s 30 = 1500 \text{ m/s}$$

$$c_9 = 0,49 \quad T \ln Y (\text{interface}) = 0,219 \quad Z_{2,5} = 1$$

$$c_{10} = 1,058 \quad Tc = 0,166 \quad f_{rv} = 0$$

$$c_{11} = 0,04 \quad TT = 0,526 \quad f_{nm} = 0$$

$$c_{12} = 0,61 \quad Tarb = 0,551 \quad h = 3$$

$$k_1 = 865 \quad P = 1 \quad \eta = 1,18$$

$$k_2 = -1,186 \quad Z_{tor} = 3 \quad C = 1,88$$

c. Fungsi atenuasi Chiou - Youngs

Persamaan atenuasi ini dapat digunakan untuk sumber gempa yang terletak di *shallow crustal* (*strike slip*, *reverse* dan *normal*). Persamaan ini dikembangkan dari data *strong-motion*, menggunakan 3551 data dari 173 gempa utama dan gempa susulan sebagai informasi tambahan untuk membuat model koefisien, jarak *rupture* maksimal sampai 70 km untuk menghindari data bias, data ini dikombinasikan dari data gempa dangkal, khususnya pada zona sesar aktif di seluruh dunia. Fungsi atenuasi Youngs adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \ln(Y_{ref\ ij}) = & C_1 + C_{1a} F_{RVI} + C_{1b} F_{NMI} + C_7(Z_{TORi} - 4) + C_2 (M_i - 6) \\
 & + \frac{C_2 - C_3}{C_n} \ln(1 + e^{cn(cM - Mi)}) \\
 & + C_4 \ln(R_{RUPij} + C_5 \cosh(C_6 (M_i - C_{HM,0}) \max)) \\
 & + (C_{4a} - C_4) \ln(\sqrt{R^2 \text{rup } ij + C^2 r b}) \\
 & + \left\{ C_\gamma I + \frac{C_\gamma^2}{\cosh[\max(M_i - C_\gamma, 3, 0)]} \right\} R_{RUPij} \\
 & + C_9 F_{hwij} \tanh\left(\frac{R \times ij \cdot \cos^3 \delta_i}{c_9 a}\right) \left\{ 1 - \frac{\sqrt{R \text{rup } ij^2 + Z_{tor}^2}}{R \text{rup } ij + 0,001} \right\}
 \end{aligned} \tag{28}$$

$$\begin{aligned}
 \ln(Y_{ij}) = & \ln(Y_{ref\ ij}) + \phi_1 \cdot \min\left(\ln\left(\frac{Vs_{30\ ij}}{1130}\right), 0\right) \\
 & + \phi_2 \left\{ e^{\phi^2 (\min(Vs_{30\ ij}, 1130) - 360)} - e^{\phi^2 (1130 - 360)} \right\} \ln\left(\frac{Y_{ref\ ij} e^{\eta_i} + \phi_4}{\phi_4}\right) \\
 & + \phi_5 \left(1 - \frac{1}{\cosh[\phi_6 \cdot \max(0, Z_{1.0} - \phi_7)]} \right) \\
 & + \frac{\phi_8}{\cosh[0,15 \cdot \max(0, Z_{1.0} - 15)]} + \eta_i + \varepsilon_{ij}
 \end{aligned} \tag{29}$$

Dimana:

M = moment magnitude

Z_{TOR} = Depth to top of rupture (km)

R_{RUP} = jarak terdekat ke bidang rupture (km)

R_X = koordinat lokasi (km) diukur tegak lurus terhadap patahan dari proyeksi di permukaan

F_{HW} (*hanging wall*) = 1 untuk $R_X \geq 0$ dan 0 untuk $R_X < 0$

V_{s30} = Rata-rata kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m (m/s)

$Z_{1,0}$ = kedalaman saat $V_s 30 = 1,0 \text{ km/s}$ (m).

F_{RV} = *Reverse-faulting* 1 untuk $30^\circ \leq \lambda \leq 150^\circ$ (kombinasi *reverse* dan *reverse-oblique*), selain itu 0

F_{NM} = *Normal faulting*: 1 untuk $-120^\circ \leq \lambda \leq -60^\circ$ (tidak termasuk *normal-oblique*), selain itu 0

3.10 *Peak Ground Acceleration (PGA)*

Acceleration atau percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempabumi (Febriani, dkk, 2013).

Informasi mengenai karakteristik PGA akibat gempa, dapat diperoleh melalui rekaman kejadian gempa pada masa yang lalu. Perekaman *ground acceleration* dimungkinkan untuk mengekstraksi karakteristik utama dari rekaman *ground motion* seperti *peak groundvelocity*, *peak grounddisplacement*, *ground motion duration* dan PGA (Villavarde, 2009). Percepatan gempa (*ground velocity*) dapat dihitung sebagai percepatan di batuan dasar (*ground acceleration*) maupun percepatan gempa dipermukaan tanah. Nilai PGA dapat dihitung dengan mempergunakan fungsi antenuasi (Irwansyah dan Winarko, 2012).

3.11 *Logic Tree*

Pendekatan dengan menggunakan *logic tree* memungkinkan untuk penggunaan beberapa alternatif metode atau model dengan menentukan faktor bobot yang menggambarkan persentase kemungkinan keakuratan relatif suatu model terhadap model lainnya. Model ini terdiri dari rangkaian nodal (*node*) yang direpresentasikan sebagai titik dimana model dispesifikkan dan cabang yang merepresentasikan model yang berbeda yang dispesifikasikan pada tiap nodal. Penjumlahan probabilitas dari semua cabang yang dihubungkan dengan satu nodal tertentu nilainya harus sama dengan 1.

Dalam menggunakan *logic tree*, satu analisis resiko gempa diselesaikan untuk kombinasi model atau parameter yang berkaitan dengan tiap ujung cabang. Hasil tiap analisis diberikan oleh nilai bobot kemungkinan relatif dari kombinasicabang, dengan hasil akhir diambil sebagai penjumlahan dari bobot masing-masing.

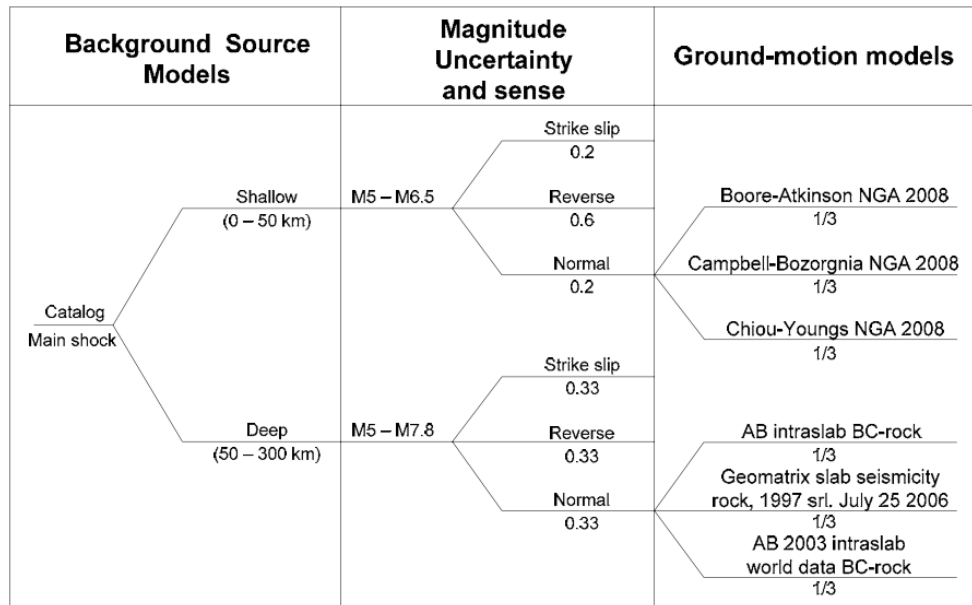
Model *logic tree* yang dipakai disesuaikan dengan model sumber gempa yang digunakan. Model untuk sumber gempa sesar, subduksi dan *background* seperti yang terlihat pada **Gambar 8**, **Gambar 9** dan **Gambar 10**. Pemakaian *logic tree* dalam PSHA sangat diperlukan akibat adanya faktor ketidakpastian dalam pengelolaan data untuk analisis *seismichazard*. Dengan adanya model *treatment* ini, data, parameter sumber gempa, dan model atenuasi yang digunakan bisa diakomodir dengan bobot sesuai dengan ketidakpastiannya.

Fault Models		Magnitude uncertainty	Ground-motion models
Fault Trace	Characteristic 0.66	$M_{max} - 0.2$ 0.2	Boore-Atkinson NGA 2008 1/3
		M_{max} 0.6	Campbell-Bozorgnia NGA 2008 1/3
		$M_{max} + 2$ 0.2	Chiou-Youngs NGA 2008 1/3
	Gutenberg Richter 0.34	$M_{6.5} - (M_{max} - 0.2)$ 0.2	Boore-Atkinson NGA 2008 1/3
		$M_{6.5} - M_{max}$ 0.6	Campbell-Bozorgnia NGA 2008 1/3
		$M_{6.5} - (M_{max} + 0.2)$ 0.2	Chiou-Youngs NGA 2008 1/3

Gambar 8. Model logic tree untuk sumber gempa sesar (Irsyam, dkk, 2010)

Subduction Models		Magnitude uncertainty	Ground-motion models
Subd Trace	Characteristic 0.66	$M_{max} - 0.2$ 0.2	Youngs <i>et al.</i> , SRL, 1997 0.25
		M_{max} 0.6	Atkinson-Boore, 2003 0.25
		$M_{max} + 2$ 0.2	Zhao <i>et al.</i> , Vs30, 2006 0.5
	Gutenberg Richter 0.34	$M_{7.0} - (M_{max} - 0.2)$ 0.2	Youngs <i>et al.</i> , SRL, 1997 0.25
		$M_{7.0} - M_{max}$ 0.6	Atkinson-Boore, 2003 0.25
		$M_{7.0} - (M_{max} + 0.2)$ 0.2	Zhao <i>et al.</i> , Vs30, 2006 0.5

Gambar 9. Model logic tree untuk sumber gempa subduksi (Irsyam, dkk, 2010)



Gambar10. Model logic tree untuk sumber gempa background (Irsyam, dkk, 2010)

3.12 Seismic Hazard Analysis (SHA)

Ada 2 metode yang digunakan dalam *Seismic Hazard Analysis* (SHA) yaitu DSHA (*Deterministic Seismic Hazard Analysis*) dan PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*). Perbedaan utama antara pendekatan DSHA dan PSHA adalah pada pendekatan probabilistik (PSHA), frekuensi untuk setiap skenario pergerakan tanah yang akan terjadi juga diperhitungkan. Metode DSHA ini memungkinkan untuk memperhitungkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis seperti ukuran, lokasi dan frekuensi kejadian gempa (Irsyam dkk, 2010).

Metode DSHA umumnya diaplikasikan untuk mengestimasi percepatan gempa untuk konstruksi yang sangat membahayakan jika terjadi kerusakan, seperti bangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), bendungan besar, konstruksi yang dekat dengan sesar aktif, dan untuk keperluan *emergency response*. Kelebihan metode ini adalah mudah digunakan untuk memprediksi

gerakan gempa pada skenario terburuk. Sedangkan kelemahannya adalah metode ini tidak mempertimbangkan probabilitas terjadinya gempa dan pengaruh berbagai ketidakpastian yang terkait dalam analisis (Kramer dan Steven, 1996).

Secara umum metode pendekatan DSHA dapat dibagi menjadi 4 tahapan yaitu: melakukan identifikasi terhadap sumber-sumber gempa yang kemungkinan akan berpengaruh pada lokasi pengamatan, menentukan skenario parameter gempa dengan cara memilih magnitudo maksimum dan lokasi terdekat dari sumber gempa yang diperkirakan akan menghasilkan dampak pada lokasi pengamatan, menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan fungsi atenuasi dan menentukan parameter gerakan tanah yang terbesar yang direncanakan akan terjadi pada lokasi pengamatan. DSHA dilakukan dengan menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan fungsi atenuasi (Irsyam, dkk, 2010).

Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) banyak digunakan pada periode awal dari perhitungan *seismic hazard*. Konsep dasar DSHA adalah menentukan parameter *ground motion* dengan menggunakan magnitudo gempa maksimum dan jarak sumber gempa yang paling dekat dari titik pengamatan. DSHA diimplementasikan dengan menentukan skenario parameter gempa dengan cara memilih magnitudo maksimum dan lokasi terdekat dari sumber gempa yang diperkirakan akan menghasilkan dampak pada titik pengamatan (Windu, dkk, 2015).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Seperangkat komputer.
2. Alat tulis.
3. *Software Surfer 12*.
4. *Software geopsy* versi 2.9.1.
5. *Global mapper 15* .
6. Arc GIS 10.
7. *Microsoft Excel* versi 2016.
8. *Microsoft Word* versi 2016.
9. Data mikrotremor (.saf).
10. Peta geologi regional Daerah Istimewa Yogyakarta.
11. Hasil Studi Tim Revisi Gempa Indonesia 2010.

4.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

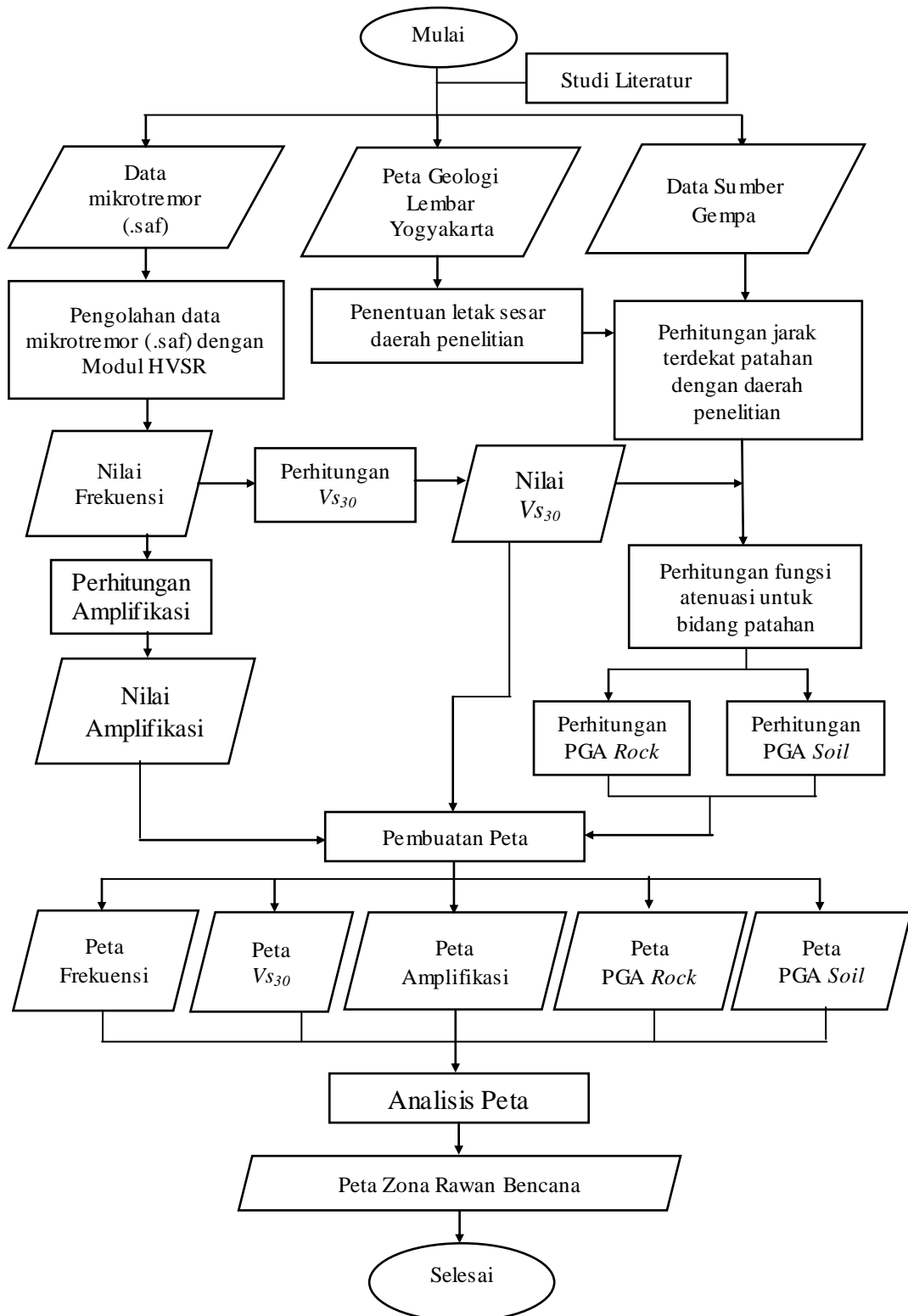
Waktu : 20 Maret – 20 Mei 2017.

Tempat : Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG)

Bandung, Jawa Barat.

4.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 11**.




Gambar 11. Diagram alir penelitian

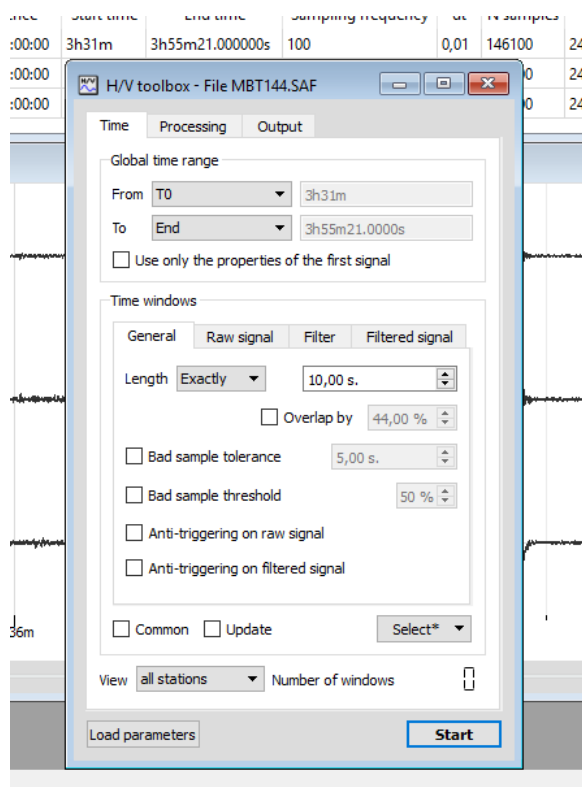
4.4 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. HVSR Mikrotremor

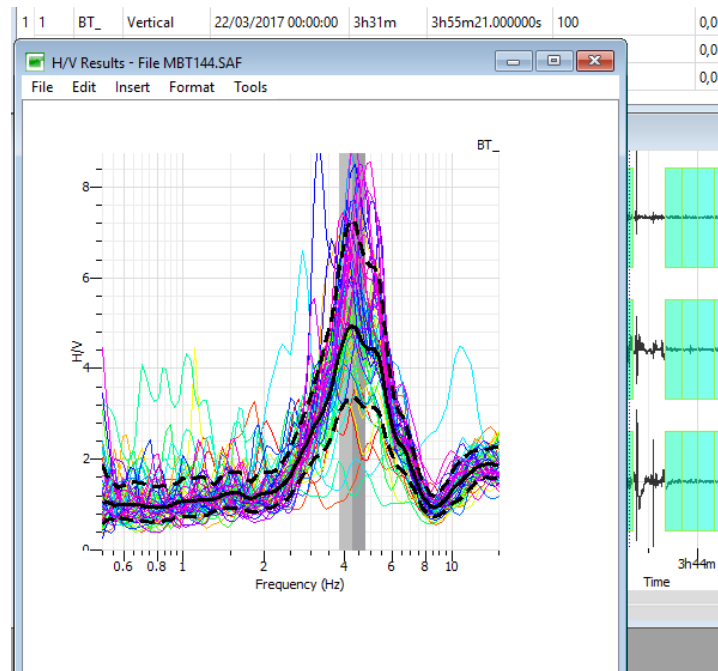
Dari akuisisi mikrotremor akan didapatkan data yang berupa data getaran tanah yang masih dalam domain waktu. Data getaran tanah itu merekam getaran dalam tiga komponen, yaitu satu komponen vertikal dan dua komponen horizontal (utara-selatan dan barat-timur). Data hasil akuisisi yang didapat pada penelitian ini memiliki format berupa *.SAF*. Data tersebut kemudian diolah dengan metode HVSR (*Horizontal Vertical Spectral Ratio*) menggunakan perangkat lunak berupa *Geopsy*. *Geopsy* akan menghasilkan keluaran berupa kurva spektrum HVSR. Adapun tahapan pengolahan data mikrotremor adalah sebagai berikut :

- a. Membuka aplikasi *Geopsy* dengan *icon* seperti berikut .
- b. Selanjutnya Selanjutnya yaitu melakukan import data *.SAF*  kedalam *Geopsy*. Langkahnya yaitu dengan Pilih *MenuFile - ImportSignals – File*, lalu pilih file *.SAF* yang akan di-*import*.
- c. Tahap selanjutnya adalah mengolah data dengan *HVTools*. Tahap ini adalah tahap inti pada pengolahan data mikrotremor dengan menggunakan Metode HVSR. Pada tahap ini akan dilakukan olah data. engan *H/V Tools* yang tersedia di *Geopsy*. Langkahnya yaitu dengan memilih *Menu Tools – H/V*. Maka muncul kotak dialog seperti **Gambar 9** :



Gambar 12.Kotak dialog *HV Tools*

Pada kotak dialog *H/V Tools* seperti diatas, pada bagian *Time – TimeWindows* dapat diatur panjang *Time Window* yang digunakan. Pada bagian *Processing* dapat dipilih jenis *smoothing* pada grafik. Yang umum digunakan yaitu metode *smoothing* Konno & Ohmachi. Pada bagian *Output* dapat dipilih *Frequency Sampling* yang digunakan untuk menampilkan grafik HVSR, pada penelitian ini digunakan *frequencysampling* sebesar 0,2 Hz – 20 Hz. Setelah itu kembali ke jendela *Time* pilih *Select** lalu pilih *Auto*. Setelah itu pilih *Start*, maka muncul kurva HVSR seperti pada **Gambar 13**:



Gambar 13. Kurva HVSR hasil pengolahan

- d. Langkah selanjutnya yaitu mencatat hasil dari kurva HVSR yang berupa frekuensi dominan (f_0). Setelah nilai frekuensi dominan didapatkan, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai V_{s30} dan amplifikasi.

2. *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)*

Tahapan analisis *seismic hazard* dengan metode DSHA adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan identifikasi dan karakterisasi sumber gempa yang diperkirakan berpengaruh pada lokasi penelitian. Sumber gempa yang diperkirakan berpengaruh pada Kabupaten Bantul yaitu Sesar Opak.
- b. Menentukan parameter jarak terdekat dari sumber gempa (Sesar Opak) terhadap lokasi penelitian.
- c. Menentukan magnitudo terbesar dari sumber gempa (Sesar Opak) yang telah diidentifikasi sebelumnya yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

- d. Menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan menggunakan fungsi atenuasi. Dengan tidak tersedianya data untuk menurunkan suatu fungsi atenuasi di wilayah Indonesia, maka digunakan fungsi atenuasi yang diturunkan dari wilayah lain. Dalam *Seismic Hazard Analysis* (SHA) penggunaan *logic tree* sangat diperlukan akibat adanya faktor ketidakpastian dalam pengolahan data *seismic hazard*. Dengan adanya *model treatment* ini, data parameter sumber gempa dan model atenuasi yang digunakan bisa diakomodir dengan bobot sesuai dengan ketidakpastiannya. Berdasarkan model *logic tree* yang digunakan oleh Tim revisi gempa Indonesia 2010, fungsi atenuasi yang digunakan untuk sumber gempa sesar/patahan adalah Boore-Atkinson (2008) NGA, Campbell-Bozorgnia (2008) NGA dan Chio-Youngs (2008) NGA dengan pembobotan 1/3 untuk masing-masing persamaan.

3. Pembuatan Peta

Setelah pengolahan data dengan metode mikrotremor dan DSHA selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pembuatan peta untuk setiap hasil pengolahan data. Tahap pembuatan peta ini akan menghasilkan beberapa peta, antara lain peta persebaran frekuensi dominan, V_{S30} , amplifikasi, PGA dan peta rawan bencana gempabumi di lokasi penelitian.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan antara lain :

1. Persebaran frekuensi dominan di kabupaten bantul berkisar antara 0,6171 – 7,0800 Hz dengan nilai frekuensi rendah terdapat di sekitar sesar opak yang menandakan daerah ini memiliki lapisan sedimen permukaan yang sangat tebal. Untuk nilai frekuensi tinggi yang berupa daerah dengan lapisan sedimen permukaan yang sangat tipis terdapat di Kecamatan Imogiri, Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sedayu dan Kecamatan Pajangan.
2. Persebaran V_{s30} di Kabupaten Bantul memiliki nilai berkisar antara 74,0461 – 1629,2880 m/s dengan daerah yang memiliki nilai V_{s30} rendah terdapat di sekitar sesar opak yang menandakan daerah ini memiliki lapisan tanah yang lunak. Untuk daerah dengan nilai V_{s30} tinggi yang merupakan batuan keras terdapat di Kecamatan Imogiri, Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sedayu dan Kecamatan Pajangan. Nilai V_{s30} berbanding lurus dengan nilai frekuensi dominan.
3. Kabupaten bantul memiliki amplifikasi sebesar 0,4270 – 5,9454 kali dengan daerah yang memiliki amplifikasi tinggi (lebih dari 4 kali) terdapat di Kecamatan Pajangan, kecamatan Jetis, Kecamatan Banguntapan,

Kecamatan Piyungan, Kecamatan Bambanglipuro, Kecamatan Kretek dan Kecamatan Imogiri. Nilai amplifikasi ini berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dominan dan nilai

4. Berdasarkan DSHA, nilai PGA batuan dasar di Kabupaten Bantul berkisar pada 0,2310 – 0,7638 g. Daerah dengan nilai PGA tertinggi terdapat pada daerah yang dekat dengan Sesar Opak dan terus berkurang seiring bertambahnya jarak.
5. Berdasarkan DSHA, nilai PGA permukaan tanah di Kabupaten Bantul berkisar pada 0,4312 – 1,2759 g. Terjadi penguatan nilai PGA dibandingkan dengan besar PGA di batuan dasar secara tidak merata. Hal ini dikarenakan adanya efek amplifikasi yang bekerja pada beberapa titik.
6. Berdasarkan *site effect* (frekuensi dominan, V_{S30} dan amplifikasi) dan estimasi PGA permukaan tanah dari metode DSHA, daerah paling rentan terhadap bencana gempabumi yaitu pada daerah yang berada dekat dengan Sesar Opak. Hal ini dikarenakan faktor jarak dari sumber gempa dan jenis tanah lunak yang terdapat di sekitar Sesar Opak.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Mempertimbangkan *site effect* yang berupa frekuensi dominan, V_{S30} dan amplifikasi hasil dari penelitian ini untuk kepentingan pembangunan kota maupun bangunan sipil di Kabupaten Bantul.
2. Memperhatikan besar nilai PGA dalam pendirian bangunan sipil yang bersifat vital dan memiliki populasi besar agar tidak dibangun di atas tanah

dengan nilai PGA yang tinggi.

3. Dilakukan survei lanjutan dengan metode yang lebih baik untuk karakterisasi *site effect* di Kabupaten Bantul, contohnya seperti seismik refraksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, dan Setyanegara, R., 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*, Volume 2, Nomor 1.
- Boore, D.M. dan Atkinson, G. M., 2008. Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, Volume 24, Nomor 1.
- Campbell, K. dan Bozorgnia, Y., 2008. Ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10.0 s. *Earthquake Spectra*, Volume 24, Nomor 1.
- Chiou, B. dan Youngs, R. R., 2008. A NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, Volume 24, Nomor 1.
- Daryono, 2010., *Aktivitas Gempabumi Tektonik di Yogyakarta Menjelang Erupsi Merapi 2010*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- Febriani, Y., Daruwati, I. dan Hatika, R.G., 2013. Analisis Nilai Peak Ground Acceleration dan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Data Mikroseismik pada Daerah Rawan Gempabumi Di Kota Bengkulu. *Jurnal Ilmiah Edu Research*, Volume 2, Nomor 2.
- FEMA 302., 1997. *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Building and Other Structure*. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- Fulki, A. 2011. Analisis Parameter Gempa, b Value dan PGA di Daerah Papua (*Skripsi*). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.

- Hermanwan, A., Nugrahaningsih, M., Sumarno., Mansur, M., Martanto, B., Subiyanto., Suhardi, S. dan Wirawan., 2003. *Peta Administrasi Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional. Bogor.
- Ibrahim, G. dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Irsyam, M.D., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono., Asrurifak, M. dan Ridwan, M., 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempabumi Indonsia 2010*. Kementrian Pekerjaan Umum.
- Irwansyah, E. dan Winarko, E., 2012. Zonasi Daerah Bahaya Kegempaan Dengan Pendekatan Peak Ground Acceleration (PGA). *Seminar Nasional Informatika 2012*. UPN Veteran Yogyakarta.
- Kanai, K., 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo University. Japan.
- Kramer dan Steven, L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prantice Hall, Inc.
- Lachet, C. dan Brad, P.Y., 1994. Numerical and Theoretical Investigations on The Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth*, 42, 377-397.
- Marjiyono., 2010. Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung (*Thesis*). ITB, Bandung.
- Nakamura, Y. dan Saito, A., 1983. Estimation of Amplification Characteristics of Surface Ground and PGA Using Strong Motion Records in Japan. *Proc. 17th JSCE Earthquake Engineering Symposium*, 25-28.
- Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of RTRI, Railway Technical Research (RTRI)*, Volume 30.
- Nurahmi, Effendi, R. dan Sandra., 2015. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) Di Kelurahan Talise. *Gravitasi*, Volume 14, Nomor 1.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H. M. D., 1977. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia. Bandung.
- Rošer, J. dan Gosar, A., 2010. *Determination of Vs30 for seismic ground classifications in the Ljubljana area*. Acta Geotechnica Slovenia. Slovenia.

- Sulaeman, C., Dewi, L.C. dan Triyoso, W., 2008. Karakterisasi Sumber Gempa Yogyakarta 2006 Berdasarkan Data GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, Volume 3, Nomor 1.
- Villaverde, R., 2009. *Fundamental Concepts of Earthquake Engineering*, CRC Press-Taylor and Francis Group, Boca Raton. Florida, Amerika Serikat.
- Wakamatsu, K. dan Matsuoka, M., 2006. Development of the 7,5-Arc-Second Engineering Geomorphologic Classification Database and its Application to Seismic Microzoning. *Bulletin of The Earthquake Research Institute*, Volume 81.
- Wartono, R., 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Windu, P., Irsyam, M., Wardani, S.P.R. dan Maarif, S., 2015. Persepsi Pengembangan Peta Rawan Gempa Kota Semarang Melalui Penelitian Hazard Gempa Deterministik. *Jurnal MKTS*, Volume 19, Nomor 2.