

**PEMETAAN TINGKAT RESIKO AKIBAT GEMPA BUMI DI PROVINSI  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA BERDASARKAN POLA  
PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM  
(Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969 – 2019)**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**SITI MUHIMMATUL ALIYAH**  
NIM. 17640004



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**PEMETAAN TINGKAT RESIKO AKIBAT GEMPA BUMI DI PROVINSI  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA BERDASARKAN POLA  
PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM  
(Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969 – 2019)**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:  
SITI MUHIMMATUL ALIYAH  
NIM. 17640004**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

## HALAMAN PERSETUJUAN

PEMETAAN TINGKAT RESIKO AKIBAT GEMPA BUMI DI PROVINSI  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA BERDASARKAN POLA  
PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM  
(Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969 – 2019)

### SKRIPSI

Oleh:  
Siti Muhiimatul Aliyah  
NIM. 17640004

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Pada tanggal, 24 November 2021

Pembimbing I



Drs. Abdul Basid, M.Si.  
NIP. 19650504 199003 1 003

Pembimbing II



Dr. Erna Hastuti, M.Si.  
NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002

## HALAMAN PENGESAHAN

PEMETAAN TINGKAT RESIKO AKIBAT GEMPA BUMI DI PROVINSI  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA BERDASARKAN POLA  
PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM  
(Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969 – 2019)

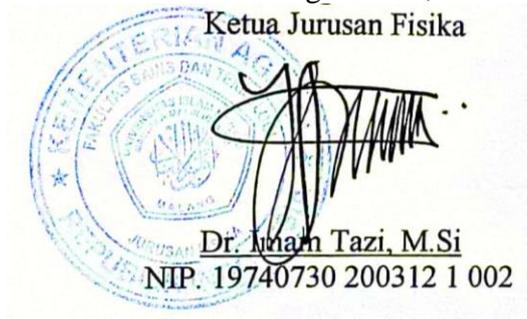
### SKRIPSI

Oleh:  
Siti Muhimmatul Aliyah  
NIM. 17640004

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 09 Desember 2021

Ketua	: <u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota 1	: <u>Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Anggota 2	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota 3	: <u>Dr. Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika

  
Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Siti Muhimmatul Aliyah  
NIM : 17640004  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Pemetaan Tingkat Resiko Akibat Gempa Bumi Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum (Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969 – 2019)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 23 Desember 2021  
Yang Membuat Pernyataan

A yellow postage stamp with a value of 1000 Rupiah. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPLULUH RIBU RUPIAH', '1000', 'REPUBLIK INDONESIA', and 'METEMPEL'. A handwritten signature in black ink is written over the stamp. The serial number '29A74AJX554899800' is visible at the bottom of the stamp.

Siti Muhimmatul Aliyah  
NIM. 17640004

## MOTTO

“ وَمَنْ جَاهَدَ فَإِنَّمَا يُجَاهِدُ لِنَفْسِهِ إِنَّ اللَّهَ لَغَنِيٌّ عَنِ الْعَالَمِينَ ”

“Dan barangsiapa berjihad, maka sesungguhnya jihad nya itu untuk dirinya sendiri. Sungguh, Allah Mahakaya (tidak memerlukan sesuatu) dari seluruh alam.”

Imam Sahal At Tustari berkata:

“ Cara mensyukuri ilmu itu dengan cara mengamalkannya, dan cara mensyukuri amal adalah dengan terus menambah ilmu”

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

- Kedua orang tua saya yang pengorbanannya sangat besar dan tidak akan bisa tergantikan dengan apapun, Bapak Muhammad Imam Turmudzi (Alm) dan Ibu Rodeyah, S.Pd.I. Beliau yang selalu mendoakan, menyemangati dan tidak pernah lelah demi melihat saya bisa terus belajar dan mencari ilmu untuk mewujudkan cita-cita saya.
- Saudara perempuan saya yang tersayang dan selalu menjadi motivator terbaik, sahabat terbaik dan menyemangati saya untuk semangat dalam belajar dan meraih cita-cita, Izzah Ummi Bariroh, M.H.
- Keluarga Bani Munadji yang selalu menasehati, memotivasi dan mendoakan untuk segala kebaikan yang saya jalani.
- Almamater saya, Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah menjadi tempat dalam mengukir pengetahuan maupun pengalaman.
- Keluarga Besar Resimen Mahasiswa Satuan 811 'Wira Cakti Yudha' UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang selalu menyemangati dan mendoakan saya khususnya Agung Rachmat Hidayat, S.H, Luthfi Januar Cahyadi, S.H, Rifqi Ihsanuddin Wibowo, S.H, dan Syafi'ah Maulidiyah, S.Pd
- Semua sahabat di Jurusan Fisika dengan nama dan kisah yang selalu dapat saya kenang untuk semua perjalanan kuliah selama ini, Khususnya Mega, Rizka, Nisa dan teman geofisika angkatan 2017.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemetaan Tingkat Resiko Akibat Gempa Bumi Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum (Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969 – 2019)”. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia menuju zaman zakiyyah, yakni Addinul Islam Wal Iman.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, MA selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Dosen Pembimbing I skripsi dan Dosen Wali yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, mengarahkan penulis dengan sabar, dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.
5. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing serta mengarahkan penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Irjan, M.Si., dan Luthfin, S.Si., M.Si selaku dosen peminatan geofisika dan selaku penguji skripsi yang telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Segenap Dosen dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Budiarta, S.Si, S.Stat, MDM. Selaku pembimbing Tugas Akhir dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kelas I Sleman Yogyakarta yang telah membimbing penulis dalam proses penyusunan skripsi.

9. Kedua Orang Tua dan Kakak yaitu Muhammad Imam Turmudzi (ALM), Ibu Rodeyah dan Izzah Ummi Bariroh yang selalu mendoakan, memberikan semangat dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman-teman Fisika Angkatan 2017 yang senantiasa memberi semangat dan dukungan kepada penulis.
11. Sahabat peminatan geofisika Mega, Alfita, Nisa, Hesti, Zulfa dan lainnya yang senantiasa memberi semangat dan dukungan kepada penulis.
12. Keluarga Besar Resimen Mahasiswa Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan doa dan semangat kepada penulis.
13. Saudara Resimen Mahasiswa Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang angkatan 71 Agung, Lidia, Rifqi dan Luthfi yang selalu mendoakan dan menyemangati penulis.
14. Kakak tingkat bidang peminatan geofisika Kak Amik, Kak Hani, dan Kak Septi dan yang lainnya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
15. Serta Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka dengan nikmat yang berlipat ganda baik di dunia maupun di akhirat kelak.

Penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca dalam menambah pengetahuan, wawasan serta memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif dan membangun sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 23 Desember 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>مستخلص البحث</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	8
1.3 Tujuan Penelitian .....	9
1.4 Batasan Masalah.....	9
1.5 Manfaat Penelitian .....	10
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Struktur Bumi .....	11
2.1.1 Kerak Bumi ( <i>Crust</i> ) .....	11
2.1.2 Selimut (Mantel).....	12
2.1.3 Inti ( <i>Core</i> ).....	13
2.2 Teori Tektonik Lempeng .....	14
2.3 Batas Pertemuan Lempeng .....	16
2.3.1 Batas Konvergen .....	16
2.3.2 Batas Divergen .....	17
2.3.3 Batas Transform .....	18
2.4 Akibat Pergeseran Lempeng Tektonik .....	18
2.5 Gempa Bumi .....	19
2.6 Proses Terjadinya Gempa Bumi .....	22
2.7 Klasifikasi Gempa Bumi .....	26
2.7.1 Klasifikasi Gempa Bumi Menurut Kedalaman .....	26
2.7.2 Klasifikasi Gempa Bumi Berdasarkan Getaran Gelombang .....	27
2.7.3 Klasifikasi Gempa Bumi Berdasarkan Faktor Penyebabnya .....	28
2.7.4 Klasifikasi Gempa Bumi Berdasarkan Kekuatannya .....	30
2.8 Sumber Gempa Bumi .....	31
2.8.1 Zona Subduksi .....	31
2.8.2 Zona Fault.....	31
2.8.3 Zona Background .....	32
2.9 Gelombang Seismik .....	32
2.9.1 Gelombang Badan ( <i>Body Wave</i> ).....	34
2.9.2 Gelombang Permukaan ( <i>Surface Wave</i> ).....	36

2.10 Parameter Gempa Bumi .....	37
2.11 Intensitas Gempa Bumi .....	47
2.12 Percepatan Tanah Maksimum .....	51
2.13 Metode Percepatan Tanah Maksimum .....	53
2.14 Fungsi Atenuasi.....	55
2.15 Tingkat Resiko Bencana Gempa Bumi .....	59
2.16 Tinjauan Daerah Penelitian .....	61
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	66
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	66
3.3 Jenis Data .....	67
3.4 Prosedur Penelitian.....	67
3.4.1 Metode Pengambilan Data .....	67
3.4.2 Metode Perhitungan dan Pengolahan Data .....	68
3.5 Diagram Alir .....	70
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Tahapan Pengolahan Data.....	74
4.2 Analisis Data dan Pembahasan .....	85
4.2.1 Analisis Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum.....	86
4.2.2 Analisis Peta Resiko Akibat Gempa Bumi.....	98
4.3 Hikmah Bencana Gempa Bumi.....	105
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	110
5.2 Saran.....	111
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>112</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Tektonik di Kepulauan Indonesia .....	1
Gambar 2.1	Susunan Lapisan Utama Bumi .....	11
Gambar 2.2	Dinamika Bumi .....	13
Gambar 2.3	Lempeng-Lempeng Litosfer .....	15
Gambar 2.4	Batas Konvergen .....	17
Gambar 2.5	Batas Divergen .....	17
Gambar 2.6	Batas Transform .....	18
Gambar 2.7	Ilustrasi Lepasnya Sejumlah Energi Gempa .....	25
Gambar 2.8	Proses Kejadian Gempa .....	25
Gambar 2.9	Aktivitas Vulkanik .....	29
Gambar 2.10	Pembagian Gelombang Gempa .....	33
Gambar 2.11	Penampakan Gelombang Seismik .....	33
Gambar 2.12	Gelombang Primer (P) .....	34
Gambar 2.13	Gelombang Sekunder (S) .....	35
Gambar 2.14	Gelombang Rayleigh .....	37
Gambar 2.15	Skema Percepatan Getaran Tanah Maksimum .....	53
Gambar 2.16	Peta Geologi Lembar Yogyakarta .....	63
Gambar 3.1	Diagram Penelitian .....	70
Gambar 4.1	Titik Gempa Bumi di Wilayah Penelitian .....	77
Gambar 4.2	Titik Grid Penelitian di Daerah Istimewa Yogyakarta .....	78
Gambar 4.3	Tampilan ArcMap 10.4.1 Membuka New Maps.....	80
Gambar 4.4	Tampilan ArcMap 10.4.1 Untuk Menambahkan File (XYZ Data) .....	80
Gambar 4.5	Tampilan Grid Data Dalam ArcMap 10.4.1 .....	81
Gambar 4.6	Tampilan Peta SHP Daerah Istimewa Yogyakarta Batas Kecamatan .....	81
Gambar 4.7	Tampilan Tahap Interpolasi IDW .....	82
Gambar 4.8	Tampilan Raster Analysis .....	82
Gambar 4.9	Tampilan Hasil Interpolasi IDW .....	83
Gambar 4.10	Tampilan Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum .....	83
Gambar 4.11	Tampilan Peta Resiko Akibat Gempa Bumi .....	84
Gambar 4.12	Peta Seismisitas Pulau Jawa.....	85
Gambar 4.13	Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum Metode Donovan...	87
Gambar 4.14	Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum Metode Crouse.....	90
Gambar 4.15	Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum Metode Fukushima-Tanaka .....	92
Gambar 4.16	Peta Resiko Gempa Bumi Metode Donovan .....	100
Gambar 4.17	Peta Resiko Gempa Bumi Metode Crouse.....	101
Gambar 4.18	Peta Resiko Gempa Bumi Metode Fukushima- Tanaka .....	102
Gambar 4.19	Kerusakan Kampus STIE di Kota Yogyakarta .....	104
Gambar 4.20	Rumah Penduduk Roboh Akibat Gempa Bumi 27 Mei 2006 di Desa Wonolelo Kecamatan Pleret Kabupaten Bantul.....	104

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-Jenis Magnitudo Gempa .....	41
Tabel 2.2	Korelasi Konversi Magnitudo .....	43
Tabel 2.3	Konversi Nilai PGA Ke Intensitas .....	48
Tabel 2.4	Skala Intensitas Gempa Bumi .....	48
Tabel 2.5	Scoring Komponen Penyusun Resiko Gempa Bumi .....	60
Tabel 4.1	Data Gempa Bumi Merusak Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 1969-2019 .....	75
Tabel 4.2	Klasifikasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Wilayah DIY Metode Donovan (1973) .....	88
Tabel 4.3	Klasifikasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Wilayah DIY Metode Crouse (1991) .....	91
Tabel 4.4	Klasifikasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Wilayah DIY Metode Fukushima-Tanaka (1992) .....	94

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Hasil Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) Metode Donovan.....	118
Lampiran II	Hasil Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) Metode Crouse .....	120
Lampiran III	Hasil Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) Metode Fukushima-Tanaka .....	122
Lampiran IV	Hasil Scoring Peta Resiko Bencana Metode Donovan .....	124
Lampiran V	Hasil Scoring Peta Resiko Bencana Metode Crouse.....	126
Lampiran VI	Hasil Scoring Peta Resiko Bencana Metode Fukushima-Tanaka.....	128
Lampiran VII	Bukti Konsultasi.....	130

## ABSTRAK

Aliyah, Siti Muhiimatul. 2021. **Pemetaan Tingkat Resiko Akibat Gempa Bumi Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum (Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969 – 2019)**. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Erna Hastuti, M.Si

---

---

**Kata Kunci :** Gempa Bumi, Percepatan Tanah Maksimum, Resiko Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran tanah yang ditimbulkan oleh adanya gelombang seismik yang dipancarkan oleh sumber energi elastik yang dilepaskan secara tiba-tiba dan terjadi pada saat batuan dilokasi sumber gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dan mengetahui pola pemetaan tingkat resiko bahaya gempa bumi menggunakan 3 metode penelitian berdasarkan data gempa bumi Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 1969 – 2019 (Desember). Historis data gempa bumi diperoleh dari katalog USGS dan database kejadian gempa bumi yang terdapat di Stasiun Geofisika BMKG Kelas I Yogyakarta maupun dari katalog gempa BMKG. Batasan wilayah penelitian yaitu  $-7,35^{\circ}$  LS –  $9,12^{\circ}$  LS dan  $109,8^{\circ}$  BT –  $111,5^{\circ}$  BT. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa nilai tertinggi percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dengan metode Donovan (1973) memiliki kisaran nilai antara 126 – 205 gal berada pada skala VII MMI. Sedangkan nilai tertinggi percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dengan metode Crouse (1991) memiliki kisaran nilai antara 177 – 292 gal berada pada skala VII MMI. Kemudian nilai percepatan getaran tanah maksimum tertinggi dengan metode Fukushima-Tanaka (1992) memiliki kisaran nilai antara 278 – 338 gal berada pada skala VIII. Berdasarkan hasil dari ketiga metode tersebut setelah dikorelasikan dengan data historis gempa bumi merusak di Daerah Istimewa Yogyakarta dan didapatkan metode yang sesuai dengan daerah penelitian adalah metode Fukushima-Tanaka dan Crouse. Wilayah yang diperkirakan mempunyai tingkat kerusakan tinggi akibat gempa bumi wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu Kecamatan Bambanglipuro, Bantul, Imogiri, Jetis, Kasihan, Kretek, Pandak, Pleret, Pundong, Sanden, Sedayu, Sewon, dan Srandakan Kabupaten Bantul, dan Kecamatan Lendah Kabupaten Kulon Progo, serta Kecamatan Paliyan Kabupaten Gunung Kidul. Tingginya resiko tersebut disebabkan karena intensitas maksimum dan kepadatan penduduk yang tinggi.

## ABSTRACT

Aliyah, Siti Muhimmatul. 2021. **Mapping of Risk Levels Due to Earthquakes in the Special Region of Yogyakarta Province Based on Peak Ground Acceleration Patterns (Case Study of Earthquake Data in 1969 – 2019)**. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Erna Hastuti, M.Si

---

**Keywords:** Earthquake, Peak Ground Acceleration, Earthquake Risk

Earthquakes are ground vibrations caused by seismic waves emitted by elastic energy sources that are released suddenly and occur when rocks are located at the location of the earthquake source. This study aims to determine the peak ground acceleration (PGA) value and to find out the pattern of mapping the level of earthquake hazard using 3 research methods based on the Yogyakarta Special Region earthquake data in 1969 – 2019 (December). Historical earthquake data were obtained from the USGS catalog and the database of earthquake events at the BMKG Class I Yogyakarta Geophysics Station as well as from the BMKG earthquake catalog. The boundaries of the research area are  $-7.35^{\circ}$  South Latitude –  $9.12^{\circ}$  South Latitude and  $109.8^{\circ}$  East Longitude –  $111.5^{\circ}$  East Longitude. From the analysis results show that the highest value of peak ground acceleration (PGA) with the Donovan method (1973) has a range of values between 126 – 205 gal is on the MMI VII scale. While the highest value of peak ground acceleration (PGA) with the Crouse method (1991) has the range of values between 177 – 292 gal is on the VII MMI scale. Then the highest peak ground acceleration value using the Fukushima-Tanaka method (1992) has a range of values between 278 – 338 gal on the VIII scale. Based on the results of the three methods after being correlated with historical data of destructive earthquakes in the Special Region of Yogyakarta and obtained methods that are suitable for the research area are the Fukushima-Tanaka and Crouse methods. Areas that are estimated to have a high level of damage due to the earthquake in the Special Region of Yogyakarta are Bambanglipuro, Bantul, Imogiri, Jetis, Kasihan, Kretek, Pandak, Pleret, Pundong, Sanden, Sedayu, Sewon, and Srandakan sub-districts, Bantul district, and Lendah sub-district, Kulon district. Progo, as well as Paliyan District, Gunung Kidul Regency. The high risk is due to the maximum intensity and high population density.

## مستخلص البحث

عالية ، سيتي موهنتول. 2021. رسم خرائط لمستويات المخاطر بسبب الزلازل في المنطقة الخاصة لمقاطعة يوجياكارتا بناءً على أنماط تسريع الأرض القصوى (دراسة حالة لبيانات الزلازل في 1969 - 2019). قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المستشار الأول د. عبد الباسيد ماجيستر المشرف الثاني على سيد ارنا هاستوتي ماجيستر

الكلمات المفتاحية: الزلازل ، الحد الأقصى لتسارع الأرض ، مخاطر الزلازل

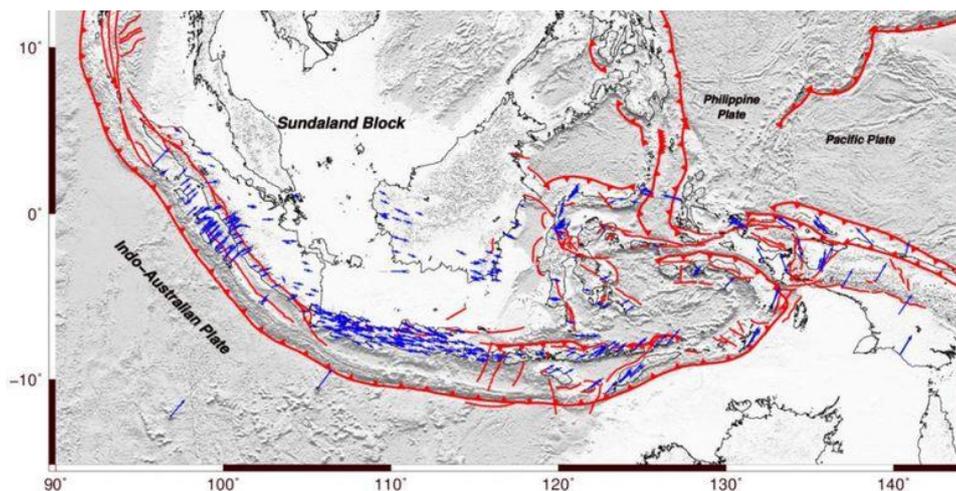
الزلازل هي اهتزازات أرضية ناتجة عن الموجات الزلزالية المنبعثة من مصادر الطاقة المرنة والتي يتم إطلاقها فجأة وتحدث عندما تكون الصخور في موقع مصدر الزلزال. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد قيمة التسارع الأرضي الأقصى (PGA) وتحديد نمط رسم خرائط مستوى مخاطر الزلازل باستخدام 3 طرق بحث بناءً على بيانات من زلزال منطقة يوجياكارتا الخاصة في 1969 - 2019 (ديسمبر). تم الحصول على بيانات الزلازل التاريخية من كتالوج هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية وقاعدة بيانات أحداث الزلازل في محطة جيوفيزياء بي إم كي جي الفئة الأولى يوجياكارتا وكذلك من كتالوج بي إم كي جي للزلازل. حدود منطقة البحث هي -7.35 درجة جنوب خط العرض - 9.12 خط عرض جنوبي وخط طول 109.8 درجة شرقاً - خط طول 111.5 درجة شرقاً. تظهر نتائج التحليل أن أعلى قيمة لتسريع الأرض الأقصى (PGA) باستخدام طريقة دونوفان (1973) لها نطاق من القيم بين 126 - 205 جالون على مقياس VII MMI. بينما أعلى قيمة لتسريع الأرض الأقصى (PGA) باستخدام طريقة Crouse (1991) له نطاق من القيم بين 177-292 جالون على مقياس VII MMI. ثم أعلى قيمة لتسريع الأرض باستخدام طريقة فوكوشيما - تاناكا (1992) لها نطاق من القيم بين 278 - 338 جالوناً على المقياس الثامن. بناءً على نتائج الطرق الثلاث بعد ارتباطها بالبيانات التاريخية للزلازل المدمرة في المنطقة الخاصة ليوجياكارتا والطرق التي تم الحصول عليها المناسبة لمجال البحث هي طرق فوكوشيما - تاناكا وكروس. المناطق التي يُقدر أنها تعرضت لمستوى عالٍ من الأضرار بسبب الزلزال في المنطقة الخاصة من يوجياكارتا هي Bantul و Imogiri و Jetis و Kasihan و Kretk و Pandak و Pleret و Pundong و Sanden و Sedayu و Sewon و Srandakan sub- المقاطعات ، ومنطقة بانتول ، ومنطقة ليندا الفرعية ، ومنطقة كولون. بروغو ، بالإضافة إلى منطقة باليان ، منطقة جونونج كيدول ريجنسي. ترجع المخاطر العالية إلى الكثافة القصوى والكثافة السكانية العالية.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang sering mengalami berbagai fenomena alam dan bencana alam baik dari aktivitas vulkanik maupun tektonik salah satunya yaitu Gempa Bumi. Beberapa daerah di Indonesia menjadi titik rawan terjadinya gempa bumi hal ini dikarenakan Indonesia terletak pada zona pertemuan antara tiga lempeng tektonik (*Triple Junction Plates*) yang terdiri dari Lempeng Eurasia yang bergerak dari bagian utara hingga ke arah selatan dengan kecepatan sebesar 13 cm per tahun, Lempeng Indo-Australia bergerak dari bagian selatan dan bergerak ke arah utara dengan kecepatan sebesar 7 cm per tahun, dan lempeng Samudera Pasifik bergerak dari bagian timur ke arah barat dengan kecepatan sekitar 10 cm per tahun, sehingga menyebabkan Indonesia memiliki Intensitas gempa yang tinggi dan rawan terhadap terjadinya bencana gempa bumi yang disebabkan akibat aktivitas tektonik (Munir, 2015).



Gambar 1.1 Peta Tektonik di Kepulauan Indonesia (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010)

Pada gambar 1.1 dapat diketahui bahwa terdapat tiga zona subduksi yang mengelilingi beberapa pulau di Indonesia, antara lain subduksi pertama yang terjadi karena tumbukan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia dan berkolerasi dengan sistem sesar, lipatan dan cekungan yang terletak di sepanjang Pantai Barat Sumatra, Pantai Selatan Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan Maluku. Subduksi pertama merupakan zona seismisitas yang aktif dan terletak di Andaman hingga ke Busur Banda Timur Indonesia sepanjang 5.600 km, sehingga mengakibatkan peristiwa tumbukan antar lempeng dan menjadikan alasan terjadinya gempa bumi tektonik (Nugraha, 2014). Sedangkan subduksi kedua terjadi karena tumbukan lempeng Samudera Pasifik dengan lempeng Indo-Australia berada di pantai barat Irian, dan subduksi ketiga terjadi karena tumbukan dari ketiga lempeng tektonik yang terletak di wilayah Sulawesi, berdasarkan peristiwa tersebut yang menjadikan penyebab terjadinya gempa di Indonesia yaitu ketika lempeng samudera bertabrakan dengan lempeng benua. Daerah perbatasan lempeng ini membentuk zona subduksi dan secara geografis 80 % bencana gempa terjadi pada zona subduksi (Susanto, 2011),

Gempa bumi (earthquakes) adalah peristiwa berguncangnya tanah yang disebabkan oleh lepasnya gelombang seismik secara tiba-tiba dari sumber energi elastis dan batuan yang terletak di sumber gempa tidak dapat menahan gaya yang disebabkan oleh pergerakan relatif lempeng batuan tempat gaya tersebut berada dan daya tahan antar batuan digunakan untuk menentukan besarnya gempa yang akan terjadi. (BMKG, 2010)

Pergerakan tektonik lempeng adalah proses di mana litosfer bergerak secara horizontal di atas astenosfer. Astenosfer adalah lapisan mantel atas pada

kedalaman 350-100 kilometer di bawah permukaan bumi. Sifat astenosfer sangat panas, dan mudah berubah bentuk meskipun tidak cair. Litosfer adalah lapisan setebal 100 kilometer dari permukaan bumi. Akibat dari pergerakan lempeng tersebut akan terjadi akumulasi energi di dekat batas lempeng, jika energi tersebut tidak dapat ditampung maka akan menyebabkan patahan atau deformasi pada kerak dan terjadi gempa tektonik. (Afnimar, 2009).

Terjadinya bencana gempa bumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik telah dijelaskan didalam Al-Qur'an dalam Surat An-Naml ayat 88:

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي أَنْقَضَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ خَبِيرٌ  
بِمَا تَفْعَلُونَ

Artinya: “Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.” (Q.S. An. Naml ayat 88)

Kata (الجبال) merupakan jamak dari kata (جبل) yang artinya gunung, adapun penyebutan kalimat (وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ) yang artinya gunung itu berjalan sama seperti jalannya awan. Kata (تَمُرُّ) berasal dari kata (مَرَّ) yang artinya berjalan namun biasanya dalam ilmu tafsir dikiasikan dengan kata bergerak. Dalam tafsir ilmi oleh Kemenag dan LIPI (2016) ayat ini menjelaskan bahwa gunung yang terlihat diam tidaklah diam, melainkan ia bergerak baik milimeter demi milimeter setiap tahun, sedangkan penyebutan kata gunung (sesuatu yang melekat pada bumi) sehingga secara tidak langsung dengan mengatakan gunung bergerak maka secara otomatis dikatakan pula bahwa bumi itu bergerak. Dalam ilmu geologi dikatakan bahwa gunung bergerak terjadi karena gerakan dari kerak (lempeng bumi), pergerakan ini diakibatkan karena terdapat arus konveksi dari lapisan astenosfer. Jadi yang dimaksud gunung berjalan diatas awan dalam ayat ini dapat

dianalogikan dengan pergerakan lempeng tektonik (bagian bumi paling atas) yang mengapung diatas lapisan astenosfer dan bergerak relatif satu terhadap lainnya.

Menurut tafsir Al-Misbah, Surat An-Naml pasal 88 berisi tentang rahasia sistem peredaran bumi yang menjelaskan tentang pergerakan lempeng tektonik. Diyakini bahwa pandangan pergerakan gunung berasal dari hasil rekaman satelit, yang membuktikan bahwa Jazirah Arab dan pegunungannya bergerak beberapa sentimeter ke Iran setiap tahun. Dahulu kala, sekitar lima juta tahun yang lalu, Jazirah Arab menjauh dari Afrika dan membentuk Laut Merah. Di mata para mufasir kontemporer, inilah makna gunung yang bergerak lambat seperti awan. (Shihab, 2002).

Daerah Istimewa Yogyakarta adalah provinsi yang terletak di bagian selatan Jawa, berdekatan dengan Samudera Hindia, dan merupakan zona subduksi lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Hal inilah yang menyebabkan kondisi geomorfik Daerah Istimewa Yogyakarta dipengaruhi oleh aktivitas tumbukan lempeng (Daryono, 2009). Selain gempa yang disebabkan oleh aktivitas lempeng, Yogyakarta juga rawan gempa karena aktivitas sesar lokal yang terbentuk oleh dislokasi atau pemotongan formasi batuan oleh sesar. (Hendrajaya, 1993). Terdapat beberapa sesar lokal di Daerah Istimewa Yogyakarta, seperti sesar Opak, sesar Jiwo, sesar Oyo, dan sesar Progo. Adanya sesar atau sistem sesar ini akan menyebabkan deformasi batuan dan munculnya sesar baru atau sesar-sesar kecil (Daryono, 2009).

Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa merupakan provinsi yang mengalami peristiwa bencana gempa bumi dan menyebabkan kerusakan yang merugikan, salah satunya adalah gempa Bantul tanggal 10 Juni 1868 yang berakibat

kerusakan ribuan rumah bahkan menimbulkan korban jiwa sebanyak 500 orang meninggal, Gempa bumi tanggal 23 Juli 1943 yang menimbulkan korban luka parah sebanyak 564 orang, 31 orang meninggal, dan kerusakan pada rumah penduduk. Selanjutnya tahun 2006 terjadi gempa yang menyebabkan banyak korban jiwa yaitu 4.772 orang, 17.772 korban terluka dan menyebabkan kerusakan infrastruktur (BMKG, 2010).

Percepatan Getaran Tanah Maksimum atau Peak Ground Acceleration (PGA) merupakan nilai percepatan tanah yang paling besar pada wilayah tertentu yang disebabkan karena getaran gempa bumi dalam beberapa waktu atau periode tertentu. Percepatan tanah diperhitungkan dengan menggunakan parameter gempa seperti besarnya magnitudo, hiposenter, episenter dan periode tanah pada pusat gempa. Dalam mencari percepatan tanah maksimum dapat diukur secara langsung menggunakan *accelerograph* atau secara tidak langsung menggunakan pendekatan empiris maupun menggunakan analisis mikrotremor (Hadi, 2012).

Percepatan Getaran Tanah Maksimum adalah nilai yang dihitung pada posisi titik pengamatan atau titik penelitian di permukaan bumi yang memiliki nilai perhitungan paling tinggi karena adanya getaran gempa bumi pada periode waktu tertentu. Periodisitas gempa bumi merupakan proses periode ulang terjadinya gempa bumi yang diperoleh dengan mencari nilai parameter keaktifan gempa bumi atau peristiwa terjadinya gempa bumi di wilayah tertentu. Dalam hal ini gempa bumi memiliki proses yang selalu diperbaharui dan mengalami perulangan, adanya pendekatan untuk mengetahui periode ulang gempa bumi dalam beberapa tahun dapat memberikan keuntungan yaitu untuk memprediksi terjadinya gempa bumi pada masa mendatang dan untuk mengetahui tingkat seismisitas pada suatu

wilayah tertentu (Subardjo, 2001). Oleh karena itu pada penelitian yang dilakukan saat ini yaitu menggunakan data periode gempa dengan jangka panjang selama 50 tahun yang meliputi data gempa bumi pada tahun 1969-2019 dengan harapan data gempa atau aktifitas gempa yang terjadi pada tahun tersebut dapat dijadikan acuan dalam memprediksi aktifitas gempa bumi yang akan datang di wilayah penelitian dan berharap dapat memperkecil dampak negatif gempa bumi yang akan terjadi.

Upaya mitigasi yang perlu segera dilakukan dalam menanggulangi gempa bumi yang tidak dapat diprediksi kapan terjadinya memiliki tujuan untuk meminimalisir resiko akibat bencana gempa bumi yang terdapat di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Dengan memanfaatkan data rekaman historis gempa dari alat *accelerograph* dapat memberikan informasi terkait nilai dari data percepatan tanah maksimum dan pemetaan daerah yang memiliki tingkat resiko kerusakan pada saat terjadinya gempa bumi, serta parameter untuk mengukur tingkat kerusakan tanah. Diharapkan penelitian ini akan menjadi langkah awal untuk upaya mitigasi bencana pada Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Penelitian percepatan getaran tanah maksimum memiliki keterbatasan dalam ketersediaan alat pada berbagai wilayah, oleh karena itu dalam penelitian ini menggunakan 3 pendekatan secara empiris yang digunakan untuk mengetahui nilai dari percepatan tanah maksimum, yaitu metode Fukushima-Tanaka (1992), metode Donovan (1973), dan metode Crouse (1991). Metode Fukushima-Tanaka (1992) merupakan salah satu metode yang menggunakan hubungan magnitudo dan episenter serta dapat digunakan untuk perhitungan data gempa pada wilayah yang mengalami patahan (*fault*) permukaan dan zona subduksi serta cocok digunakan pada wilayah Sumatera dan Jawa. Metode Donovan (1973) adalah

metode yang menggunakan hubungan antara percepatan, magnitudo dan jarak hiposenter yang berguna untuk mengetahui percepatan tanah pada permukaan di wilayah zona subduksi maupun patahan. Sedangkan metode Crouse (1991) adalah rumusan empiris yang menggunakan hubungan antara percepatan, magnitudo, episenter dan hiposenter, serta dapat digunakan pada wilayah yang terletak pada zona subduksi. Hasil yang akan didapatkan pada penggunaan ketiga metode di penelitian ini yaitu adanya pemetaan peta Percepatan Tanah Maksimum dan Peta Resiko Bencana dari setiap pendekatan metodenya, dan dari hasil tersebut akan dibandingkan dengan peta kawasan rawan terjadinya bencana gempa bumi serta peta indeks resiko bencana di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta untuk mengetahui metode yang sesuai atau mendekati dengan daerah penelitian.

Penelitian percepatan getaran tanah maksimum telah dilakukan oleh beberapa peneliti dan yang akan digunakan sebagai penunjang penelitian ini adalah penelitian dengan judul Studi Percepatan Tanah Maksimum Di Daerah Istimewa Yogyakarta Dengan Metode NGA (*Next Generation Attenuation*) oleh Zainatul Afidah (2014) penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai percepatan maksimum menggunakan pendekatan empiris atenuasi NGA dan diperoleh hasil yaitu nilai percepatan tanah maksimum terbesar sebesar 389 gal pada daerah dengan koordinat  $7.95^{\circ}$  LS –  $110.45^{\circ}$  BT dan percepatan tanah maksimum terkecil sebesar 112,04 gal pada daerah dengan koordinat  $8.35^{\circ}$  BT –  $111.5^{\circ}$  BT.

Penelitian lain sebagai penunjang penelitian ini yaitu dengan judul Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) dan Intensitas Gempa bumi berdasarkan Data Gempa bumi Terasa Tahun 1981-2014 di Kabupaten Bantul Yogyakarta oleh Nugroho Budi (2016) yang bertujuan untuk mengkaji zona letak percepatan

maksimum (PGA) dan intensitas gempa bumi berdasarkan rekaman data kejadian gempa bumi tahun 1981-2014 dengan menggunakan perhitungan percepatan tanah maksimum metode Kanai dan intensitas gempa bumi metode Wald dan diperoleh hasil menunjukkan nilai PGA di Kabupaten Bantul sebesar 57,7 – 412,7 gal. Zona PGA di Kabupaten Bantul dibagi menjadi tiga, yaitu wilayah pertama dengan nilai percepatan 57,7-91 gal, wilayah kedua dengan nilai 92-179 gal dan wilayah ketiga dengan nilai percepatan >180 gal. Berdasarkan hasil nilai intensitas gempa bumi, Kabupaten Bantul memiliki potensi untuk kerusakan dengan intensitas V–VII MMI

Berdasarkan penjelasan di atas peneliti berencana untuk melaksanakan penelitian dengan judul “Pemetaan Tingkat Resiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum (Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969-2019)”. Dengan harapan penelitian ini akan memperoleh hasil dari pemetaan percepatan tanah maksimum dan zona yang memiliki resiko gempa bumi berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum yang menggunakan perhitungan 3 metode dari data kejadian gempa bumi. Sehingga dapat dimanfaatkan sebagai kajian bencana gempa bumi, pertimbangan dalam proses perencanaan infrastruktur wilayah, dan mengurangi dampak atau resiko kerugian pada saat terjadi bencana gempa bumi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum dengan menggunakan metode Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992) di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta?
2. Bagaimana pemetaan tingkat resiko bahaya gempa bumi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum dengan menggunakan metode Donovan (1973), Crouse (1991) dan Fukushima-Tanaka (1992) di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Untuk mengetahui pola pemetaan tingkat resiko bahaya gempa bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta.

## **1.4 Batasan Masalah**

1. Data gempa bumi yang digunakan adalah data yang berasal dari katalog gempa BMKG dan USGS dalam rentang tahun 1969-2019 dan termasuk pada zona subduksi.
2. Metode pendekatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992)
3. Magnitudo yang digunakan  $(M) \geq 4$  SR.
4. Wilayah daerah penelitian adalah Daerah Istimewa Yogyakarta dengan batas koordinat sebesar  $-7,35^{\circ}$  LS –  $9,12^{\circ}$  LS dan  $109,8^{\circ}$  BT –  $111,5^{\circ}$  BT.
5. Kedalaman gempa yang digunakan merupakan gempa dangkal dengan memiliki kedalaman 0-60 km.

6. Hasil penelitian yaitu Pemetaan Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Peta Resiko Bencana Gempa Bumi dari 3 metode yang digunakan.
7. Menganalisa hasil pemetaan dari 3 metode yang digunakan dan menentukan beberapa metode yang paling sesuai atau mendekati kondisi sebenarnya daerah penelitian.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

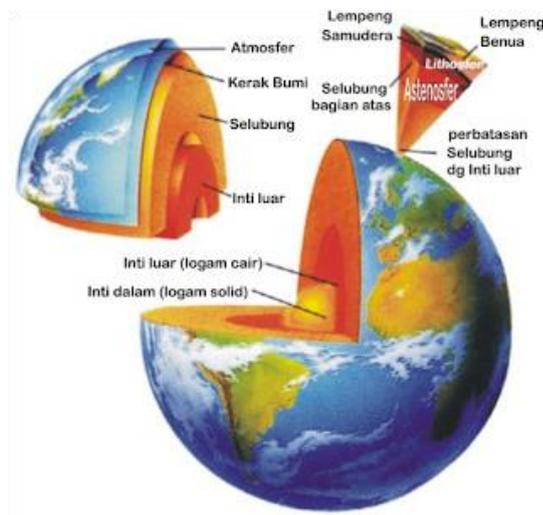
1. Untuk mengetahui nilai dari Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan pemetaan tingkat resiko akibat gempa bumi menggunakan metode Donovan (1973), Crouse (1991) dan Fukushima-Tanaka (1992) di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Untuk memberikan informasi tambahan terkait daerah yang rawan akan bencana gempa bumi dan menambah wawasan tentang pengetahuan di bidang kegempaan kepada masyarakat Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
3. Untuk memberikan informasi yang dapat dijadikan pedoman dan pertimbangan kepada pemerintah maupun masyarakat setempat untuk rencana dalam mitigasi bencana alam gempa bumi dengan harapan dapat mengurangi jumlah korban yang terdampak serta meminimalisir kerusakan pada saat terjadi gempa bumi dengan adanya perencanaan dan pembangunan infrastruktur yang baik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Struktur Bumi

Para ahli telah menyusun dan membagi struktur atau lapisan bumi menjadi beberapa bagian berdasarkan penelitian yang telah mereka lakukan. Lapisan bumi diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yakni Kerak Bumi (*Crust*), Selimut (Mantel), dan Inti (*Core*) (Tjasyono, 2013).



Gambar 2.1 Susunan Lapisan Utama Bumi (An-Najjar, 2006)

Dalam ketiga susunan utama yang disajikan pada gambar 2.1 terlihat dengan nyata letak dari tiap lapisan bumi yang ada di dalam maupun di luar (Munir, 2003).

##### 2.1.1 Kerak Bumi (*Crust*)

Kerak bumi merupakan lapisan bumi paling luar yang memiliki sifat keras dan padat. Adapun ketebalan yang dimiliki kurang lebih 85 km dengan komposisi yang terdiri atas batuan metamorf, batuan sedimen, dan batuan beku serta memiliki unsur utama yaitu silikon dan oksigen dan unsur pembentuk lainnya yaitu aluminium, besi, kalsium, natrium, kalium dan magnesium. Selain

itu, pada lapisan paling luar terbagi menjadi dua bagian kerak benua dan kerak samudera. Kerak samudera memiliki ketebalan lapisan sekitar 5-20 km yang tersusun atas batuan diorit dan granit, adapun kerak benua mempunyai ketebalan lapisan mulai dari 20 hingga 70 km yang tersusun atas batuan basalt dan gabro. Lapisan kerak bumi hanya berukuran 0,5% dari besarnya ukuran bumi sepenuhnya (Prasetya, 2006).

Ahli geologi yang bernama Mohorovicic pada tahun 1909 mengemukakan bahwa dalam bagian terbawah kerak bumi terdapat lapisan peralihan antara kerak bumi dan mantel bumi yang memiliki perubahan sifat fisis secara tajam antara lapisan mantel dan kerak bumi, terutama dalam komposisi massa jenis dan sifat keelastisitasan batuan yang dikenal dengan lapisan MOHO (Prasetya, 2006).

### **2.1.2 Selimut (Mantel)**

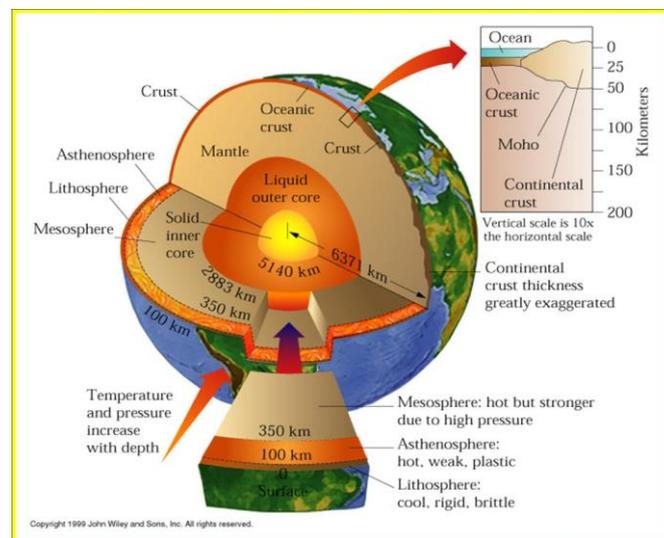
Selimut bumi merupakan lapisan yang terletak di bawah lapisan kerak bumi yang berfungsi dalam melindungi bagian yang ada di dalam bumi. Selimut bumi memiliki tebal hingga 2.900 km dan merupakan lapisan batuan yang berkomposisi padat dan mengandung magnesium maupun silikat. Suhu yang terdapat di bagian bawah selimut bumi mencapai 3.000° C (Munir, 2003).

Mantel bumi terdiri atas 2 bagian, yakni bagian atas atau mantel luar dan bagian bawah atau mantel dalam. Lapisan bagian mantel luar tersusun atas mineral dan ultra basal dengan ukuran densitas antara 4,3 dan 3,3 gram/ein, serta memiliki ketebalan 400 dan 40 km. Mantel bagian atas terbagi dalam 3 lapisan yaitu 100 km paling atas atau litosfer yang bersifat padat, 100 km berikutnya adalah astenosfer yang bersifat padat, dan lapisan di bawahnya adalah

mesosfer yang terdiri dari batuan yang meleleh di beberapa titik dan sebagian lain kental. Sedangkan lapisan bagian dalam tersusun dari senyawa padat Magnesium dan Silikon dengan ukuran densitas antara 4,5 dan 5,5 gram/cm<sup>3</sup> dan mempunyai ketebalan 900-2.700 km (Prasetya, 2006).

### 2.1.3 Inti (Core)

Inti bumi adalah lapisan paling dalam yang ada di dalam bumi. Inti bumi terbagi menjadi inti dalam dan inti luar. Inti dalam bumi terdiri atas besi dan nikel padat dengan suhu sekitar 5.000° C dan memiliki ketebalan hingga 5.350 km dari permukaan bumi. Adapun inti luar terbagi menjadi besi dan nikel yang bersifat cair dengan suhu mencapai 4.500° C dan memiliki ketebalan mulai dari 2880 hingga 4980 km. Sedangkan inti dalam dan inti luar dipisahkan oleh *Lehman Discontinuity* (Prasetya, 2006).



Gambar 2.2 Dinamika Bumi (Prasetya, 2006)

Bagian paling luar bumi tersusun atas lapisan kerak bumi dan lapisan mantel atau dikenal dengan lapisan litosfer (*litos* = batu, dan *fer* = lapisan) atau lapisan batuan yang memiliki ketebalan mulai dari 65 sampai 100 km. Lapisan

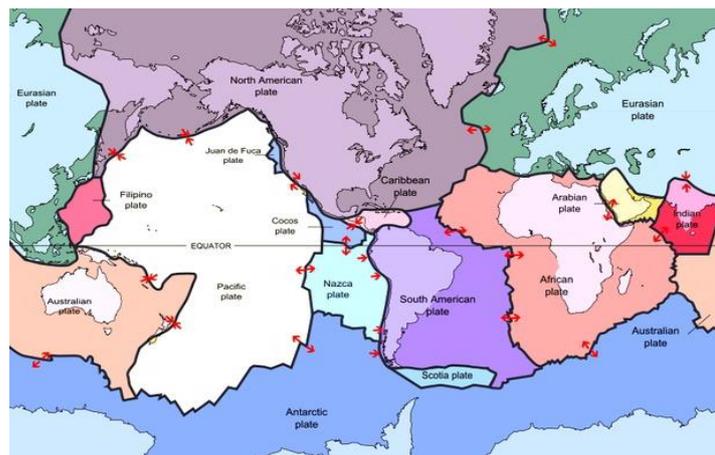
ini terletak pada bagian atas lapisan astenosfer atau dikenal dengan daerah plastis, sehingga keadaan lapisan litosfer dapat terlihat terapung di atas lapisan astenosfer. Hal ini menyebabkan lapisan litosfer menjadi retak-retak, terjadi peregangan (*divergensi*) dan keadaan saling menekan (*konvergensi*). Pada wilayah yang terjadi peregangan, hal ini dapat memisahkan kedua lapisan litosfer. Begitu pula sebaliknya, pada wilayah yang memiliki tekanan maka akan terjadi penunjaman yang menyebabkan salah satu lapisan litosfer masuk ke dalam lapisan litosfer yang lain. Dua hal inilah yang menyebabkan munculnya sebuah Teori Tektonik Lempeng (Prasetya, 2006).

## 2.2 Teori Tektonik Lempeng

Lempeng tektonik terbentuk dari lapisan batuan teratas dari mantel bumi (*earth's mantle*) dan kerak benua (*continental crust*) atau kerak samudera (*oceanic crust*). Kerak samudera memiliki kepadatan material yang lebih tinggi dibandingkan dengan kepadatan yang dimiliki oleh kerak benua. Adapun elemen zat yang ada pada kerak samudera (*mafik*) memiliki volume yang lebih berat dibandingkan dengan elemen zat yang ada dalam kerak benua (*felsik*). Hal ini disebabkan karena tekanan dan suhu yang ada di lapisan atmosfer sangat tinggi, maka batuan yang ada dalam lapisan akan mulai mengalir bagaikan sebuah cairan (*fluid*). Litosfer terbagi menjadi beberapa bagian lempeng tektonik yang saling bergesekan antara satu dengan lainnya (Baxter, 2000).

Teori tektonik lempeng merupakan teori yang terdapat dalam bidang geologi dan menjabarkan tentang bagaimana sifat-sifat secara dinamis yang disebabkan dengan adanya gaya endogen yang muncul di dalam bumi atau di bawah permukaan, teori ini dikembangkan untuk memaparkan bukti bahwa ada sebuah

pergerakan berskala besar yang terjadi dalam litosfer bumi. Pada litosfer ini terbagi menjadi 13 lempeng yang terdiri dari lempeng besar dan lempeng kecil. Adapun lempeng-lempeng ini antara lain yakni lempeng Afrika (*African plate*), lempeng Karibia (*Karibia plate*), lempeng Eurasia (*Eurasian plate*), lempeng Amerika Utara (*North American plate*), lempeng Pasifik (*Pasific plate*), lempeng Amerika Selatan (*South American plate*), lempeng Antartika (*Antartika plate*), lempeng India-australia (*Indian-Australian plate*), lempeng Nasca (*Nasca plate*), lempeng Arab (*Arabian plate*), lempeng Scotia (*Scotia plate*) dan lempeng Philippines (*Philippines plate*). Lempeng-lempeng tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini (Noor, 2009):



Gambar 2.3 Lempeng- Lempeng Litosfer (Noor, 2009)

Tektonik merupakan ilmu yang membahas tentang deformasi litosfer dan pergerakan skala besar. Tektonik lempeng adalah sebuah pembahasan yang berkaitan dengan proses proses bekerjanya litosfer secara horizontal di atas astenosfer. Astenosfer merupakan lapisan selubung bagian atas yang ada di kedalaman antara 350 hingga 1000 km di bawah permukaan bumi. Sifat dari astenosfer ini yakni sering berubah bentuk meskipun tidak dalam kondisi cair dan memiliki suhu yang panas. Sedangkan litosfer adalah lapisan yang memiliki

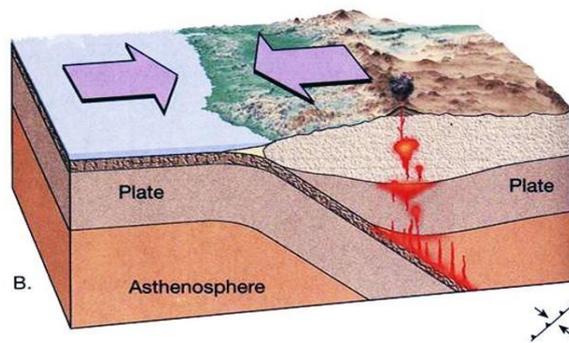
ketebalan hingga 100 km dari permukaan bumi dan memiliki sifat dingin serta kaku (*rigid*), hal ini menyebabkan terjadinya sebuah gerakan peregangan dan gerakan saling menekan. Akibatnya terjadilah akumulasi energi di sekitar daerah perbatasan lempeng, jika energi ini tidak dapat ditahan maka akan menyebabkan sebuah deformasi atau patahan pada lapisan kerak bumi. Selanjutnya, peristiwa gempa tektonik akan terjadi pada daerah tersebut. (Afnimar, 2009).

### **2.3 Batas Pertemuan Lempeng**

Berdasarkan sebuah pergerakan dinamis yang diakibatkan oleh para lempeng tektonik, maka hal ini dapat menyebabkan terbentuknya batas diantara para lempeng. Batas-batas pada lempeng tektonik tersebut dapat didefinisikan dalam tiga jenis, yaitu (Noor, 2009):

#### **2.3.1 Batas Konvergen**

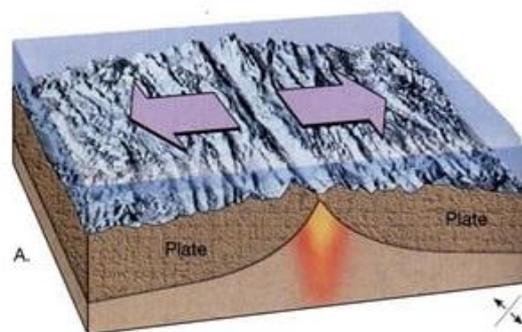
Batas konvergen ialah batas lempeng yang bertumbukan dan dapat berupa batas obduksi serta subduksi. Batas obduksi ialah batas lempeng yang akan terjadi benturan yang berasal antar lempeng benua, benturan asal ke 2 lempeng benua ini akan menjadi sebuah rangkaian pegunungan lipatan. Sedangkan batas subduksi ialah batas lempeng yg mengalami benturan antar dua lempeng yaitu lempeng benua dan samudera . Lempeng yg lebih berat (lempeng samudera ) akan menujam lempeng yang lebih ringan (lempeng benua). Hal ini dapat mengakibatkan keliru satu lempeng mengalami infiltrasi atau masuk ke dalam perut bumi lalu lempeng satunya akan mengalami pengangkatan ke bagian atas bumi. Adapun batas konvergen ini dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini (Noor, 2009):



Gambar 2.4 Batas Konvergen (Noor, 2009)

### 2.3.2 Batas Divergen

Batas Divergen merupakan batas antara lempeng satu dengan lempeng lainnya yang saling menjauh. Dimana proses pemisahan ini terjadi karena adanya gaya tarik (*trensional force*) yang dapat menyebabkan magma panas di dalam bumi menjadi naik ke permukaan yang akan membentuk sebuah material baru yaitu lava yang akan dapat menyebabkan lempeng-lempeng tersebut akan menjauh. Berikut adalah batas divergen yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini (Noor, 2009) :



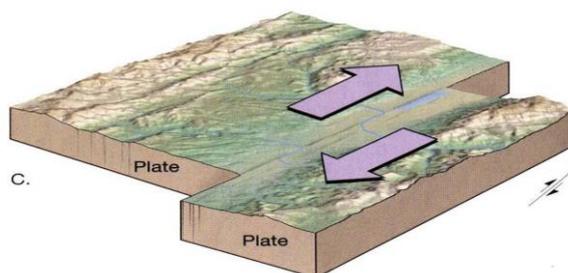
Gambar 2.5 Batas Divergen (Noor, 2009)

Hampir keseluruhan batas lempeng divergen terletak pada dasar samudera. Apabila lokasi-lokasi gempa bumi di plot di atas peta, maka kita dapat mengetahui bahwa biasanya pusat gempa terletak di seluruh batas

lempeng divergen dan rata-rata berasal dari gempa bumi dangkal. Hal ini berbeda dengan gempa bumi yang terdapat di batas lempeng konvergen, hal ini karena karakteristik yang dihasilkan juga berbeda yaitu terjadinya gempa dengan pusat gempa terletak di dalam bumi. (Noor, 2009).

### 2.3.3 Batas Transform

Batas transform merupakan batas pergerakan antar lempeng tektonik yang mendatar satu sama lainnya dan saling berpapasan serta mengalami pergeseran antara satu lempeng dengan lempeng lainnya tanpa merusak atau membentuk litosfer, sehingga akan menghasilkan sebuah sesar mendatar yang jenisnya *strike slip fault*. Gempa bumi dangkal adalah hal yang wajar terjadi pada seluruh batas transform. Hampir seluruh batas lempeng transform terletak di dalam dasar samudera, akan tetapi ada juga batas transform yang dapat dilihat di benua, berikut adalah gambar dari batas transform dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini (Noor, 2009):



Gambar 2.6 Batas Transform (Noor, 2009)

## 2.4 Akibat Pergeseran Lempeng Tektonik

Terdapat tiga macam pergerakan lempeng kerak bumi yakni pergerakan yang saling menjauh, saling mendekati, dan berpapasan. Pergerakan lempeng saling menjauh akan menghasilkan sebuah peregangan dan pengurangan kerak bumi yang akhirnya dapat mengakibatkan terjadinya sebuah pembuangan material baru

dari mantel dan dapat membuat jalur gunung api atau magnetic. Adapun pergerakan lempeng saling mendekati dapat menghasilkan sebuah benturan yang menyebabkan salah satu dari lempeng tersebut menujam ke arah bawah perut bumi, sedangkan lempeng yang lainnya akan naik ke permukaan. Wilayah yang mengalami benturan akan membentuk sebuah palung yang dalam dan menjadi salah satu alasan terjadinya sebuah jalur patahan yang kuat. Sedangkan diujung jalur benturan tersebut akan terjadi sebuah proses kegiatan antara magnetic, gunung api dan berbagai cekungan hasil pengendapan. Hal ini juga terjadi di Indonesia, pertemuan antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia menyebabkan terjadinya benturan di jalur gunung api Sumatera dan selatan Pulau Jawa, Nusa Tenggara dan Jawa, serta beberapa cekungan seperti cekungan Sumatera Tengah, Sumatera Utara, Sumatera Selatan dan cekungan Jawa Utara. (Agus, 2009).

## **2.5 Gempa Bumi**

Gempa bumi merupakan sebuah getaran atau rangkaian getaran yang terjadi di kulit bumi dan sifatnya hanya untuk sementara serta dapat meluas ke segala tempat. Selain itu, gempa bumi juga dapat diartikan sebagai sebuah hentakan besar sekaligus yang diakibatkan dari adanya proses pergeseran lempeng samudera dan lempeng benua. Pergeseran ini disebabkan dari penimbunan energi elastik atau *strain* yang terjadi secara kontinuitas. Gempa bumi mempunyai waktu awal serta waktu akhir dalam proses terjadinya sebuah getaran. Terdapat dua teori yang menyatakan proses berlangsungnya gempa bumi. Teori yang pertama adalah pergeseran sesar dan yang kedua adalah teori kekenyalan elastis. Akan tetapi dalam berbagai kasus yang sering terjadi biasanya disebabkan karena gerakan

secara tiba-tiba pada sepanjang sesar (Bolt, 1978).

Dalam al-Qur'an telah dijelaskan secara garis besar tentang peristiwa gempa bumi, seperti yang tertera dalam surat al-A'raf 91 yang berbunyi:

فَأَخَذَتْهُمُ الرَّجْفَةُ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جُثَمِينَ ﴿٩١﴾

Artinya: “Kemudian mereka ditimpa gempa, maka jadilah mereka mayat-mayat yang bergelimpangan di dalam rumah-rumah mereka,” (Q.S al-A'raf: 91)

Dalam ayat ini kata gempa bumi ditemukan pada kata (رجف) *rojafa*. Kata ini dari segi bahasa dapat diartikan sebagai guncangan yang sangat besar (Munawwir, 1997). Selain itu, kandungan ayat ini memberikan gambaran tentang terjadinya gempa bumi yang sangat besar dimana bumi dan semua isinya bergoncang seperti yang dikatakan dalam ayat diatas bahwa manusia akan menjadi mayat-mayat bergelimpangan di dalam rumah-rumah mereka. Menurut tafsir Al-Misbah ayat ini merupakan gambaran gempa bumi besar yang terjadi pada zaman Nabi Syu'aib, dan pada saat itu Allah mengguncangkan bumi sehingga semua infrastruktur rusak menimpa mereka dan banyak mayat-mayat bergelimpangan pada zaman itu. (Shihab, 2002).

Menurut tafsir ilmi oleh Kemenag dan LIPI, (2016) kehancuran alam di bumi yang berskala kecil misalnya gempa bumi, gunung meletus, banjir dan lainnya merupakan kiamat kecil. Kiamat kecil seperti ini dapat terjadi karena faktor alamiah atau dari Allah SWT yang tidak dapat dihindarkan maupun karena faktor manusia dengan merusak lingkungan.

Gempa bumi merupakan sebuah peristiwa berguncangnya bumi yang diakibatkan oleh pembebasan energi di dalam bumi yang terjadi secara tiba-tiba. Gempa bumi juga bisa terjadi karena adanya sebuah pergeseran kerak bumi

(lempeng bumi). Hasil dari pembebasan energi tersebut akan di pancarkan pada setiap arah yang diwujudkan dalam bentuk gelombang seismik, hal ini menimbulkan sebuah efek yang dapat dirasakan hingga ke permukaan bumi.(BMKG, 2010).

Energi yang didapatkan dari peristiwa gempa bumi dapat tercipta dari segala sumber yang berbeda, seperti erupsi gunung api, pergerakan dari lempeng bumi dan aktivitas manusia atau terjadi sebuah runtuh goa di bawah tanah. Kejadian gempa tektonik bisa digambarkan dengan teori pergerakan lempeng tektonik dalam skala besar. Teori lempeng tektonik menggambarkan bahwa adanya gempa bumi adalah sebuah tanda atau gejala telah terjadi pergeseran tektonik yang sedang aktif, hal ini dapat diketahui oleh sebagian besar aktivitas seismik yang terjadi di batas lempeng. (Elnashai and Sarno, 2008).

Sebaran daerah yang rawan gempa di Indonesia umumnya dapat terjadi apabila ada pertemuan kedua lempeng. Jika kedua lempeng tersebut bertumbukan, maka lempeng yang memiliki kerapatan massa lebih besar dari lempeng lainnya akan masuk ke dalam. Akibatnya, gerakan lempeng akan mulai melambat yang dihasilkan dari gesekan bersama selubung Bumi lainnya. Perlambatan gerak ini akan menghasilkan sebuah penumpukan energi di beberapa zona yang akhirnya dapat membuat sebuah patahan pada batuan dan diikuti dengan melepasnya energi-energi tersebut secara tiba-tiba. Jumlah energi yang lepas akan tergantung pada keadaan elastisitas lempeng yang terlewati yang akhirnya dapat menghasilkan sebuah getaran pada partikel di setiap arah. Selanjutnya, getaran ini disebut dengan istilah gempa tektonik. Adapun keadaan gempa bumi yang lain berhubungan dengan aktivitas sesar aktif dalam kerak bumi. Jenis sesar/ patahan

aktif yang menyebabkan adanya gempa bumi dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu sesar turun (*normal fault*), sesar naik (*thrust/reverse fault*) dan sesar mendatar (*strike slip fault*). (Supartoyo dkk, 2006).

Menurut Teori *Elastic Rebound* yang dinyatakan oleh seismolog Reid, (Bolt,1978) menyatakan bahwa gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi di litosfera.

Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (stress) dan tarikan (strain) di lapisan bumi. Tekanan atau tarikan yang selalu terjadi mengakibatkan daya dukung di batuan mencapai batas maksimum dan mulai melakukan pergeseran sehingga terjadilah patahan secara tiba-datang. Energi stres yang tersimpan akan dilepaskan melalui getaran yang dikenal dengan peristiwa gempa bumi (Don, L. & Florence Leet. 2007).

## **2.6 Proses Terjadinya Gempa Bumi**

Pergerakan kedua lempeng yang saling bersinggungan dan bergerak secara relatif kepada salah satunya dapat menimbulkan sebuah pergerakan di setiap daerah perbatasan lempeng. Gesekan kedua lempeng yang memiliki sifat elastis ini bisa menghasilkan sebuah energi elastis. Apabila pergerakan lempeng secara terus menerus terjadi, maka selanjutnya akan terbentuk akumulasi energi pada batas lempeng dalam waktu yang lama. Energi yang telah terkumpul akan lepas sendirinya seperti bentuk gelombang hingga menuju ke permukaan bumi yang membentuk sebuah getaran tanah dan dapat dirasakan. Hal ini merupakan akibat dari keadaan batuan yang tidak dapat menampung gaya yang dihasilkan oleh gerak relatif pada lempeng dalam kondisi tertentu. Oleh karena itu, gelombang yang dihasilkan oleh gempa ini dikenal dengan gelombang seismik. (Ismail

Sulaiman, 1989).

Terdapat beberapa syarat yang harus terpenuhi agar kondisi ini dapat dikatakan sebuah kejadian gempa bumi, syarat-syarat tersebut antara lain sebagai berikut: (Idawati, 2005)

1. Gerakan relatif dari lempeng tektonik atau blok-blok lempeng tektonik,
2. Pembangunan stress.
3. Pelepasan energi.

Pada kondisi normal, batuan hanya mengalami beban gravitasi, namun pada saat sebelum terjadi gempa bumi, akan ada tegangan baru yang tercipta pada batuan. Tegangan ini dapat berbentuk tegangan desak, tegangan geser maupun tegangan tarik. Para ahli telah memberikan penjelasan tentang tahapan-tahapan terjadinya gempa, tahap-tahap ini antara lain akan dipaparkan sebagai berikut (Prawirodikromo, 2012):

1. Tahap 1

Pada tahap ini kedua lempeng akan saling bertumbukan, misalnya di daerah subduksi. Setelah bertumbukan maka akan mengalami tegangan geser sehingga kedua lempeng akan menutup dan tegangan geser terakumulasi terus atau disebut dengan *stress build-up*.

2. Tahap 2

Pada tahap ini terjadi penekukan/ *bukling* pada lempeng atas akibat gerakan desakan yang terkunci/ tertahan. Keadaan ini akan terus terjadi hingga beberapa puluh tahun atau ratusan tahun. Hal ini mengakibatkan terbentuklah perbukitan di lempeng atas, sementara tegangan geser akan mengalami penambahan secara terus menerus. Pada saat inilah, retakan-

retakan akan mulai terbentuk.

3. Tahap 3

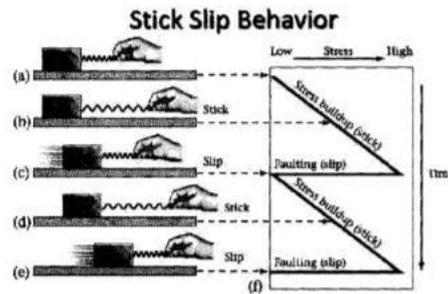
Pada tahap ketiga, retakan pada bebatuan sudah mencapai pada batas seimbang. Keadaan batuan yang sudah mencapai batas imbangnya maka akan memiliki sebuah instabilitas.

4. Tahap 4

Pada tempat dimana kondisi batuan yang paling lemah maka terjadi pecahan pada batuan tersebut. Kontak atau slip pada bebatuan yang terkunci dan melepaskan energinya akan menjadi penyebab terjadinya gempa bumi. Disaat batuan mengalami perpecahan, maka beberapa energi yang dilepaskan akan ditransfer dan membentuk energi gelombang seismik. Selanjutnya, gelombang akan menuju ke setiap arah dan salah satunya yaitu sampai ke permukaan tanah dari pusat terjadinya gempa. Sebelum memenuhi alat pencatat, gelombang gempa akan melampaui beberapa keadaan pada lapisan tanah. Oleh karena itu, sebagian gelombang akan mulai mengalami pemantulan, pembiasan, dan ada juga yang bergerak di setiap permukaan tanah.

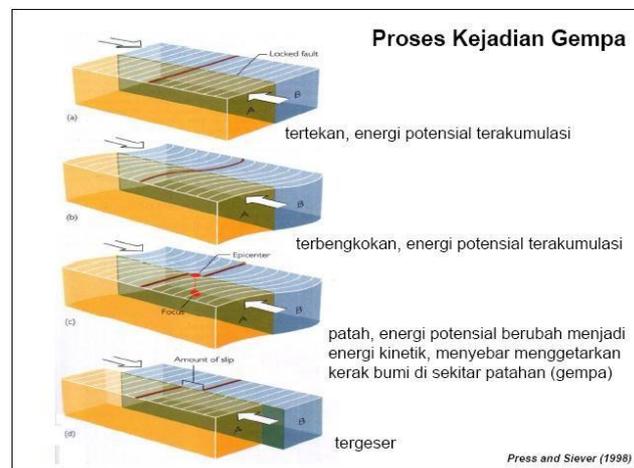
5. Tahap 5

Setelah gempa bumi selesai terjadi, maka kesetimbangan yang baru akan mulai tercipta. Selain penjelasan yang dipaparkan di atas, peristiwa terkumpulnya tegangan (*stress build up*) dan pelepasan beberapa energi setelah kejadian (*released energy*) dapat digambarkan seperti keterangan di bawah ini:



Gambar 2.7 Ilustrasi Lepasnya Sejumlah Energi Gempa (Prawirodikromo, 2012)

Teori patahan (*theory fracture*) menyebutkan bahwa beberapa energi tertentu yang dihasilkan dari sebuah patahan dan gelombang seismik yang dihasilkan. Energi ini dapat diindikasikan seismograf pada saat terjadinya gempa dan dapat memberikan gambaran bahwa gempa bumi merupakan hasil terjadinya sebuah pembebasan energi dari patahan kerak bumi yang akhirnya titik pusat gempa (Ismail Sulaiman, 1989).



Gambar 2.8 Proses Kejadian Gempa (Frank Press and Raymond Siever, 1998)

Pada gambar 2.8 dijelaskan mengenai urutan terjadinya gempa yang dihasilkan oleh pergeseran lempeng atau dikenal dengan gempa tektonik. Gambar (a) lempeng mengalami penekanan dan energinya mulai terkumpul. Gambar (b) lempeng mengalami pembelokan dan energi potensial terkumpul. Gambar (c)

lempeng mengalami sebuah patahan, energi potensial akan berubah ke energi kinetik, selanjutnya mulai meluas dan menggerakkan kerak bumi di area patahan (gempa). Gambar (d) lempeng mengalami pergeseran. (Frank Press and Raymond Siever, 1998)

## **2.7 Klasifikasi Gempa Bumi**

Gempa bumi menjadi salah satu gejala alam yang terjadi di Indonesia, Gempa bumi diartikan dengan sebuah getaran yang dapat dirasakan di area permukaan bumi dan dihasilkan dari gelombang seismik dari pusat gempa di dalam lapisan kulit bumi. Disaat pergerakan terjadi, maka akan muncul sebuah getaran atau gelombang seismik yang menjalar di permukaan dan di dalam bumi dengan gelombang transversal serta longitudinal. Pusat gempa bumi disebut dengan hiposenter, letaknya terdapat di dalam bumi. Sedangkan daerah pusat getaran bumi merambat disebut dengan episenter, letaknya berada di permukaan bumi atau di dalam dasar laut. Gempa bumi dapat dikategorikan menjadi kekuatan gelombang atau getaran gempanya, kedalaman hiposenter dan sumber penyebabnya (Agus, 2009).

### **2.7.1 Klasifikasi Gempa Bumi Menurut Kedalaman**

Gempa bumi yang didasarkan pada kedalaman hiposenter dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yakni (Sanjaya, 2008):

1. Gempa bumi dalam

Gempa bumi dalam merupakan gempa bumi yang keadaan hiposenternya berada pada posisi 300 km lebih di bawah permukaan bumi. Gempa bumi jenis ini pada dasarnya tidak begitu bahaya. Adapun daerah yang sudah terjadi gempa bumi jenis ini yakni wilayah di bawah laut

Flores, Sulawesi, dan Jawa.

## 2. Gempa bumi menengah

Gempa bumi menengah merupakan gempa bumi yang keadaan hiposenternya terletak diantara 60 km hingga 300 km di bawah permukaan bumi. Gempa bumi ini dapat membuat sebuah keruntuhan dan getaran yang dihasilkan juga terasa. Daerah yang sudah mengalami gempa bumi ini yakni wilayah di sepanjang pulau Jawa bagian selatan, pulau Sumatra bagian barat, laut Maluku, sepanjang teluk Tomini, dan pulau Nusa Tenggara.

## 3. Gempa bumi dangkal

Gempa bumi dangkal merupakan gempa bumi yang keadaan hiposenternya terletak pada posisi <60 km dari permukaan bumi. Gempa ini dapat menghasilkan kerusakan yang lebih besar dari gempa bumi lainnya. Gempa bumi dangkal yang ada di Indonesia berada pada setiap patahan aktif dan sesar aktif. Gempa ini dapat menghasilkan kehancuran, hal ini dikarenakan semakin dangkal letak terjadinya gempa bumi maka daya perusakannya juga akan semakin besar. Daerah yang sudah mengalami gempa bumi ini adalah pulau Flores, Bali dan Yogyakarta.

### **2.7.2 Klasifikasi Gempa Bumi Berdasarkan Getaran Gelombang**

Gempa bumi yang didasarkan pada getaran gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu (Agus, 2009):

#### 1. Gempa karena gelombang primer

Gelombang primer (gelombang longitudinal) artinya gelombang/getaran yang menjalar di bumi menggunakan kecepatan 7 hingga 14 km/

dtk dengan getaran dari hiposenter.

2. Gempa karena gelombang sekunder

Gelombang sekunder (gelombang transversal) merupakan gelombang atau getaran yang menjalar seperti gelombang utama dengan kecepatan kurang lebih 4 hingga 7 km/dtk. Gelombang ini tidak bisa menjalar pada cairan.

3. Gempa karena gelombang panjang

Gelombang panjang merupakan gelombang yang menjalar di permukaan bumi menggunakan kecepatan 3 sampai 4 km/ dtk. Gelombang ini berawal dari episenter serta dapat membentuk kerusakan pada daerah bagian atas bumi.

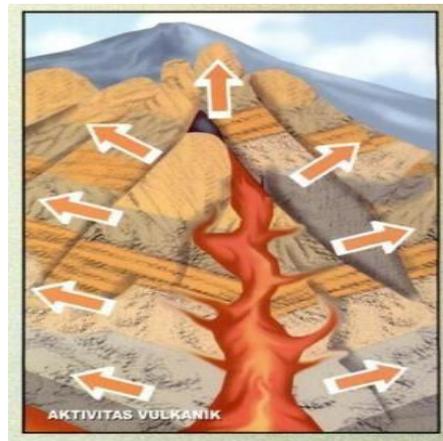
### **2.7.3 Klasifikasi Gempa Bumi Berdasarkan Faktor Penyebabnya**

Hal-hal yang menjadi alasan terjadinya gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi empat macam yakni (Subardjo, 2004):

1. Gempa bumi Vulkanik (*Vulcanic Earthquake*)

Gempa bumi ini bermula dari sebuah aktivitas magma yang menyebabkan gunung api meletus. Apabila aktivitas ini semakin besar maka dapat menghasilkan sebuah ledakan dan muncul gelombang seismik. Keluarnya magma panas ini sejalan dengan adanya *driving force* yang diakibatkan oleh kondisi di dalam bumi yang mengalami perubahan menjadi panas. Adapun getaran tanah yang dihasilkan oleh keluarnya magma panas dapat berupa seperti gempa bumi meskipun intensitas yang dimiliki lebih sedikit daripada gempa tektonik. Pada dasarnya gempa vulkanis tidak menimbulkan dampak yang begitu hebat, gempa ini dapat

dirasakan di wilayah gunung berapi. Berdasarkan data yang ada, terdapat sekitar 7% daerah di seluruh dunia yang pernah mengalami gempa tersebut.



Gambar 2.9 Aktivitas Vulkanik (Subardjo, 2004)

## 2. Gempa Tektonik (*Tectonic Earthquake*)

Gempa bumi ini bermula dari sebuah aktivitas tektonik, yakni sebuah kegiatan bergesernya lempeng tektonik yang memiliki kekuatan dengan berbagai macam variasi. Gempa bumi ini dapat menjadi penyebab adanya bencana alam atau kerusakan di daerah permukaan bumi, getaran kuat yang dihasilkan dapat merambat ke setiap bagian bumi. Dari beberapa kejadian tektonisme, yang paling besar menciptakan gempa adalah tektonisme yang menghasilkan dislokasi atau disebut dengan nama patahan. Pergerakan kerak bumi di setiap wilayah patahan dapat menghasilkan goyangan yang selanjutnya menjalar menuju setiap tempat dan melewati unsur-unsur pembentuk bumi (Munir, 2003). Adapun penyebaran pusat gempa (*episenter*) di seluruh dunia ada di setiap batas-batas lempeng (*konvergen, divergen, maupun transform*). Oleh karenanya, adanya kejadian gempa bumi berkaitan erat dengan Teori Tektonik

Lempeng (Noor, 2003).

### 3. Gempa bumi Runtuhan (*Collapse Earthquake*)

Gempa bumi ini ada di daerah berkapur atau tambang, jenis gempa ini tidak banyak terjadi. Gempa runtuhan merupakan gempa yang dihasilkan dari sebuah runtuhan, seperti atap gua bawah tanah runtuh (umumnya di daerah berkapur), *rock fall* (longsor), atau adanya runtuhan di dalam lubang tambang. Getarannya tidak terlalu besar dan daerah yang dilewati juga sangat terbatas yakni sekitar 1 hingga 2 kilometer dari pusat gempa. Tempat yang bahaya terletak pada wilayah yang curam atau wilayah lahan gundul (Munir, 2015). Menurut Noor (2003), Gempa minor merupakan gempa yang dapat dirasakan di sekitar wilayah gempa dan guncangannya tidak menghasilkan kehancuran yang besar atau hilangnya nyawa seseorang atau harta benda lainnya.

### 4. Gempa bumi Buatan (*Exlosion Earthquake*)

Gempa bumi buatan merupakan getaran yang dihasilkan oleh aktivitas manusia di permukaan. Hal ini menghasilkan sebuah getaran yang berarti, seperti palu yang dihantamkan ke bumi dan peledakan dinamit. Wilayah yang dapat terpengaruh oleh guncangan ini dikisar antara 1 hingga 100 meter dari pusatnya, sedangkan wilayah yang lebih jauh belum tentu terkena guncangan. Dikarenakan guncangan yang tidak sebesar gempa lainnya, maka gempa ini tidak menghasilkan dampak yang begitu banyak (Munir, 2015).

#### **2.7.4 Klasifikasi Gempa Bumi Berdasarkan Kekuatannya**

Gempa bumi yang didasarkan pada kekuatannya dapat diklasifikasikan

menjadi 7 macam, yakni (Subardjo, 2004):

1. Gempa bumi sangat besar ( $M= 8$  SR).
2. Gempa bumi besar ( $M=7-8$  SR).
3. Gempa bumi merusak ( $M= 5-6$  SR).
4. Gempa bumi sedang ( $M= 4-5$  SR).
5. Gempa bumi kecil ( $M= 3-4$  SR).
6. Gempa bumi mikro ( $M=1-3$  SR).
7. Gempa bumi ultra mikro ( $M < 1$  SR).

## 2.8 Sumber Gempa Bumi

Adapun sumber-sumber gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam gempa, yakni:

### 2.8.1 Zona Subduksi

Zona subduksi ialah wilayah yang letaknya berada pada garis lempeng samudera yang ikut ke dalam lempeng benua. Zona subduksi dapat dikategorikan menjadi 4 bagian yaitu *normal fault*, *thrust fault*, *strike sli*, dan *reverse slip* yang terjadi di setiap titik pertemuan kedua lempeng bumi (Wells, D.L and Coppersmith, 1994). Adapun dasar gempa subduksi dapat mencapai titik 50 km. Sedangkan sumber gempa yang terjadi pada kedalaman 50 km lebih akan digantikan dengan sumber gempa *deep background*. (Nugraha dkk., 2014).

### 2.8.2 Zona Fault

Zona *fault*, ialah daerah terjadinya gempa dangkal yang memiliki alur *strike-slip*, *reverse*, atau normal yang terbentuk dari beberapa patahan yang diketahui. Sumber gempa patahan dangkal dapat mencapai titik dalam 15 km. (Wells, D.L and Coppersmith, 1994)

Didasarkan pada aktivitasnya, maka sesar dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sesar aktif, dan sesar tidak aktif. Sesar aktif merupakan sesar yang sudah berjalan dalam usia dua juta tahun terakhir. Sedangkan sesar tidak aktif merupakan sesar yang belum berusia dua juta tahun terakhir. Sesar aktif termasuk dalam sumber gempa bumi kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*) yang dapat diketahui bentuknya berdasarkan keadaan lahan dalam skala kecil atau besar. Dalam skala yang besar, sumber gempa bumi dapat diketahui dengan munculnya lipatan, pegunungan karst dan plato. Sedangkan dalam skala yang kecil, sumber gempa dapat diketahui dengan munculnya perbukitan faset segitiga, kipas aluvial, lereng, canyon, pergeseran sungai dan gump pasir. Seluruh macam sesar aktif akan menimbulkan bentuk lahan yang bermacam. Hal ini karena respon dan kegiatan lahan yang tidak sama terhadap setiap macam sesar. (Badan Geologi, 2016).

### **2.8.3 Zona Background**

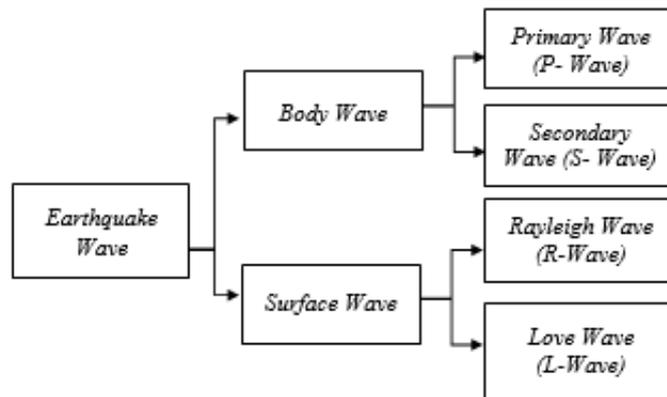
*Zona background* merupakan pusat gempa yang belum terlihat dengan benar, akan tetapi di sebagian tempat tersebut mengalami beberapa peristiwa gempa. Zona ini diklasifikasikan menjadi dua yakni *shallow background* (memiliki intensitas mencapai 50 km) dan *deep background* (memiliki intensitas mencapai 50 km lebih). Bentuk dasar gempa *deep background* terbagi menjadi empat interval dengan intensitas 50 hingga 100 km, 100 hingga 150 km, 150 hingga 200 km, dan 200 hingga 300 km. (Nugraha dkk., 2014)

## **2.9 Gelombang Seismik**

Gelombang seismik ialah gelombang elastik gempa bumi yang merambat ke setiap wilayah bumi dan melewati permukaan bumi yang diakibatkan oleh

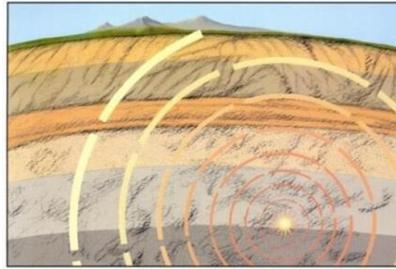
terjadinya sebuah ledakan atau patahan secara tiba-tiba pada lapisan batuan bumi. Melalui interaksi ini maka selanjutnya muncul gelombang longitudinal, gelombang transversal, dan kombinasi dari keduanya. (Sunarjo dkk., 2012)

Penjalaran dari gelombang seismik yang terjadi terikat oleh kondisi elastisitas pada beberapa batuan tertentu yang berada di permukaan atau bawah permukaan bumi. Terdapat dua gelombang seismik, yakni gelombang badan (*Body Wave*) yang pada dasarnya melewati bidang interior bumi, kemudian terdapat juga gelombang permukaan (*Surface Wave*) yang menjalar melewati luar bumi. Pada gelombang badan terbagi gelombang P dan gelombang S, sedangkan pada gelombang permukaan dibagi lagi menjadi gelombang rayleigh (*Ground Roll*) dan gelombang love (Telford, et.all, 1990).



Gambar 2.10 Pembagian Gelombang Gempa (Prawirodikromo, 2012)

Apabila getaran yang dihasilkan telah melewati elastisitas pada permukaan bumi, selanjutnya terbentuk sebuah patahan pada kulit bumi yang paling lemah. Kulit bumi yang patah ini akan membebaskan tegangan/energi sebagian atau sepenuhnya agar berubah ke bentuk awal. Keadaan pembebasan energi ini dikenal dengan gempa bumi. (Bormann, 2002).



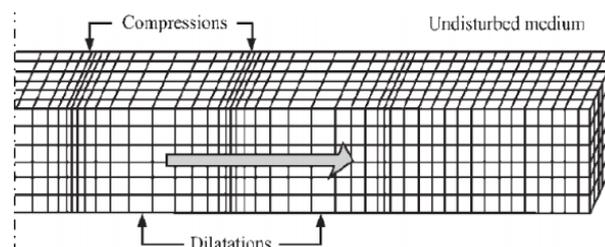
Gambar 2.11 Penampakan Gelombang Seismik (Prawirodikromo, 2012)

### 2.9.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan ialah gelombang yang memiliki energi yang ditransfer melewati saluran dalam bumi (Priyono, 2006). Didasarkan pada sifat pergerakan partikel pada tempatnya, gelombang ini diklasifikasikan menjadi dua, yakni gelombang-P/ gelombang Primer dan gelombang-S/ gelombang Sekunder.

#### 1. Gelombang Primer (P)

Gelombang Primer adalah gelombang yang memiliki indikasi getar partikel pada tempatnya (padat dan cair) sejalan dengan arah perambatannya. Gelombang P menjalar dengan kecepatan 1,5 hingga 8 km/dtk. Gelombang ini juga disebut dengan gelombang kompresi (*compressional wave*), hal ini karena tercipta dari getaran yang menjalar dari tempat lainnya. Gelombang ini akan mengalami kompresi dan dilatasi pada titik tertentu. Keterangan ini dapat terlihat pada Gambar 2.5 di bawah ini (Wallace dan Thorne, 1995).



Gambar 2.12 Gelombang Primer (P) (Elnashai and Sarno, 2008)

Berikut ini adalah persamaan dari kecepatan gelombang P yang tertera dalam (2.1) sebagai berikut (Wallace dan Thorne, 1995):

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

Dimana :  $v_p$  = Kecepatan Gelombang P

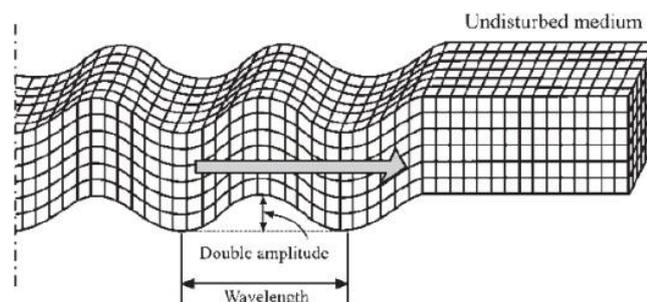
$\rho$  = Densitas

$k$  = Modulus Bulk

$\mu$  = Modulus Geser

#### b. Gelombang Transversal (S)

Gelombang Transversal ialah gelombang yang memiliki indikasi getar atau osilasi unsur-nusur pada tempatnya yang tegak lurus dengan arah perambatannya. Gelombang ini dikenal dengan gelombang geser atau *shear wave* (*S wave*), dapat di katakan demikian karena sejatinya gelombang ini hanya dapat menggeserkan deformasi dan tidak bisa untuk mengganti volumenya. Gelombang S memiliki kecepatan lebih sedikit dari gelombang P. Gelombang ini tidak dapat menjalar atau merambat pada fluida (Wallace dan Thorne, 1995).



Gambar 2.13 Gelombang Sekunder (S) (Elnashai and Sarno, 2008)

Berikut ini adalah persamaan dari percepatan gelombang S yang tertera pada (2.2) sebagai berikut (Wallace dan Thorne, 1995):

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

Dimana:  $v_s$  = Kecepatan Gelombang S       $\mu$  = Modulus Geser

$\rho$  = Densitas

### 2.9.2 Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan ialah gelombang yang energinya di transfer di permukaan bumi secara lepas dan dapat merambat menjadi wujud *ground roll* yang memiliki kecepatan gelombangnya mulai dari 500 m/ s sampai 600 m/ s (Priyono, 2006).

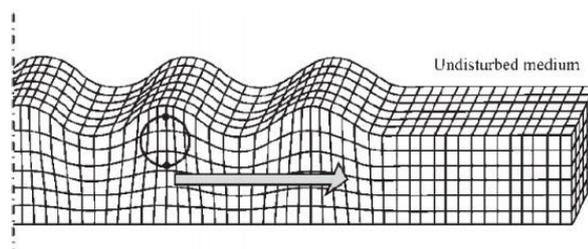
Gelombang permukaan merupakan hasil hubungan antara permukaan lapisan bumi dan gelombang badan. Gelombang permukaan menjalar di setiap permukaan bumi dengan besar amplitudo yang mengalami penurunan secara eksponensial. Gelombang permukaan pada sejatinya mempunyai angkafrekuensi yang rendah dan memiliki nilai amplitude yang besar. Pada pusat gempa yang luas, gelombang permukaan akan lebih menguasai. Pada wilayah yang lebih luas dari ketebalan kerak bumi, gelombang permukaan membuat gesekan tanah semaksimal mungkin daripada gelombang badan. Gelombang permukaan diklasifikasikan menjadi dua yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love. (Kramer, 1996)

#### 1. Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh merupakan gelombang yang memiliki pergerakan tambahan dari persamaan elastis gerak dari gelombang tubuh dengan permukaan bebas, hal ini di buktikan oleh Rayleigh pada tahun 1997. Hal ini dapat melibatkan gerakan gelombang terbatas dan menyebar

sepanjang permukaan tubuh (Wallace dan Thorne, 1995).

Gelombang Rayleigh dapat terletak di segala macam tempat dalam permukaan tanah. Gelombang ini diperoleh dari hubungan gelombang P dan SV dengan permukaan bumi, serta mengikutkan pergerakan partikel horizontal dan vertikal. Gelombang Rayleigh menjalar dengan kecepatan 1.12 m/ s yang akhirnya menghasilkan dampak pada pergerakan tanah yang sirkuler dan tanah akan bergerak seperti ombak di laut. (Kramer, 1996).



Gambar 2.14 Gelombang Rayleigh (Elnashai and Sarno, 2008)

## 2. Gelombang Love

Gelombang Love ialah gelombang geser (*S wave*) yang tercampur secara horizontal dan tidak akan memperoleh pergeseran secara vertikal. Kemudian untuk kecepatan menjalar yang dihasilkan oleh gelombang ini lebih sedikit dari gelombang P, memang pada dasarnya lebih pelan dari gelombang S. Pada tahun 1911, Love mengkarakteristikan sebuah tipe kedua dari pergerakan gelombang permukaan. Pergerakan ini di hasilkan pata batasan tubuh dengan properti lapisan material. (Wallace dan Thorne, 1995)

### 2.10 Parameter Gempa Bumi

Peristiwa gempa bumi akan memberikan data seismik sebuah rekaman sinyal

berwujud gelombang. Rekaman ini akan melewati sistem manual atau non manual yang berakhir dengan diperolehnya sebuah data. Data seismik akan dikumpulkan, diolah dan dianalisa untuk menjadi bahan ukur terjadinya gempa bumi. Kecermatan dalam menggunakan parameter gempa ini akan memastikan nilai data yang diinformasikan kepada masyarakat. Dengan adanya beberapa runtutan tersebut, kehidupan para makhluk tentu akan memperoleh keberuntungan dan kerugian dari bencana yang telah terjadi.

Parameter gempa bumi merupakan keterangan yang memaparkan mengenai suatu peristiwa gempa. Parameter gempa bumi melingkupi koordinat episenter (dinyatakan dengan koordinat garis lintang dan garis bujur), waktu kejadian, magnitudo, kedalaman hiposenter, dan intensitas gempa bumi (Waluyo, 2013):

### **1. Waktu Asal (*Origin Time*)**

Waktu asal gempa atau disebut dengan *Origin time* merupakan waktu terjadinya gempa bumi pada kedalaman tertentu. Pada waktu ini, jumlah tegangan (*stress*) akan melepas dalam wujud waktu penjalaran gelombang gempa bumi. Waktu asal digambarkan dengan hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinate*).

### **2. Arah dan Kedalaman**

Arah kedalaman memperlihatkan tentang lokasi terjadinya gempa bumi dengan arah mata angin. Adapun kedalaman sumber ialah jarak hiposenter yang dihitung secara tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalaman ini diperoleh dari besaran jarak dalam satuan km.

### **3. Energi Gempa**

Besar energi gempa bumi yang dilepaskan tersangkut dengan keadaan

batuan yang ada dan jumlahnya *stress* yang terletak dalam suatu batuan. Pada batuan rapuh, *stress* yang tersimpan tidak begitu besar, hal ini dikarenakan *stress* akan lepas dengan adanya gempa-gempa kecil. Sedangkan batuan yang lebih kuat akan menyimpan tegangan (*stress*) yang lebih besar. Hal tersebut terjadi karena energi dikumpulkan lebih lama dan pada saat batuan tersebut tidak dapat menampung tegangan tersebut, maka terjadilah gempa bumi dengan besar magnitudo yang cukup tinggi (Prawirodikromo, 2012).

#### 4. Episenter

*Epicentrum* (episenter) merupakan daerah di permukaan bumi yang posisinya lebih dekat dengan *hiposenter*. Letak episenter adalah tegak lurus dengan hiposenter, dan daerah ini merupakan daerah yang dapat merasakan getaran gempa bumi lebih besar dari daerah lainnya. Sedangkan posisi episenter diwujudkan dalam koordinat geografis (derajat lintang dan bujur). Menghitung Jarak episenter ke masing - masing koordinat dengan (Utoyo, 2007):

$$\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (2.3)$$

Dimana :  $\Delta$  = Jarak episenter (satuan derajat)

$x_1$  = Latitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

$x_2$  = Latitude pada sumber gempa (satuan derajat)

$y_1$  = Longitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

$y_2$  = Longitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

#### 5. Hiposenter

Penetapan kedalaman sumber gempa dari permukaan bumi dilihat dari panangkapan pias seismogram setengah amplitudo maksimum dari

gelombang  $P$  pada komponen vertikal. Hiposenter diartikan sebagai jarak kedalaman dalam satuan km ( $1^0 = 111$  km). Parameter hiposenter dan struktur kecepatan gelombang gempa dapat dilihat dari kumpulan data saat datang gelombang gempa berdasarkan data gempa yang dimiliki.

Hiposenter (pusat gempa) merupakan titik atau garis dalam litosfer yang terletak pada tempat terjadinya gempa. Dari hiposenter, gelombang seismik akan diteruskan menuju permukaan bumi dengan berwujud gelombang (primer)  $P$  dan gelombang (sekunder)  $S$ . Setelah tiba di permukaan bumi, gelombang ini akan diteruskan oleh gelombang permukaan. Gelombang permukaan ini yang nantinya dapat memusnahkan daerah yang dilewatinya. Untuk menghitung jarak hiposenter yaitu (Utoyo, 2007):

$$R^2 = \Delta^2 + h^2 \quad (2.4)$$

Berdasarkan kedalaman hiposenter, gempa dibagi menjadi:

- a. Gempa dalam, apabila jarak hiposenternya 300 – 700 km dari permukaan bumi.
- b. Gempa pertengahan apabila jarak hiposenternya berkisar antara 100-300 km dari permukaan bumi.
- c. Gempa dangkal apabila jarak hiposenternya  $< 100$  km dari permukaan bumi.

## 6. Magnitudo

Konsep “magnitudo gempa bumi” merupakan skala kekuatan relatif hasil dari pengukuran fase amplitude yang dikemukakan pertama kali oleh K. Wadati dan C. Richter sekitar pada tahun 1930 yang lalu, kekuatan gempa bumi diwujudkan dalam magnitudo dengan skala logaritma basis 10. Suatu

magnitudo dihasilkan dari analisis bentuk gelombang seismik tertentu (berupa rekaman getaran tanah) dengan memperhatikan jarak stasiun pencatat ke episenternya (Wallace dan Thorne, 1995).

Magnitudo ialah kadar yang digunakan untuk menunjukkan kapasitas gempa yang didasarkan pada daya yang terpancar saat gempa bumi dan diwujudkan dalam Skala *Richter*. Penentuan magnitudo dilaksanakan di daerah berbeda agar dapat memperoleh nilai yang semacam meskipun kondisi yang dirasakan berbeda dengan lainnya. Magnitudo dihitung melalui periode gelombang tertentu dan amplitudo. Rumus magnitudo gempa yang sering digunakan terlihat pada persamaan (Afnimar, 2009) :

$$M = \log \frac{A}{T} + F(\Delta, h) + C_S + C_R \quad (2.5)$$

Keterangan:  $M$  = Magnitudo

$a$  = Amplitudo gerakan tanah (dalam mikron)

$t$  = Periode gelombang (jarak pusat gempa atau episenter)

$h$  = Kedalaman gempa

$C_S$  = Koreksi stasiun oleh struktur lokal (sama dengan 0 untuk kondisi tertentu),

$C_R$  = Koreksi regional yang berbeda untuk setiap daerah gempa (Soehaimi, 2008).

Tabel 2.1 Jenis-Jenis Magnitudo Gempa (Prawirodikromo, 2012)

No.	Nama	Definisi	Aplikasi
1.	<i>Local Magnitudo</i> ( $M_L$ )	Magnitudo gempa local, <i>wave length</i> 300 – 6000 m. Untuk jarak episenter $R < 1000$ km.	Untuk gempa dengan $M_L$ 3-7

2.	<i>Surface Magnitudo</i> ( $M_s$ )	Magnitudo gempa berdasar <i>surface wave</i> untuk $R > 1000$ km. <i>Wave length</i> 60 km.	Untuk gempa dengan $M_s = 5 - 7,5$
3.	<i>Body Magnitudo</i> ( $M_b$ )	Untuk gempa berdasar pada <i>P-wave</i>	Untuk gempa dengan $M_b = 5-7$
4.	<i>Moment Magnitudo</i> ( $M_w$ )	Dihitung berdasarkan <i>elastic strain energy released</i> .	Untuk $M_w > 7,5$

Dari beberapa jenis magnitudo di atas yang paling sering digunakan adalah magnitudo local  $M_L$  biasanya disebut dengan Magnitudo *Skala Richter* (*SR*). Charles. F. Richter, sang seismologi Amerika untuk pertama kalinya mengenalkan tentang Magnitudo pada tahun 1935. Ia mengenalkannya dengan melakukan pengukuran kapasitas gempa di California. Richter memperkirakan gempa didasarkan pada nilai amplitude maksimum gerakan tanah dalam radius 100 km dari gempa. Nilai gelombang ini terlihat dalam seismograf yang bisa memilah tanah mulai 0,00001 mm hingga 1 m. Sebagai upaya penyederhanaan nilai yang terlalu besar, Richter memakai bilangan logaritma berbasis 10. Maka dapat diketahui bahwa setiap naik angka 1 pada skala Richter memperlihatkan amplitude 10 kali lebih besar. (Prawirodikromo, 2012)

Jenis magnitudo gempa yang diperoleh dari data historis gempa dapat berupa Magnitudo local ( $M_L$ ), Magnitudo gelombang badan ( $M_b$ ), dan Momen Magnitudo ( $M_w$ ). Jenis Magnitudo yang digunakan dalam suatu rumus atenuasi bermacam-macam, oleh karena itu dibutuhkan suatu konversi magnitudo yang didapatkan dari data historis gempa ke dalam magnitudo yang sesuai dengan rumus atenuasi. Korelasi konversi dapat dilihat 1 dalam

tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Korelasi Konversi Magnitudo (Irsyam, M., dkk, 2010)

Korelasi Konversi Magnitudo
$M_W = 0,143 M_S - 1,051 M_S + 7,285$
$M_W = 0,114 M_b^2 - 0,556 M_b + 5,560$
$M_W = 0,787 M_E - 1,537$
$M_b = 0,125 M_L^2 - 0,389 M_L - 3,51$
$M_L = 0,717 M_D + 1,003$

Magnitudo gempa dapat dibedakan atas:

a. Magnitude Lokal (MI)

Magnitude lokal (MI) diembankan oleh Richter pada awal tahun 1930 berdasarkan data gempa bumi di California yang telah disimpan dalam seismograf Woods-Anderson. Setelah tahu tentang jarak episenter menuju seismograf, maka langkah selanjutnya adalah melakukan sebuah pengamatan untuk melihat kapasitas kejadian gempa bumi. (USGS, 2002).

Magnitude lokal memiliki rumus empiris seperti pada persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$Ml = \log \alpha + 3 \log \Delta - 2.92 \quad (2.6)$$

Dimana:  $\alpha$  = Amplitude Getaran Tanah ( $\mu\text{m}$ )

$\Delta$  = Jarak Stasiun ke Sumber Gempa bumi (Km)

Saat ini MI tidak begitu dipakai, hal ini karena penggunaan seismograf Woods-Anderson ini jarang dipakai. Selain itu peristiwa gempa bumi jarang terjadi di California. Dalam kasus penurunan persamaan empiris menjadi jenis magnitude ini paling sesuai dipakai di wilayah itu saja. Oleh karenanya, perlu diupayakan sebuah pengembangan

jenis dari magnitudo yang lebih sesuai dengan wilayah umum dan meluas.

#### b. Magnitude Bodi ( $M_b$ )

Dengan menggunakan magnitudo lokal masih sangat terbatas penggunaannya, sehingga dikembangkan lagi sebuah tipe magnitudo yang dapat dipakai lebih luas lagi yaitu dengan menggunakan  $M_b$  atau magnitudo bodi (*Body-Wave Magnitude*). Tipe magnitudo ini dapat digambarkan dengan catatan amplitudo dari gelombang P yang merambat melewati daerah dalam bumi (Wallace dan Thorne, 1995). Berikut adalah perumusan yang dapat dilihat pada persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$M_b = \log\left(\frac{a}{T}\right) + Q(h, \Delta) \quad (2.7)$$

Dimana :  $a$  = Amplitudo Getaran Tanah ( $\mu\text{m}$ )

$T$  = Periode Getaran (detik)

$Q(h, \Delta)$  = Koreksi Jarak  $\Delta$  dan kedalaman yang didapatkan dari pendekatan empiris

#### c. Magnitude Permukaan ( $M_s$ )

Tidak hanya mengembangkan magnitudo bodi saja, akan tetapi perlu diusahakan juga  $M_s$ , yaitu magnitudo permukaan (*Surface-wave Magnitude*). Magnitudo ini diperoleh dari jumlah perhitungan gelombang permukaan. Gelombang ini memiliki waktu 20 detik. Amplitudo gelombang permukaan dipengaruhi oleh intensitas sumber gempa dan jarak  $\Delta$ . Gempa bumi dalam tidak membuat sebuah gelombang permukaan, jadi persamaan  $M_s$  tidak membutuhkan koreksi kedalaman. Berikut merupakan rumus empiris dari magnitudo permukaan dapat terlihat pada persamaan (2.8) di bawah ini:

$$M_s = \log a + a \log \Delta + \beta \quad (2.8)$$

Dimana :  $a$  = Amplitude maksimum dari pergeseran tanah

$\Delta$  = Jarak (Km),  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah koefisien dan konstanta yang di

dapatkan dengan pendekatan empiris

Korelasi  $M_s$  dan  $M_b$  dapat dinyatakan dalam persamaan (2.9) dan persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$M_b = 2.5 + 0.63 M_s \quad (2.9)$$

Atau

$$M_s = 1.59 M_b - 3.97 \quad (2.10)$$

#### d. Magnitude Momen ( $M_w$ )

Terdapat sebuah istilah momen seismik (*Seismic Moment*) berdasarkan sebuah teori Elastik Rebound. Momen seismik bisa diestimasikan melalui waktu pergerakan bidang sesar atau dari sebuah analisis ciri-ciri gelombang gempa bumi yang disimpan pada stasiun pencatat. Secara empiris interaksi antara magnitude permukaan dan momen seismik dapat terlihat pada persamaan (2.11) sebagai berikut:

$$\log M_o = 1.5 M_s + 16.1 \quad (2.11)$$

Dimana :  $M_s$  = Magnitude Permukaan (Wallace dan Thorne, 1995)

Magnitude yang berhubungan dengan kejadian seismik akan tetapi tidak berhubungan atau bergantung pada nilai magnitude permukaan, dapat terlihat pada persamaan (2.12) di bawah ini:

$$M_w = \left( \log \frac{M_o}{1.5} \right) - 10.73 \quad (2.12)$$

Dimana :  $M_w$  = Magnitude Momen

$M_o$  = Momen Seismik

Dapat dinyatakan bahwa besarnya energi yang lepas dari sumber gempa bumi lebih jelas, akan tetapi penghitungan magnitudo momen lebih luas daripada melalui penghitungan magnitudo  $M_L$ ,  $M_s$  dan  $M_b$ . Oleh karenanya, penggunaan dari magnitudo momen ini lebih sedikit bila dibandingkan dengan ketiga magnitudo lainnya. (Wallace dan Thorne, 1995).

e. Momen Durasi ( $M_d$ )

Menurut Lee dan Stewart (1981) sejak tahun 1972, pembahasan tentang kekuatan gempa bumi dapat dilebarkan sampai studi pemakaian waktu sinyal gempa bumi. Hal ini dilakukan agar dapat mengukur magnitudo pada kejadian gempa di wilayah tersebut. Maka dimunculkan magnitudo durasi (*Duration Magnitude*) yang menjadi fungsi dari jumlah durasi sinyal seismik. Magnitudo durasi memiliki rumus empiris seperti pada persamaan (2.13) di bawah ini:

$$M_d = a_1 + a_2 \log \tau + a_3 \Delta + a_4 h \quad (2.13)$$

Dimana :  $M_d$  = Magnitudo Durasi

$\tau$  = Durasi Sinyal (detik)

$\Delta$  = Jarak Episenter (Km)

$h$  = Kedalaman Hiposenter (Km)

$a_1, a_2, a_3, a_4$  = Konstanta Empiris

Magnitudo durasi penting digunakan ketika kejadian, dimana peristiwa tersebut memiliki sinyal yang amat besar amplitudanya (*off-scale*) dan dapat menjadi penghalau pada sistem pencatat, sehingga dimungkinkan dapat terjadi sebuah kesalahan dalam penafsiran pemakaian

## 2.11 Intensitas Gempa Bumi

Dampak kerusakan bencana gempa bumi terlihat melalui intensitasnya. Intensitas gempa bumi merupakan ukuran kerusakan yang dihasilkan dari getaran gempa bumi pada wilayah tertentu. Besar kecilnya intensitas bergantung pada jarak dari pusat gempa, besar kecilnya magnitudo, struktur bangunannya dan kondisi geologi. Intensitas akan semakin tinggi, apabila kejadian tersebut terjadi di daerah yang berdekatan dengan pusat gempa, sedangkan intensitas akan lebih sedikit jika daerah tersebut jauh dari pusat gempa (Edwiza, 2008).

Fase kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi digambarkan melalui intensitas. Intensitas akan diukur melalui pengamatan langsung pada daerah yang terkena dampak gempa bumi. Intensitas dapat menunjukkan besarnya kekuatan gempa bumi pada sumber gempanya. Untuk dapat mengamati tingkat kerusakan akibat gempa bumi maka digunakan skala intensitas. Skala intensitas yang dipergunakan di Indonesia yakni skala *Modified Mercally Intensity* (MMI) atau dikenal dengan intensitas *Mercally* (Edwiza, 2008).

Rumus untuk mengkonversi dari nilai PGA ke MMI yakni (Wald, 1999):

$$I_{mm} = 3,66 \log (PGA) - 1,66 \quad (2.14)$$

Skala intensitas berbeda dengan skala magnitudo. Magnitudo diukur dengan alat pencatat gempa, sedangkan intensitas diukur melalui pengamatan menerus dari pergerakan bumi. Magnitudo memiliki besaran pasti dalam mengukur gempa, sedangkan intensitas disesuaikan bersama keadaan daerah kejadian gempa bumi. Intensitas yang tinggi akan dijumpai pada tanah yang gembur/ lunak daripada tanah yang *bedrock/* padat. Skala intensitas dapat diperoleh dari nilai percepatan tanah maksimum (PGA). Namun diperlukan konversi dari nilai PGA ke dalam

skala MMI. Adapun konversi nilai PGA ke Intensitas terlihat dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Konversi Nilai PGA Ke Intensitas (Rahman,dkk,2015)

Intensitas	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
PGA	<1,7	1,7- 14	14- 39	39- 92	92- 180	180- 340	340- 650	650- 1240	>1240

Tabel di bawah ini merupakan deskripsi mengenai *Modified Mercally Intensity* (MMI) atau disebut sebagai intensitas Mercally. Skala MMI ini memiliki 12 tingkatan akibat gempa bumi. Adapun deskripsi skala MMI tersebut yaitu:

Tabel 2.4 Skala Intensitas Gempa Bumi (Rahman dkk, 2015) dan (Allan, 1982)

No	Intensitas Gempa (MMI)	Peak Acceleration (Gal)	Dampak
1	I	<1,7	Tidak terasa
2	II-III	1,7-14	Terasa di dalam rumah, terutama ditingkat atas-atas bangunan atau tempat-tempat yang tinggi. Getaran yang dirasakan seperti ada truk kecil lewat.
3	IV	14-39	Terasa di dalam rumah seperti ada truk berat lewat atau terasa seperti ada barang berat yang menabrak dinding rumah. Barang-barang yang bergantung bergoyang-goyang, jendela dan pintu berderik, barang pecah-belah pecah, gelas-gelas gemerincing,dinding, dan rangka rumbah berbunyi.

4	V	39-92	<p>Dapat dirasakan di luar rumah.</p> <p>Orang tidur terbangun, cairan tampak bergerak- gerak dan tumpah sedikit.</p> <p>Barang perhiasan rumah yang kecil dan tidak stabil bergerak atau jatuh.</p> <p>Pintu-pintu terbuka tertutup, pigura-pigura dinding bergerak, lonceng bandul berhenti atau mati atau tidak cocoknya jalannya.</p>
5	VI	92-180	<p>Terasa oleh semua orang. Banyak orang lari keluar karena terkejut.</p> <p>Orang sedang berjalan kaki terganggu. Jendela berderit. Gerabah, barang pecah-belah pecah, barang-barang kecil dan buku jatuh dari raknya, gambar-gambar jatuh dari dinding. Mebel-mebel bergerak atau berputar. Plester dinding yang lemah pecah-pecah dan pohon terlihat bergoyang.</p>
6	VII	180-340	<p>Dapat dirasakan oleh orang yang sedang mengemudi mobil. Orang yang sedang berjalan kaki sulit untuk berjalan dengan baik, langit-langit dan bagian-bagian konstruksi bangunan pada tempat yang tinggi rusak. Tembok yang tidak kuat pecah, plester tembok dan batu-batu tembok yang tidak terikat kuat jatuh. Terjadi sedikit pergeseran dan lekukan- lekukan pada timbunan pasir dan batu kerikil.</p>

7	VIII	340-650	<p>Mengemudi mobil terganggu. Terjadi kerusakan pada bangunan-bangunan yang kuat karena bagian-bagian yang runtuh. Kerusakan terjadi pada tembok- tembok yang dibuat tahan terhadap getaran-getaran horizontal dan beberapa bagian tembok runtuh. Cerobong asap, monumen-monumen, menara-menara, dan tangki air yang berada di atas berputar atau jatuh. Rangka rumah berpindah dari fondasinya. Dinding- dinding yang tidak terikat dengan baik akan jatuh atau terlempar. Ranting- ranting pohon patah dari dahannya. Tanah yang basah dan lereng yang curam terbelah.</p>
8	IX	650-1240	<p>Bangunan yang tidak kuat hancur. Bangunan yang kuat mengalami kerusakan berat. Fondasi dan rangka bangunan rusak. Pipa dalam tanah putus. Tanah merekah. Di daerah alluvium pasir dan lumour keluar dari dalam tanah.</p>
9	X+	>1240	<p>Pada umumnya semua tembok, rangka rumah dan fondasi rusak. Rel kereta api rusak berat. Garis pandang cakrawala terganggu. Batu-batu dan barang-barang besar berpindah tempat, dan ada yang terlempar ke udara.</p>

## 2.12 Percepatan Tanah Maksimum

Ukuran gerakan gelombang gempa yang dalam seismograf pada dasarnya terbagi atas *velocity* atau simpangan kecepatan dalam satuan *kine* (cm/dt) dan percepatan dalam satuan *gal* (cm/dt<sup>2</sup>). Ukuran percepatan gelombang seismik atau percepatan getaran tanah menjadi salah satu bagian terpenting dalam ilmu seismologi teknik. Nilai percepatan tanah ini dapat berguna dalam menunjukkan dampak kerusakan fisik yang perlu diperkirakan dalam merencanakan upaya pembuatan bangunan yang tahan akan bencana gempa (Subardjo, 2004).

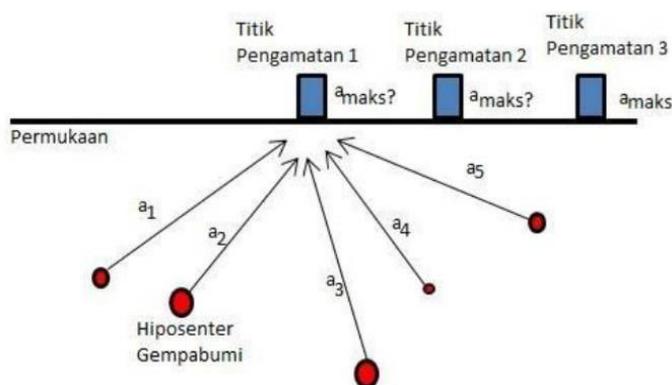
Percepatan tanah menjadi ukuran yang harus dibahas dalam peristiwa gempa bumi, hal ini berguna dalam melakukan pemetaan agar dapat menghasilkan sebuah pembahasan dan informasi terkait dengan dampak yang dihasilkan oleh percepatan tanah di suatu daerah tertentu. Ada beberapa faktor yang menjadi pengaruh terhadap kecil besarnya percepatan tanah pada suatu daerah, antara lain kedalaman hiposenter, magnitudo gempa, dan jarak episenter. Semakin tinggi magnitudo suatu gempa, maka dapat memancarkan energi yang lebih besar dari pusat gempa, hal ini menyebabkan percepatan tanah yang muncul juga semakin besar. Sedangkan jika hiposenter semakin dalam dan episenternya memiliki jarak yang jauh, maka angka percepatan tanah yang muncul juga semakin kecil. Faktor lain yang dapat memberikan pengaruh terhadap nilai percepatan tanah yakni tingkat kepadatan tanah di daerah tersebut. Jadi, percepatan tanah yang muncul berbanding lurus dengan magnitudo dan berbanding terbalik dengan episenter, jarak, kepadatan tanah, dan kedalaman hiposenter. Percepatan tanah maksimum diartikan sebagai ukuran yang tersebar pada percepatan tanah suatu daerah yang

disebabkan oleh getaran gempa bumi dalam beberapa waktu tertentu (Buha M, 1998).

Percepatan tanah permukaan di suatu daerah yang diakibatkan dari getaran seismik berpengaruh terhadap karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*) dan perambatan gelombang seismik di daerah tersebut. Sifat pada lapisan tanah dihasilkan oleh waktu keseluruhan tanah yang berasal dari lapisan tanah tersebut apabila terjadi sebuah getaran seismik. Periode dominan tanah dan getaran seismik akan memberikan dampak terhadap nilai percepatan pergerakan batuan dasar dan permukaan. Sedangkan perbedaan respon seismik pada *ground surface* akan memberikan dampak pada faktor perbesaran  $G/T$ . (Delfebriyadi, 2008).

Setiap terjadi gempa bumi, maka akan terbentuk hasil percepatan tanah pada daerah itu (*site*). Hasil percepatan tanah yang ditetapkan pada proses perencanaan bangunan yaitu nilai percepatan tanah maksimum. Dalam penelitian seismologi, mengenali kerusakan bangunan di suatu daerah yang diakibatkan oleh getaran tanah dari bencana gempa bumi adalah satu hal yang penting itu dilakukan. Hal ini digunakan sebagai upaya mitigasi bencana yakni dengan cara mencocokkan bangunan dengan kondisi wilayah disitu. Bangunan yang kuat terhadap gempa akan meminimalisir kerusakan bangunan dan jatuhnya korban jiwa. Rusaknya bangunan yang diakibatkan oleh gempa dipengaruhi oleh parameter bangunan dan parameter pergerakan tanah. Parameter bangunan dapat dilihat pada karakteristik material dan elemen struktur bangunan sedangkan parameter pergerakan tanah tergantung dari magnitudo, jarak, mekanisme, dan kondisi tanah lokal (Irsyam dkk, 2010).

Percepatan gelombang seismik yang menjalar ke permukaan bumi dikenal dengan percepatan getaran tanah. Percepatan ini menjadi indikasi yang harus diperhitungkan saat terjadi gempa bumi. Selanjutnya, diambil percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) di seluruh wilayah yang terdampak peristiwa gempa bumi. Hal ini dilakukan agar dapat memetakan wilayah yang nantinya dapat memberikan data terkait dengan dampak kerusakan yang paling buruk di wilayah tersebut. Skema percepatan getaran tanah maksimum yang disebabkan oleh getaran seismik gempa bumi pada suatu daerah atau titik pengamatan dapat terlihat pada gambar 2.15. (Tim Geofisika UGM, 2013):



Gambar 2.15 Skema Percepatan Getaran Tanah Maksimum (Tim Geofisika UGM, 2013)

### 2.13 Metode Percepatan Tanah Maksimum

Rumus empiris PGA yakni metode Esteva, Donovan, Gutenberg – Richter, Murphy - O’Brein, fukusima, Kanai, dan lainnya. Rumus-rumus ini terbentuk oleh suatu keadaan gempa bumi di suatu wilayah tertentu, dengan mempertimbangkan ciri-ciri pusat gempa buminya, geologi dan geotekniknya.

#### 1. Metode Donovan

Metode Donovan merupakan salah satu metode yang diperlukan dalam

memperoleh nilai PGA, yang dipaparkan seperti pada persamaan 2.15 (Edwiza, 2008):

$$a = 1080 \cdot \exp^{0,5 Ms} \cdot (R + 25)^{-1,32} \quad (2.15)$$

Dimana:  $\alpha$  = percepatan tanah

$M$  = magnitude

$R$  = jarak hiposenter dalam satuan km.

Untuk menentukan nilai  $R$ , maka digunakan persamaan:

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (2.16)$$

Dimana:  $\Delta$  = jarak episenter (km)

$h$  = kedalaman sumber gempa (km)

## 2. Metode Esteva

Untuk menghitung percepatan tanah, maka diperlukan rumusan esteva yang dipaparkan pada persamaan 2.16 (Ibrahim, 2004):

$$a = \frac{560 \exp^{0,5M}}{(R+40)^2} \quad (2.16)$$

Dimana :  $\alpha$  = Percepatan tanah pada tempat yang dicari

$M$  = Magnitudo

$R$  = Jarak hiposenter (km)

## 3. Metode Mc. Guiree RK

Metode Mc. Guiree adalah metode yang diperlukan dalam memperoleh nilai PGA, dengan memakai persamaan 2.17 (Said Muhammad, 1987):

$$\text{Log } a = (472,3) \cdot 10^{0,278 M} \cdot (R + 25)^{-1,301} \quad (2.17)$$

Dimana :  $\alpha$  = Percepatan tanah pada permukaan (gal atau  $\text{cm}/\text{sec}^2$ )

$M$  = Magnitudo (SR)

$R$  = Jarak hiposenter (km)

#### 4. Metode Kanai

Persamaan 2.18 merupakan persamaan dari metode kanai yang diperlukan untuk mendapatkan nilai PGA (Budiono, 1989):

$$\log \frac{T}{x} = 0,16M - \left( \frac{1,66+3,60}{\Delta} \right) \log \Delta - \frac{0,631+1,83}{\Delta} \quad (2.18)$$

#### 2.14 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi (*attenuation relationship* atau *attenuation function*) merupakan sebuah prakiraan korelasi empiris terhadap ukuran gempa yang menurun (berkurang) sejalur dengan bertambahnya jarak, misalnya kecepatan puncak dan percepatan puncak. Menganalisa bahaya gempa memakai versi USGS atau Gumbel membutuhkan nilai percepatan tanah akibat terjadinya sebuah gempa. Fungsi atenuasi dilakukan dalam upaya memperoleh nilai percepatan maksimum tanah dalam proses analisis bahaya gempa yang terjadi jika lokasi yang dikunjungi tidak memiliki informasi atau data rekaman gempa. Fungsi atenuasi ialah menjelaskan korelasi antara magnitude (M), intensitas (i) gerakan tanah setempat, dan jarak (R) dari pusat daerah sumber gempa. Adapun faktor-faktor yang dapat memberikan pengaruh terhadap fungsi atenuasi yakni jarak episenter, mekanisme gempa, dan kondisi tanah wilayah tersebut.

Menurut Rosita dewi, 2013, percepatan puncak dipakai dalam menjabarkan ukuran pergerakan tanah (*ground motion*). Telah ada beberapa kesamaan atenuasi yang disebar dan dimunculkan oleh para peneliti, seperti Crouse (1991), Fukushima dan Tanaka (1992), Youngs et al (1997), Joyner dan Boer (1981, 1988) dan lainnya. Penjelasannya akan dijabarkan di bawah ini:

### 1. Fukushima – Tanaka (1992)

Fungsi atenuasi ini dimunculkan untuk mengetahui percepatan maksimum horizontal yang ada di pusat gempa wilayah Jepang. Data yang terkumpul meliputi 1372 materi percepatan tanah maksimum horizontal dari 28 kejadian gempa yang telah terjadi di Jepang dan 15 gempa yang terjadi di Amerika serta di negara lain. Model atenuasi yang digunakan oleh peneliti yakni dengan menghitung penyebaran geometrik dari gelombang gempa.

Beberapa peneliti di Indonesia juga menyarankan untuk menggunakan persamaan ini dalam mengidentifikasi pusat gempa subduksi yang terjadi di daerah Jawa dan Sumatera. Fungsi atenuasi ini telah diterapkan di wilayah Jepang dengan menggunakan magnitudo sebesar 5,1-7,9 dan jarak episentralnya 10-300 km (Gustiana, dkk., 2018). Persamaan PGA yang dimunculkan oleh Fukushima dan Tanaka (1992) yakni nilai percepatan getaran tanah di batuan dasar seimbang dengan jarak hiposenter. Umumnya, apabila jarak titik pengukuran dan hiposenter berjauhan, maka nilai PGA batuan dasar akan menjadi rendah dan begitu pula sebaliknya (Kurniawan, dkk., 2017). Persamaan ini tergambar pada persamaan 2.19 (Edwiza, 2008):

$$\log(PGA) = 0,42 Mw - \log(R + 0,025 \cdot 10^{0,42Mw}) - 0,003R + 1,22 \quad (2.19)$$

Dimana:  $Mw$  = Momen magnitudo

$R$  = Jarak terdekat dari bidang *fault* ke site (km)

### 2. Youngs et al., (1997)

Persamaan atenuasi Youngs et.al., (1997) adalah fungsi atenuasi empirik yang dipakai untuk memperkirakan nilai percepatan tanah puncak dan *spectra* pada peristiwa gempa zona subduksi *interface* dan *intraslab*.

Persamaan ini menggunakan nilai magnitudo momen lebih besar dari 5.0 dan jarak dari tempat ke pusat gempa dengan menggunakan jarak rupture 10-500 km. Fungsi ini hanya berlaku untuk sumber gempa zona subduksi.

$$\ln y = -0,6678 + 1,438 Mw + C_1 + C_2(10Mw)^3$$

$$C_3 \ln(r_{rup} 1,097 e^{0,617Mw}) + 0,00648H + 0,3643Z_T \quad (2.20)$$

Dimana : Y = Percepatan spectra (g)

Mw = Magnitudo momen ( $M \geq 5$ )

h = Kedalaman (km)

Z<sub>T</sub> = Tipe sumber (0 untuk interface dan 1 untuk interslab).

r<sub>rup</sub> = Jarak terdekat ke rupture (km) ( $10 \text{ km} \leq R_{rup} \leq 500 \text{ km}$ ).

### 3. Atkinson – Boore (2003)

Atkinson – Boore (2003) adalah interaksi atenuasi antara gerakan tanah saat gempa dengan magnitudo  $M_w=5$  hingga  $M_w= 8,3$  yang terjadi pada zona subduksi dunia, salah satunya yakni peristiwa intraslab dan interface. Bentuk fungsi atenuasi:

$$\log y = fn(Mw)C_3h + C_4R - g \log R + C_5sl Sc + C_6sl Sd + C_7sl Se \quad (2.21)$$

$$R = \sqrt{D^2 - \Delta^2}$$

$$\Delta = 0,00274 \times 10^{0,507 Mw}$$

Dimana: Y = Percepatan getaran tanah (PGA)

Mw = Momen magnitudo dengan  $M = 8,5$  (interface) dengan

$M > 8,5$  dan  $M = 8$  (intraslab) dengan  $M > 8,0$

h = Kedalaman sumber gempa, jika  $h > 100$  maka  $h = 100$  km.

Keterangan:

Untuk *interface*

untuk *intraslab*

$$c_1 = 2,991$$

$$c_1 = -0,04713$$

$$c_2 = 0,03525$$

$$c_2 = 0,6909$$

$$c_3 = 0,00759$$

$$c_3 = 0,01130$$

$$c_4 = -0,00206$$

$$c_4 = -0,00202$$

Untuk *interface* dan *intraslab*

$$c_5 = 0,19$$

$$c_7 = 0,29$$

$$c_6 = 0,24$$

#### 4. Persamaan Atkinson (1997)

Hubungan atenuasi telah dikembangkan oleh Atkinson (1997) untuk menggambarkan amplitude respon spectra sebagai fungsi dari magnitudo gempa, kedalaman sumber gempa, dan jarak, untuk gempa bumi di daerah Cascadia barat daya British Columbia (Canada) dan barat laut Neagar bagian Washington (USA). Hubungan ini di dasarkan pada hasil regresi data respon spectra dari gempa crustal, gempa subcrustal, gempa subcrustal dan gempa subduksi yang terekam pada batuan dan tanah. Hubungan ini diaplikasikan untuk gempa dengan momen berkisar  $4 < M_w < 8,2$  dengan kedalaman gempa 1-60 km pada jarak beberapa ratus meter. Bentuk hubungan prediksi yang dikembangkan dalam studi ini adalah:

$$\log PSA = c_0 + c_1(M_w - 6) + c_2(M - 6)^2 + c_3h - c_{a1} \log R - c_{a2}R + c_a \quad (2.22)$$

Dimana :

$$c_{a2} = c_{a1} + c_a h$$

Keterangan:

$M_w$  = Magnitudo momen (Untuk  $M_w > 8$ , maka diambil  $M_w = 8$ )

$S$  = 0 untuk site dengan kondisi buatan dan 1 untuk site kondisi tanah

$PSA$  = Pseudo-spectra percepatan ( $\text{cm}/\text{dt}^2$ ) dengan 5% redaman.

## 5. Persamaan Crouse (1991)

Hubungan atenuasi Crouse (1991) digunakan pada daerah gempa subduksi. Karakteristik atenuasi percepatan tanah puncak horizontal (PGA) telah distudi. Dari studi terlihat bahwa PGA cenderung saturasi pada jarak site ke sumber yang kecil dan magnitudo besar. Hasil persamaan untuk estimasi PGA adalah: (Edwiza, 2008)

$$\ln(PGA) = 6,36 + 17,6 - 2,73 \ln(R + 1,58 \exp(0,608M_w)) + 0,00916h \quad (2.23)$$

Dimana: PGA = Percepatan tanah puncak (PGA) (gal)

$M_w$  = Magnitudo momen

$R$  = Episenter (km)

$h$  = Hiposenter (km)

### 2.15 Tingkat Resiko Bencana Gempa Bumi

Resiko bencana merupakan sebuah bentuk kerugian yang dihasilkan dari adanya bencana di suatu daerah dalam waktu tertentu, seperti kehilangan harta, orang yang disayang, pergi mengungsi, adanya orang yang sakit karena dampak bencana tersebut hingga hilangnya nyawa seseorang sebagai risiko yang patut diwaspadai (UU No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana). Pembahasan mengenai risiko bencana dapat diartikan sebagai upaya pendekatan untuk mengetahui dampak negatif yang akan terjadi dari suatu bencana. Potensi dampak negatif yang timbul akan diperkirakan sesuai dengan kerawanan dan dayaampung wilayah tersebut. Potensi dampak negatif ini dipandang dari banyaknya korban yang terdampak, kerugian berbentuk harta benda, dan kerusakan lingkungan. BNPB telah merancang Pedoman Perencanaan Mitigasi Risiko Bencana yang diwujudkan dalam Peraturan Kepala BNPB nomor 4 tahun 2008

sebagai berikut (Muhaimin, 2016):

$$Risk = Hazard \cdot \frac{Vulnerability}{Capacity} \quad (2.24)$$

Dimana : R = *Disaster Risk* (Risiko Bencana)

H = *Hazard* (Ancaman)

V = *Vulnerability* (Kerentanan)

C = *Capacity* (Kapasitas)

Menurut Tim Penyusun Kajian Risiko Bencana (2018), klasifikasi tingkat resiko bencana dapat dilakukan dengan skoring yaitu membuat perhitungan matematika dengan perkalian antara bobot dan nilai kelas yang telah direncanakan. Suatu kota/ kabupaten dapat memperlihatkan klasifikasi kerentanan daerahnya berdasarkan nilai i yang ada. Adapun tabel *scoring* dapat dilihat dala tabel di bawah ini:

Tabel 2.5 Scoring Komponen Penyusun Resiko Gempa Bumi (Tim Penyusun Kajian Risiko Bencana, 2018):

Jenis Komponen	Kelas	Nilai	Skor
Bahaya	1 (Rendah)	100%	4
	2 (Sedang)	100%	8
	3 (Tinggi)	100%	12
Kerentanan (Kepadatan Penduduk)	1 (Rendah)	< 500	0,4
	2 (Sedang)	500 – 1000	0,8
	3 (Tinggi)	>1000	1,2
Kapasitas	1 (Rendah)	<55	1
	2 (Sedang)	55-85	2
	3 (Tinggi)	>85	3

Mitigasi merupakan salah satu upaya pencegahan untuk meminimalisir efek negatif dari bencana alam terhadap infrastruktur, harta benda, manusia dan

lingkungan dengan bentuk persiapan terhadap kemungkinan adanya bencana tersebut atau berupa sebuah tindakan pengurangan resiko jangka panjang (Abdillah, 2010). Sebagai upaya mendukung upaya mitigasi bencana terutama dalam peristiwa gempa bumi, maka perlu dilihat beberapa ciri-ciri adanya bencana gempa bumi, yaitu (Abdillah, 2010):

1. Bencana tersebut berlangsung sebentar.
2. Lokasinya tertentu.
3. Menimbulkan bencana bahkan kerusakan,
4. Berpotensi adanya gempa susulan.
5. Tidak dapat diprediksi waktu terjadinya.

## **2.16 Tinjauan Daerah Penelitian**

### **1. Kondisi Geologi Daerah Istimewa Yogyakarta**

Secara letak astronomisnya, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta berada pada posisi antara 7° 33' LS – 8° 12' LS dan 110° 00' BT – 110° 50' BT. Adapun kondisi fisiografi dari daerah Yogyakarta terjadi dari hasil pengangkatan Pegunungan Kulon Progo dan Pegunungan Selatan saat Kala Plistosen awal (0,01-0,7 juta tahun). Proses tektonisme diakui sebagai ukuran umur Kwartar di daerah. Setelah diadakan pengangkatan Pegunungan Selatan, maka terbentuklah sebuah danau di seluruh kaki pegunungan hingga menuju ke daerah Baturetno dan Gantiwarno. Sedangkan Gunung Api Merapi ada sekitar 42.000 tahun yang lalu, akan tetapi berdasarkan informasi yang diketahui bahwa usia lava andesit di Gunung Bibi dan aktivitas Gunung Merapi telah dimulai sejak 0,67 juta tahun lalu.

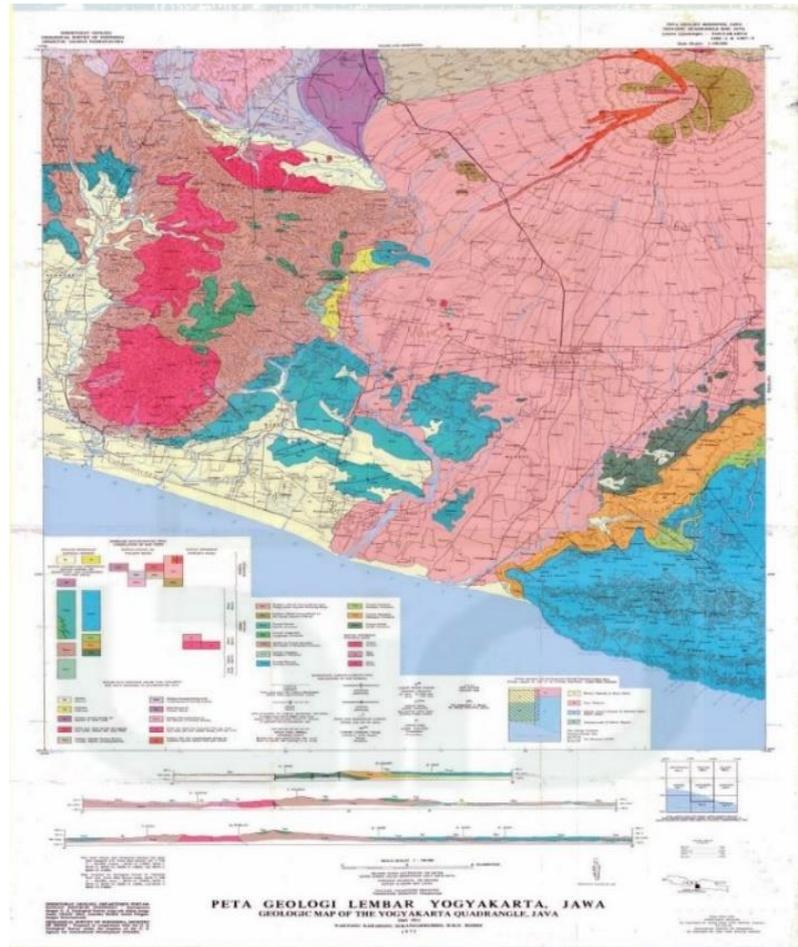
Adapun pengangkatan Pegunungan Selatan pada Kala Plistosen Awal,

telah menghasilkan sebuah Cekungan Yogyakarta. Di dalam cekungan tersebut terdapat sebuah aktivitas gunung api (Gunung) Merapi. Adanya Tinggian di bagian selatan dan munculnya sebuah kubah Gunung Merapi di bagian utara, telah menghasilkan sebuah lembah datar. Daerah selatan lembah ini bersinggungan dengan Pegunungan Selatan, sedangkan daerah baratnya bersinggungan dengan Pegunungan Kulon Progo. Pada saat ini, lokasi yang pernah membentuk lembah datar tersebut memiliki sebuah endapan lempung hitam. Lempung hitam ini dijadikan sebagai pemisah antara endapan gunung api (Gunung Merapi) dan batuan dasar. Berdasarkan data yang ada, umur lembah gunung merapi diperkirakan sekitar  $\pm 16.590$  hingga 470 tahun dan Sungai Opak (Watuadeg) berumur 6.210 tahun. Endapan lempung hitam di Sungai Opak bercampur dengan endapan Gunung Merapi. Jadi, dapat diketahui bahwa data yang diperoleh dapat diartikan sebagai awal mula terbentuknya pengendapan material Gunung Merapi di wilayah ini. Sedangkan di daerah Sungai Winongo (Kalibayem) ditemukan sebuah endapan lempung hitam yang bercampur dengan lahar berusia 310 tahun. Jadi, dapat disimpulkan bahwa aktivitas pada Gunung Merapi sudah memberikan pengaruh pada keadaan geologi daerah ini saat waktu  $\pm 6210$  hingga  $\pm 310$  tl. (Husein, dkk, 2008).

Yogyakarta menjadi salah satu daerah di Indonesia yang sering mengalami bencana gempa bumi. Hali ini di karenakan adanya 4 (empat) sesar yang berpengaruh terhadap proses berlangsungnya gempa bumi di daerah Yogyakarta (Abdillah). Empat sesar tersebut antara lain yakni Sesar Prambanan, Sesar Opak, Sesar Parangtritis dan Sesar Dengkeng,. Pergerakan

sesar ini dapat memberikan pengaruh pada subduksi Lempeng Australia menuju bawah Lempeng Eurasia yang letaknya berada di bawah Pulau Jawa.

Kondisi geologi ini dapat terlihat dalam peta geologi Yogyakarta Gambar 2.15 dengan keadaan geologinya:



Gambar 2.16 Peta Geologi Lembar Yogyakarta (*Raharjo, 1997*)

## 2. Geomorfologi Daerah Penelitian

Pada umumnya, Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki keadaan geomorfologi yang bermacam-macam, diantaranya:

### a. Satuan Gunung Merapi

Satuan Gunung Api Merapi ini terletak di kerucut gunung api hingga dataran fluvial gunung api yang mencakup wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman dan sebagian Kabupaten Bantul. Wilayah kerucut dan lereng gunung api menjadi wilayah hutan lindung dan digunakan untuk kawasan resapan air daerah bawahan.

b. Satuan Pegunungan Selatan

Satuan Pegunungan Selatan terletak di Kabupaten Gunungkidul atau Pegunungan Seribu. Daerah ini terkenal dengan wilayah perbukitan batu gamping (*limestone*) dalam keadaan kritis, tandus dan kekurangan air. Adapun bentuk daerah tengahnya berupa dataran (Wonosari Basin). Sedangkan di bagian utaranya terdapat bukit kerucut Gunung Sewu yang bersinggungan dengan dua buah ledok (*basins*), yakni Ledok Wonosari di wilayah barat dan Ledok Baturetno di wilayah timur. Batas utara dari punggung ini berupa tebing curam (*steep escarpment*) yang menjulur dari daerah Parangtritis menuju ke utara, sedangkan di bagian selatan dimulai dari Prambanan dan berbelok ke arah timur hingga menuju Wonogiri. Adapun di sebelah utara telah terbentang sebuah dataran rendah yang memiliki lipatan batuan lebih tua masuk begitu dalam dengan ditutupi oleh kipas-kipas fluvio-vulkanik muda dari beberapa gunung berapi.

c. Satuan Pegunungan Kulon Progo

Satuan Pegunungan Kulon Progo terletak di Kabupaten Kulon Progo. Daerah utara terdiri dari lahan struktural denudasional dengan kondisi berbukit dan memiliki ancaman berupa sebuah lereng yang curam dan

kurangnya kandungan air dalam tanah. Stratigrafis paling tua di wilayah Pegunungan Kulon Progo dikenal dengan Formasi Nanggulan, kemudian secara tidak selaras di atasnya diendapkan batuan-batuan dari Formasi Jonggaran dan Formasi Sentolo. Penyusun batuan dari formasi Nanggulan menurut Raharjo (1997) terdiri dari Batupasir dengan sisipan Lignit, Napal pasiran, Batulempung dengan konkresi Limonit, sisipan Napal dan Batugamping, Batupasir dan Tuf serta kaya akan fosil foraminifera dan Moluska. Litologi dari Formasi Jonggaran ini bagian bawah dari formasi ini terdiri dari Konglomerat yang ditumpangi oleh Napal tufan dan Batupasir gampingan dengan sisipan Lignit. Batuan ini semakin ke atas berubah menjadi Batugamping koral (Raharjo, 1997). Litologi penyusun Formasi Sentolo ini di bagian bawah, terdiri dari Aglomerat dan Napal, semakin ke atas berubah menjadi Batugamping berlapis dengan fasies neritik.

d. Satuan Dataran Rendah

Satuan Dataran Rendah adalah bentang lahan fluvial yang dikuasai oleh dataran aluvial. Dataran ini terbentang di wilayah selatan Daerah Istimewa Yogyakarta mulai dari Kabupaten Kulon Progo sampai dengan Kabupaten Bantul yang bersinggungan dengan Pegunungan Seribu. Bentang Lahan lain yang belum digunakan secara maksimal adalah bentang lahan eolin dan marin yang menjadi kesatuan di wilayah pantai dan membentang mulai daerah Kulon Progo sampai Bantul. Khusus di daerah Parangtritis Bantul saja yang dapat dikenal dengan gumuk pasir yang berubah menjadi laboratorium alam studi geografi.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dengan judul Pemetaan Tingkat Resiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum (Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969-2019) dilaksanakan pada bulan Maret – Agustus 2021. Penelitian dilaksanakan di kediaman dengan mengikuti bimbingan secara online dari instansi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kelas I Sleman Yogyakarta yang terletak di Jl. Wates km 8 Balecatur, Gamping, Kabupaten Sleman Provinsi Yogyakarta.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Perangkat keras (*hardware*) berupa laptop
2. Perangkat lunak (*software*) yang terdiri dari:
  - a. Windows 10
  - b. Microsoft Office Word 2013
  - c. Microsoft Office Excel 2013
  - d. ArcMap 10.4.1
  - e. Google Earth
  - f. Bahan penelitian yang digunakan yaitu data gempa bumi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang berasal dari katalog gempa BMKG dan USGS periode 1969 – 2019 (Desember).

### 3.3 Jenis Data

Dalam penelitian ini data gempa bumi diperoleh dari katalog BMKG dan USGS (*United States Geological Survey*) dalam periode 1969 – 2019 (Desember) dengan menggunakan rentang waktu 50 tahun. Data gempa bumi diperoleh dari database kejadian gempa bumi di Stasiun Geofisika BMKG Kelas I Yogyakarta dan katalog gempa BMKG yang dapat diakses pada halaman <http://repogempa.bmkg.go.id>. Untuk data gempa USGS dapat diakses pada halaman <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. Dengan menggunakan magnitudo  $\geq 4$  SR serta kedalaman yang digunakan yaitu sebesar 0 – 60 km dengan batasan koordinat wilayah sebesar  $-7,35^0$  LS –  $9,12^0$  LS dan  $109,8^0$  BT –  $111,5^0$  BT. Sedangkan data penduduk Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2019 yang dapat diakses pada halaman <https://yogyakarta.bps.go.id>.

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Metode Pengambilan Data

Data penelitian yang digunakan adalah data sekunder dengan berupa data gempa bumi yang diperoleh dari katalog gempa dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kelas I Yogyakarta dan USGS (*United States Geological Survey*). Parameter gempa yang digunakan untuk proses pemetaan sebaran episenter, letak hiposenter, pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum, besarnya nilai intensitas gempa, dan pemetaan peta resiko gempa bumi yaitu gempa bumi yang terjadi pada periode 1969 – 2019 (Bulan Desember) dan terletak pada koordinat wilayah  $-7,35^0$  LS –  $9,12^0$  LS dan  $109,8^0$  BT –  $111,5^0$  BT. Hiposenter gempa yang digunakan yaitu sebesar 0 – 60 km dengan rasio magnitudo yang digunakan  $M \geq 4$  SR.

### 3.4.2 Metode Perhitungan dan Pengolahan Data

Perhitungan untuk menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum diawali dengan menentukan grid penelitian yang berada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Langkah-langkah untuk menghitung nilai percepatan tanah maksimum dan pemetaan risiko gempa yaitu sebagai berikut:

1. Mencari posisi latitude dan longitude setiap kecamatan di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Membuat titik grid pada setiap kecamatan di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan menggunakan Arc Gis 10.4.
3. Menyusun data historis gempa bumi pada daerah penelitian periode 1969-2019 berdasarkan data latitude, longitude, besarnya magnitudo, dan kedalaman gempa berdasarkan batasan daerah penelitian  $-7,35^0$  LS –  $9,12^0$  LS dan  $109,8^0$  BT –  $111,5^0$  BT.
4. Menkonversi Magnitudo sesuai dengan yang dibutuhkan pada tiap metode atau rumus fungsi atenuasi.
5. Menghitung Jarak episenter dan hiposenter pada titik gempa terhadap titik pengamatan.

Menghitung Jarak Episenter dengan persamaan:

$$\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$$

Dimana:

$\Delta$  = Jarak episenter (satuan derajat)

$x_1$  = Latitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

$x_2$  = Latitude pada sumber gempa (satuan derajat)

$y_1$  = Longitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

$y_2$  = Longitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

Menghitung Jarak Hiposenter menggunakan persamaan:

$$R^2 = \Delta^2 + h^2$$

Dimana :

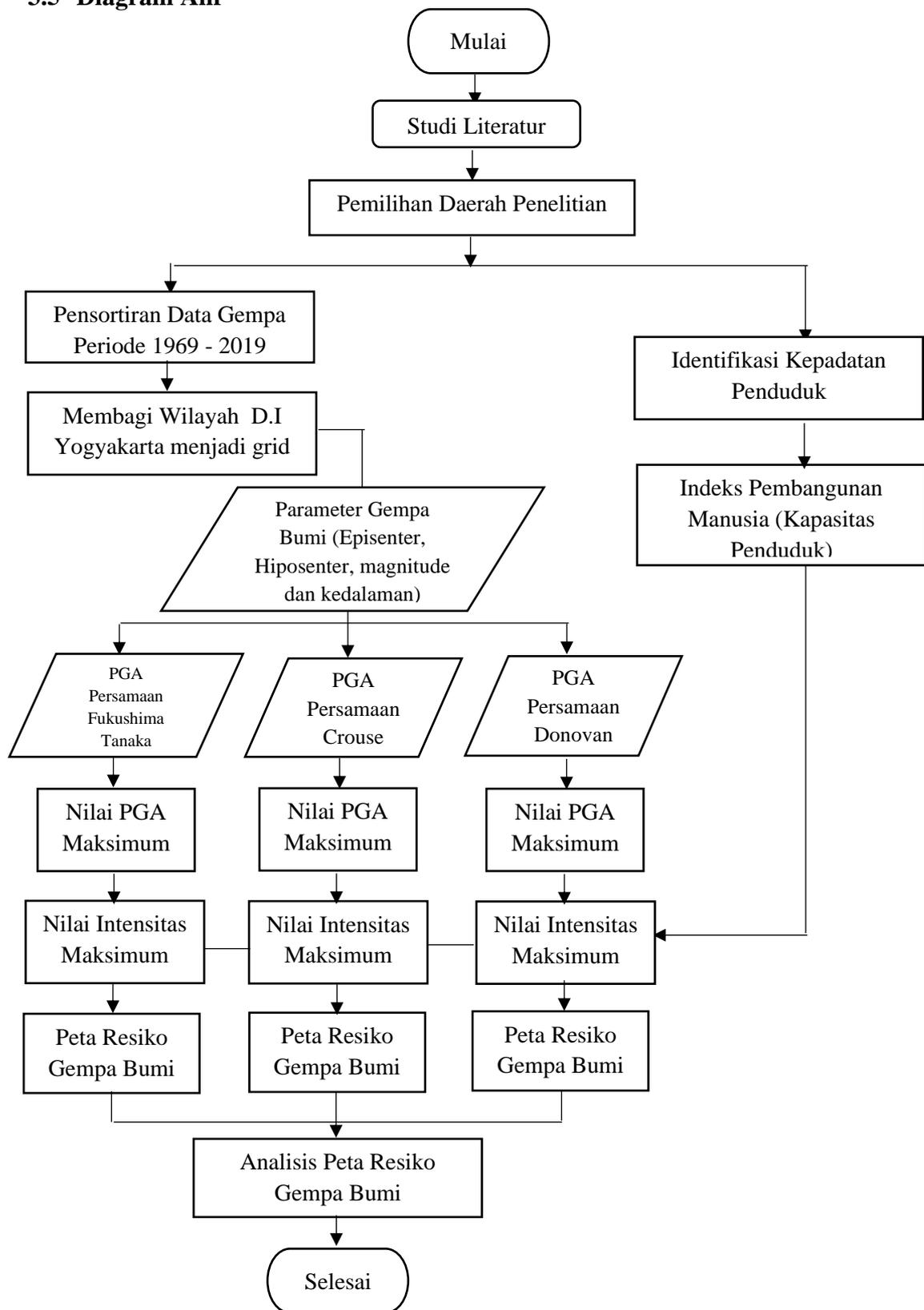
R = Jarak hiposenter (Satuan derajat)

$\Delta$  = Jarak Episenter (Satuan derajat)

h = Kedalaman gempa (km)

6. Menghitung nilai dari Percepatan Getaran Tanah Maksimum pada data tiap titik grid pengamatan menggunakan persamaan fungsi atenuasi Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukhusima – Tanaka (1992).
7. Mensortir data pengamatan yang telah dihitung pada tiap titik gridnya dan mengambil nilai percepatan tanah maksimum dari setiap metodenya.
8. Membuat pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum menggunakan software ArcMap 10.4.1
9. Mengkonversi nilai percepatan getaran tanah maksimum ke dalam nilai skala intensitas maksimum atau intensitas Mercally.
10. Mensortir data kepadatan penduduk dan data kapasitas penduduk dari kecamatan di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang didapatkan dalam laman BPS (Badan Pusat Statistik).
11. Menscoring nilai intensitas maksimum, kepadatan penduduk, dan data kapasitas penduduk, serta menghitung nilai dari resiko bencana.
12. Membuat pemetaan risiko gempa bumi dengan menggunakan software ArcMap 10.4.1.

### 3.5 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Penelitian

Tahap Pertama, dimulai dengan pengumpulan data baik data gempa bumi dari database kejadian gempa bumi di Stasiun Geofisika BMKG Kelas I Yogyakarta dan katalog gempa BMKG secara online wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 1969 – Desember 2019, data USGS dan data Penduduk Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2019. Data gempa yang didapatkan difilter dan disesuaikan dengan parameter pada perhitungan metode Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992). Data yang didapatkan berupa data-data gempa bumi yang kemudian disimpan dalam format .csv dan disimpan menggunakan microsoft office excel untuk memudahkan dalam membaca angka atau data yang didapatkan. Setelah itu menyimpan data penduduk Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2019 yang didapatkan pada halaman <https://yogyakarta.bps.go.id>.

Tahap Kedua, menghitung parameter gempa bumi dan mencari perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum sesuai dengan rumus fungsi atenuasi Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992) kemudian ditentukan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) dari beberapa peristiwa gempa bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta periode 1969 – Desember 2019 dan mengkonversikan kedalam nilai intensitas maksimum yang terdapat pada ketentuan tabel intensitas maksimum.

Ketiga mencari identifikasi kepadatan penduduk, Indeks pembangunan manusia (kapasitas penduduk) dan perhitungan resiko bencana wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta, setelah itu menscoring nilai intensitas maksimum, kepadatan penduduk dan kapasitas penduduk yang berasal pada ketentuan tabel scoring komponen penyusun resiko gempa bumi pada tabel 2.6 dan menghitung

nilai dari resiko bencana.

Keempat membuat pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum (PGA) Daerah Istimewa Yogyakarta dari kejadian gempa bumi berdasarkan metode Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992) tahun 1969 - Desember 2019. Setelah itu membuat pemetaan peta risiko gempa bumi menggunakan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) pada setiap kecamatan yang digabungkan dengan nilai scoring dalam penyusunan resiko gempa.

Kelima menganalisis hasil dari peta percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dan peta resiko gempa bumi sesuai data gempa bumi maupun peta rawan bencana yang terjadi sebenarnya di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, setelah itu dapat ditentukan metode yang mendekati dengan data dari keadaan sebenarnya di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) merupakan nilai percepatan tanah terbesar pada wilayah yang disebabkan akibat getaran gempa bumi dalam periode waktu tertentu. Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) merupakan nilai yang perlu dikaji untuk setiap terjadinya gempabumi yang kemudian akan digunakan untuk menggambarkan tingkat kerusakan tanah akibat guncangan gempabumi. Terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai percepatan tanah pada suatu wilayah di antara lain besarnya magnitude gempa, kedalaman gempa (hiposenter) dan jarak gempa (episenter). Semakin tinggi nilai percepatan getaran tanah di suatu wilayah maka semakin tinggi juga nilai dari intensitas gempa bumi. Besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum yang didapat dikarenakan wilayah tersebut mendekati pusat sumber gempa sehingga dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai intensitas gempabumi yang dihasilkan.

Fungsi atenuasi merupakan fungsi yang menunjukkan hubungan antara mekanisme terjadinya gempa, jarak (episenter), dan kondisi dari tanah lokal didekat titik pusat sumber gempa. Menurut Irsyam, dkk (2010) percepatan puncak dapat dimanfaatkan untuk menggambarkan parameter peristiwa gerakan tanah (*ground motion*), dan ada beberapa peneliti di dunia yang telah mengusulkan persamaan atenuasi untuk menghitung nilai percepatan tanah. Sesuai dengan hasil Tim Teknis Revisi Peta Gempa Indonesia (2010) dalam pencatatan *accelograph* yang dilakukan oleh BMKG yaitu pencatatan data percepatan yang terletak di permukaan tanah. Selain itu kondisi dari jenis tanah pada tempat peletakkan alat

pendeteksi gerakan tanah tidak dapat diketahui secara jelas sehingga ketetapan pencatatan data percepatan getaran tanah juga belum dapat terlihat dengan jelas. Kelemahan yang sering muncul pada saat penggunaan data percepatan getaran tanah (PGA) yang dimiliki oleh BMKG menyebabkan belum ditemukannya fungsi atenuasi atau ketetapan dan data khusus untuk fungsi atenuasi yang cocok di wilayah Indonesia. Oleh karena itu, kondisi geologi, fisiografis dan tektonik dari suatu wilayah di Indonesia menjadi dasar dalam pemilihan fungsi atenuasi yang memiliki kesamaan dengan syarat rumus atenuasi yang sudah diusulkan oleh para ahli. Dasar pemilihan fungsi atenuasi menurut Pawirodikromo (2012) yaitu terdapat beberapa parameter yang mempunyai fungsi secara signifikan pada perhitungan fungsi atenuasi di antara lain magnitudo gempa yang terjadi, jarak, mekanisme sumber gempanya, dan kondisi dari wilayah pencatatan data gempa.

Berdasarkan kondisi dan situasi tersebut, sehingga dilakukan penelitian sebagai wujud upaya dalam menambah ilmu pengetahuan di bidang gempa bumi dari segi teori dan segi aplikasi maka pada penelitian ini menggunakan tiga fungsi atenuasi yaitu Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992) serta intensitas gempabumi di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta.

#### **4.1 Analisis Tahapan Pengolahan Data**

Pada penelitian penentuan percepatan getaran tanah maksimum dan resiko gempa bumi berdasarkan metode Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992) di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta terdapat dua data gempa bumi yang digunakan dalam proses perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum. Data tersebut berasal dari data historis gempa dari BMKG yang digunakan yaitu dari riwayat kejadian gempa bumi merusak yang

terdapat di Stasiun Geofisika BMKG Kelas I Yogyakarta dan dari web resmi pada halaman <http://repogempa.bmkg.go.id>, data historis gempa USGS yang dapat diakses pada halaman <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> selama 50 tahun dengan rentang tahun 1969-2019, serta data penduduk Daerah Istimewa Yogyakarta terbaru tahun 2019 diakses pada halaman <https://yogyakarta.bps.go.id>.

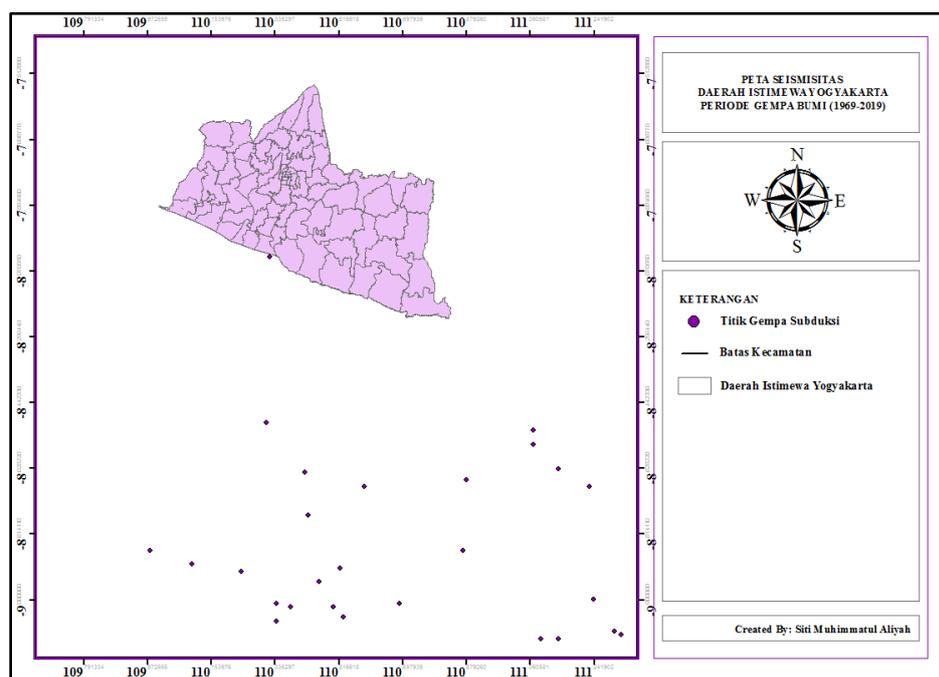
Tahapan pertama yang dilakukan setelah data gempa bumi didapatkan pada penelitian ini yaitu memfilter atau mensortir data gempa dari BMKG dan USGS sesuai dengan parameter-parameter pada batasan masalah penelitian yaitu Daerah Istimewa Yogyakarta dengan koordinat daerah penelitian  $-7,35^{\circ}$  LS –  $9,12^{\circ}$  LS dan  $109,8^{\circ}$  BT –  $111,5^{\circ}$  BT, Magnitudo (M)  $\geq 4$ , kedalaman gempa yang digunakan yaitu kedalaman dangkal sebesar  $\leq 60$  km, dan gempa bumi yang digunakan masuk dalam kategori gempa subduksi (zona dengan adanya penunjaman lempeng samudera kebawah lempeng benua. Adapun data historis gempa bumi merusak ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Data Gempa bumi Merusak Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 1969-2019

No	Tanggal	Latitude (Derajat)	Longitude (Derajat)	Kedalaman (km)	Magnitudo (mw)	Lokasi
1	12/9/2019	-8.90	110.10	35	4.9	Selatan Kabupaten Kulon Progo
2	28/08/2018	-8.92	110.24	44	5.2	Tenggara Kabupaten Kulon Progo
3	18/11/2016	-8.91	110.52	20	5	Barat Daya Kabupaten Gunung Kidul
4	7/21/2015	-8.86	109.98	20	4.8	Selatan Kabupaten Kulon Progo
5	18/04/2014	-9.06	110.34	15	5.8	Selatan Kabupaten Bantul
6	08/08/2013	-8.86	110.87	26	5.4	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
7	18/12/2012	-9.10	111.32	21	5.0	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
8	19/03/2011	-9.09	111.30	16	5.0	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
9	21/12/2010	-9.11	111.14	44	5.5	Tenggara Kabupaten

						Gunung Kidul
10	19/11/2009	-8.95	110.46	19	5.1	Tenggara Kabupaten Bantul
11	20/07/2008	-9.00	111.24	10	5.9	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
12	23/06/2007	-9.01	110.69	10	4.9	Selatan Kabupaten Gunung Kidul
13	26/05/2006	-8.03	110.32	11.3	6.3	Selatan Kabupaten Bantul
14	19/07/2005	-8.56	111.07	46	4.8	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
15	19/07/2003	-8.68	111.23	56	5.9	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
16	19/08/2001	-8.52	111.07	33	4.8	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
17	29/01/2000	-8.63	111.14	60	5.4	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
18	12/07/1997	-9.05	110.53	33	5.3	Selatan Kabupaten Gunung Kidul
19	24/09/1995	-9.11	111.09	21	4.7	Tenggara Kabupaten Gunung Kidul
20	22/03/1993	-8.66	110.88	52	5.1	Selatan Kabupaten Gunung Kidul
21	21/11/1992	-8.64	110.42	47	5.3	Selatan Kabupaten Bantul
22	15/02/1991	-9.02	110.38	33	4.7	Selatan Kabupaten Bantul
23	09/12/1990	-8.68	110.59	33	5.0	Selatan Kabupaten Gunung Kidul
24	12/09/1989	-9.02	110.50	33	5.8	Tenggara Kabupaten Bantul
25	09/07/1985	-8.50	110.31	58	5.5	Selatan Kabupaten Bantul
26	13/03/1981	-8.76	110.43	51	5.6	Tenggara Kabupaten Bantul
27	21/11/1970	-9.01	110.34	33	5.4	Selatan Kabupaten Bantul

Dari tabel 4.1 Data Gempa bumi Merusak Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 1969-2019 terdapat parameter gempa bumi yaitu latitude dan longitude yang menunjukkan posisi gempa bumi di wilayah penelitian. Posisi gempa bumi tersebut terdapat pada gambar 4.1 dibawah ini.

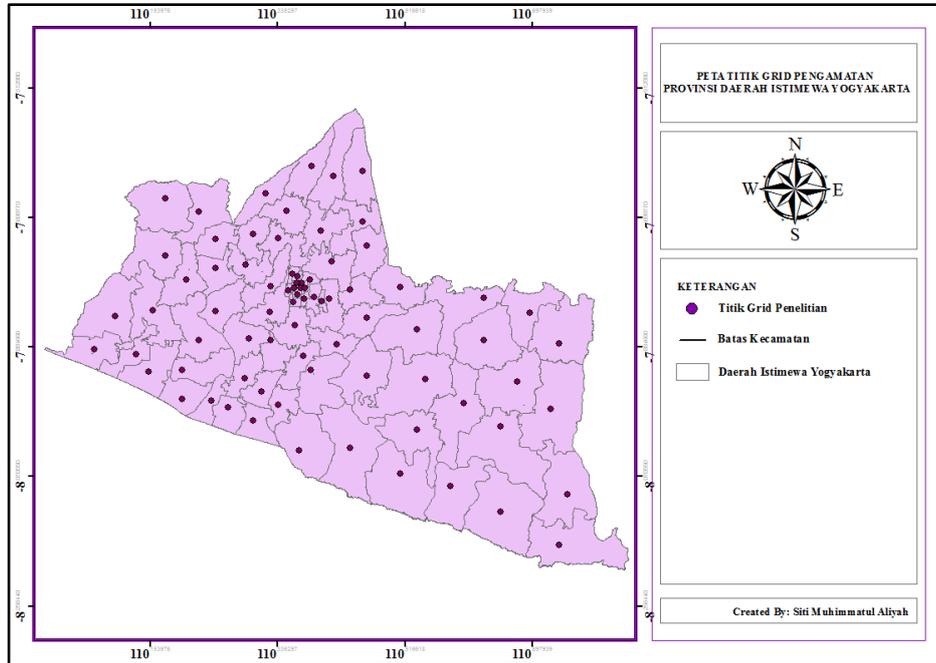


Gambar 4.1 Titik Gempa Bumi di Wilayah Penelitian

Berikutnya dilakukan penyesuaian data gempa bumi dengan parameter dari metode Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992), data selanjutnya yang digunakan yaitu jumlah penduduk tahun 2019 yang diakses pada halaman <https://yogyakarta.bps.go.id>.

Pada tahapan kedua yang dilakukan dalam penelitian yaitu menentukan grid (titik pengamatan) pada wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Grid pada penelitian digunakan untuk menghitung jarak episenter gempa dengan titik wilayah daerah penelitian. Titik grid yang digunakan adalah pada setiap titik kecamatan yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta dan didapatkan melalui software *Google Earth Pro*. Langkah selanjutnya yaitu pembuatan grid penelitian dengan memasukkan file 97-2003 Workbook Excel yang terdapat data longitude dan latitude setelah itu dimasukkan ke software ArcMap 10.4.1 dan didapatkan

hasil grid penelitian sebanyak 78 titik pengamatan. Hasil grid penelitian ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Titik Grid Penelitian di Daerah Istimewa Yogyakarta

Tahapan ketiga yaitu perhitungan untuk memperoleh nilai percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan software Ms. Excel 2010. Proses selanjutnya yang dilakukan dalam perhitungan data antara lain:

1. Menghitung jarak episenter dan hiposenter pada setiap titik grid penelitian untuk memperoleh jarak episenter dan hiposenter setiap titik. Perhitungan jarak episenter dan hiposenter menggunakan persamaan:
  - a. Menghitung Jarak Episenter dengan persamaan:

$$\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$$

Dimana:

$\Delta$  = Jarak episenter (satuan derajat)

$X_1$  = Latitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

$X_2$  = Latitude pada sumber gempa (satuan derajat)

$Y_1$  = Longitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

$Y_2$  = Longitude pada daerah pengukuran (satuan derajat)

b. Menghitung Hiposenter menggunakan persamaan:

$$R^2 = \Delta^2 + h^2$$

Dimana :

R = Hiposenter (Satuan derajat)

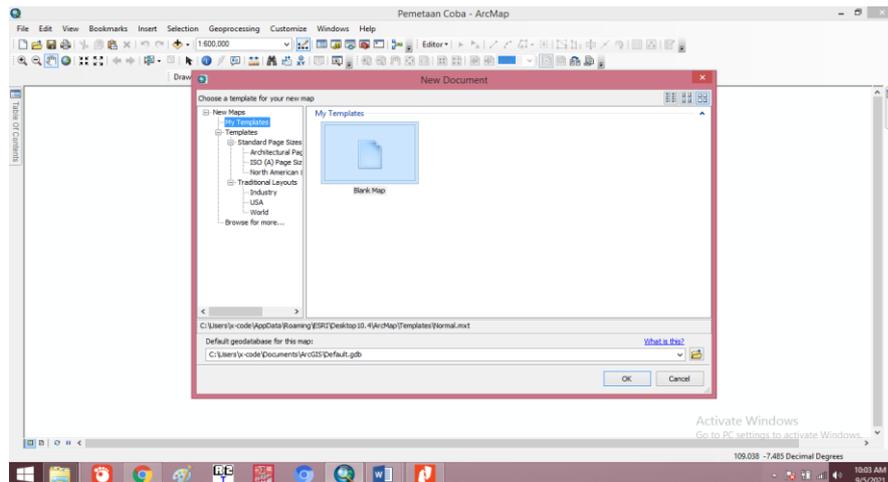
$\Delta$  = Jarak Episenter (Satuan derajat)

h = Kedalaman gempa (km)

2. Setelah mendapatkan jarak episenter dan hiposenter kemudian menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dari setiap peristiwa gempa bumi dengan menghitung menggunakan tiga rumus fungsi atenuasi oleh Donovan (1973), Crouse (1991), dan Fukushima-Tanaka (1992), pada persamaan (2.15, 2.19, dan 2.23).
3. Menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum pada setiap peristiwa gempa bumi di masing-masing titik grid.

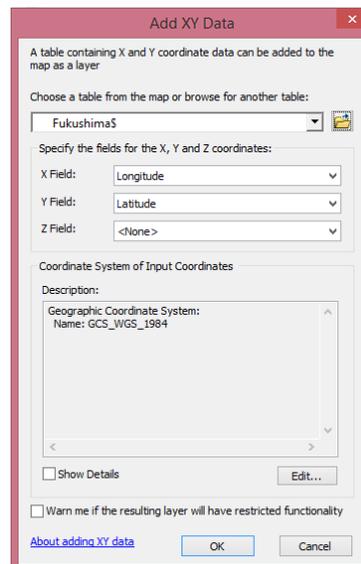
Tahapan keempat yaitu pemetaan yang dilakukan untuk membuat pemetaan peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum menggunakan nilai percepatan tanah maksimum dari fungsi atenuasi yang digunakan pada penelitian ini. Terdapat beberapa proses untuk membuat pemetaan Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA), antara lain:

1. Buka software ArcMap 10.4.1, setelah itu klik toolbar File dan pilih New Map



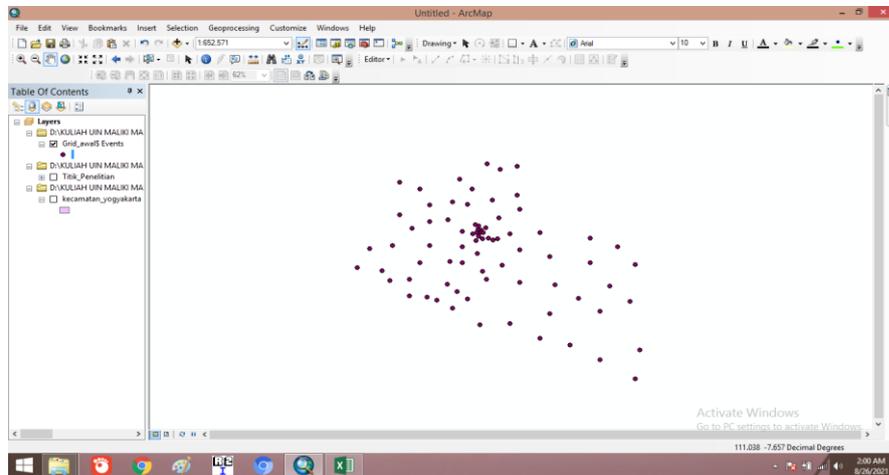
Gambar 4.3 Tampilan ArcMap 10.4.1 Membuka New Maps

2. Masukkan File Excel yang terdapat data nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) bentuk data xyz dengan format excel yang digunakan yaitu Excel 97- 2003 Workbook. Cara yang dilakukan yaitu Klik File – Pilih Add Data – Pilih Add XY Data, kemudian akan tampil seperti tampilan dibawah ini. Pada menu Description klik edit kemudian pilih Coordinate System-World-WGS 1984.



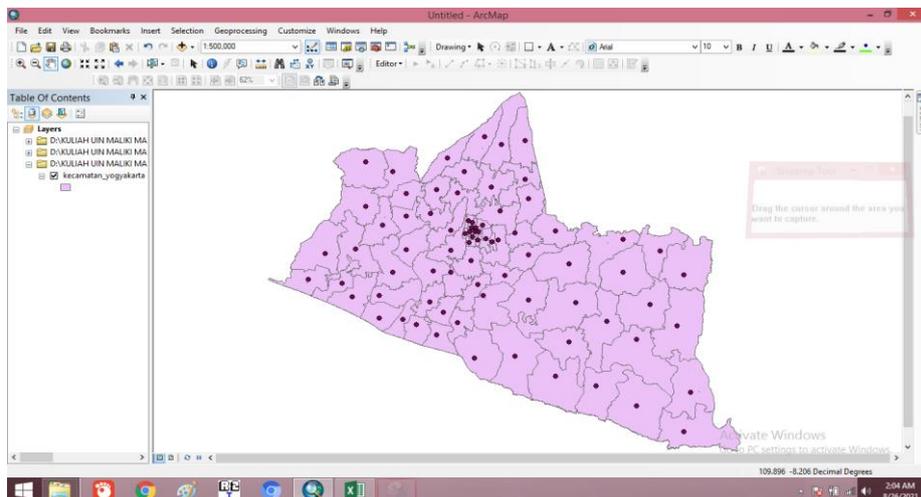
Gambar 4.4 Tampilan ArcMap 10.4.1 Untuk Menambahkan File (XYZ Data)

3. Tampilan dari nilai PGA adalah berbentuk grid data yang ditampilkan menggunakan bantuan *software* ArcMap 10.4.1.



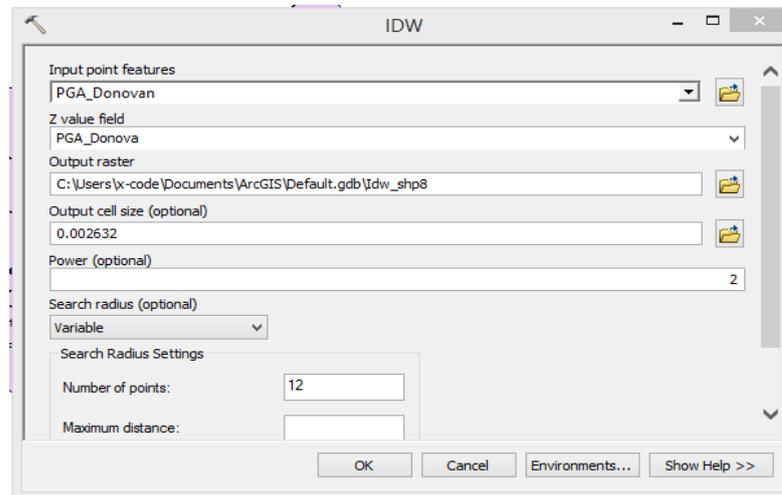
Gambar 4.5 Tampilan Grid Data Dalam ArcMap 10.4.1

4. Masukkan peta SHP batas kecamatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan cara Klik File – Pilih Menu Add Data – Pilih Add Data – Masukkan file SHP Batas kecamatan yang telah di download – OK – Setelah itu lakukan editing gambar untuk warna dan line batas kecamatan.



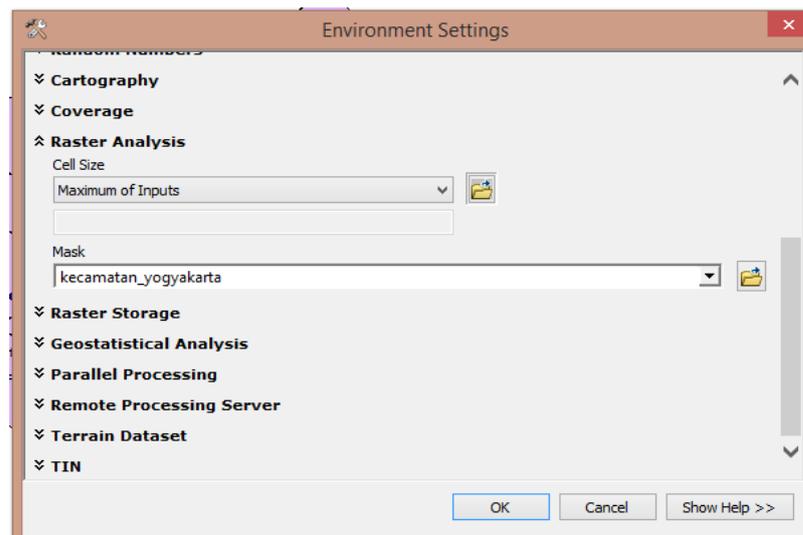
Gambar 4.6 Tampilan Peta SHP Daerah Istimewa Yogyakarta Batas Kecamatan

5. Untuk selanjutnya yaitu Interpolasi data Percepatan Getaran Tanah Maksimum, dengan cara klik IDW pada halaman pencarian (search) – Pilih IDW (3D Analyst Tool).



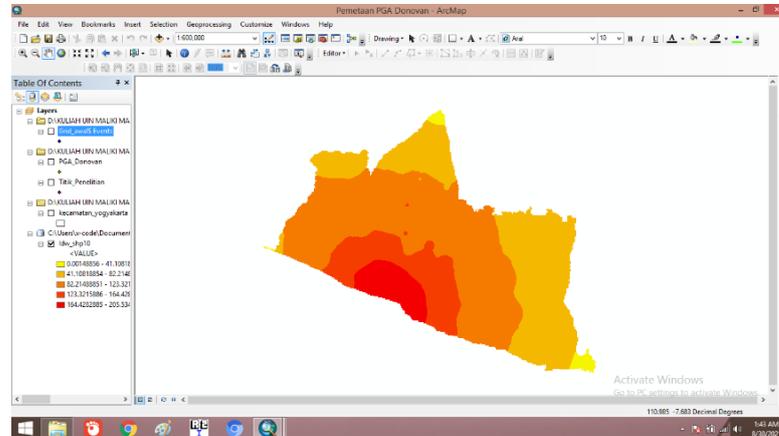
Gambar 4.7 Tampilan Tahap Interpolasi IDW

6. Setelah itu masukkan nilai PGA dengan mengganti pada menu z value field – klik enviroments – pilih Raster Analysis (Untuk menyesuaikan Peta SHP penelitian yang sesuai) – Mask (Masukkan peta SHP batas kecamatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta)



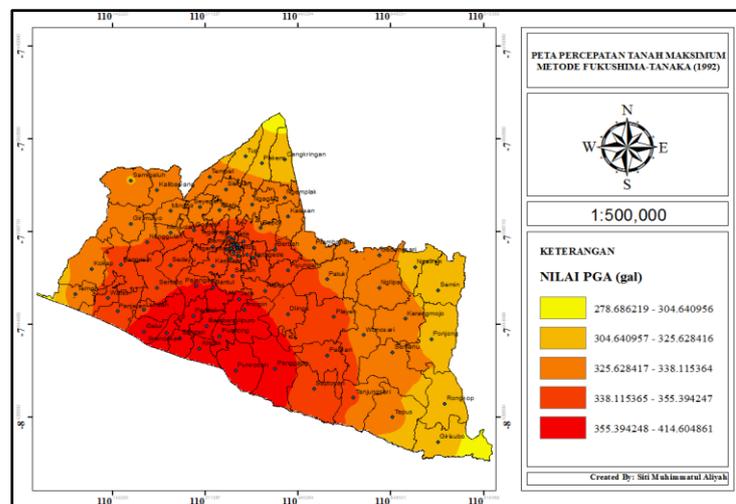
Gambar 4.8 Tampilan Raster Analysis

7. Setelah proses IDW selesai maka akan ditampilkan hasil dari Interpolasi nilai PGA seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Tampilan Hasil Interpolasi IDW

8. Melakukan editing data pada peta Percepatan getaran tanah maksimum dengan menambahkan batas lintang dan bujur, labelling warna (legend), dan keterangan.



Gambar 4.10 Tampilan Peta Percepatan Tanah Maksimum

Tahapan kelima yaitu menghitung nilai kepadatan penduduk wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan persamaan:

$$\text{Kepadatan Penduduk} = \frac{\text{Jumlah penduduk (jiwa)}}{\text{Luas Wilayah (km)}}$$

Setelah banyaknya kepadatan penduduk ditemukan maka dilakukan scoring pada komponen penyusun peta resiko yaitu pada tabel 2.5, dan melakukan perhitungan resiko bencana gempabumi menggunakan persamaan:

$$Risk = Hazard \cdot \frac{Vulnerability}{Capacity}$$

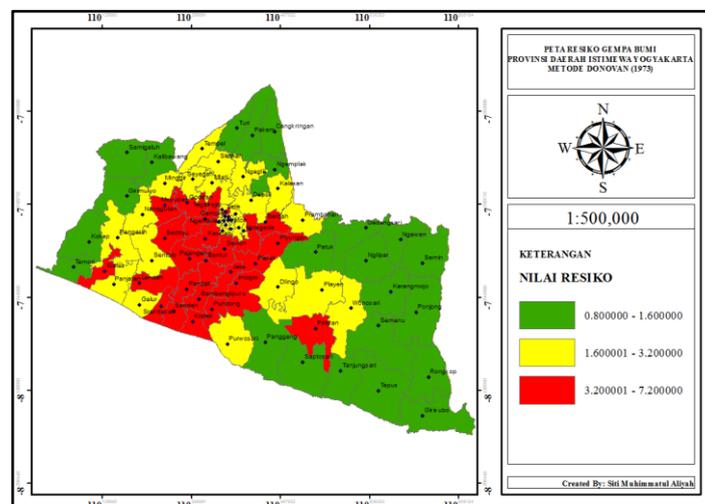
Dimana : R = *Disaster Risk* (Risiko Bencana)

H = *Hazard* (Ancaman/ Intensitas Maksimum)

V = *Vulnerability* (Kerentanan/ Kepadatan Penduduk)

C = *Capacity* (Kapasitas/ Indeks Pembangunan Manusia)

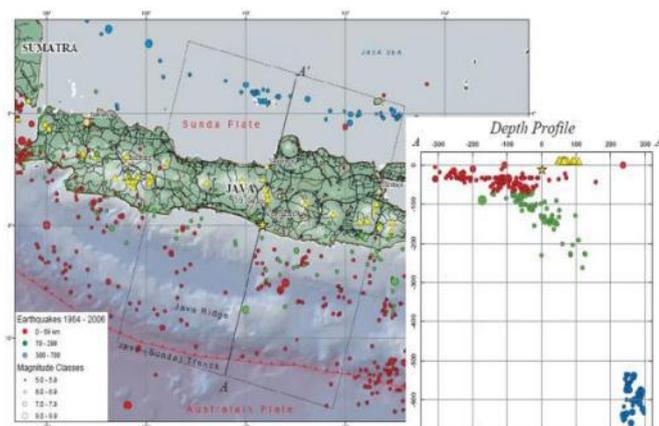
Tahapan keenam yaitu pemetaan Peta Resiko Gempa Bumi, penyusunan peta resiko gempabumi ini menggunakan hasil perhitungan dari beberapa komponen antara lain intensitas maksimum, indeks kepadatan penduduk, dan indeks kapasitas penduduk wilayah penelitian. Pembuatan peta resiko bencana pada software ArcMap 10.4.1 dilakukan dengan mengklasifikasikan warna dari resiko/bahaya dari setiap wilayah. Gambar 4.11 dibawah ini merupakan hasil Peta Resiko Bencana yang telah dihitung dan dilakukan editing (labelling legend, keterangan, dan lintang-bujur)



Gambar 4.11 Tampilan Peta Resiko Akibat Gempa Bumi

## 4.2 Analisis Data dan Pembahasan

Daerah yang digunakan yaitu Daerah Istimewa Yogyakarta yang terletak di bagian selatan Pulau Jawa. Pulau Jawa merupakan wilayah yang rawan terhadap bencana gempa bumi di Indonesia karena terletak pada wilayah lajur seismotektonik yang terdiri dari lajur seismotektonik tunjaman selatan Jawa dan lajur seismotektonik dari sesar yang ada di Jawa. Lajur Seismotektonik tunjaman selatan Jawa adalah bagian dari lempeng tektonik Samudera Hindia Australia yang menunjam pada lempeng tektonik Benua Asia-Eropa. (Soehaimi, 2008)



Gambar 4.12 Peta Seimisas Pulau Jawa (USGS, 2006).

Berdasarkan gambar 4.12, kondisi dari seismisitas zona selatan dari Pulau Jawa tergolong pada tingkat gempa bumi yang cukup tinggi (Husein dkk, 2008). Daerah Istimewa Yogyakarta adalah provinsi yang berada di Pulau Jawa bagian selatan dan berbatasan langsung dengan Samudra Hindia, daerah ini terletak pada bagian jalur gempa bumi yang terbentang dari Jawa, Pulau Sumatera, Bali sampai Nusa Tenggara dan termasuk zona subduksi lempeng Eurasia dan Indo-Australia, pertemuan dari dua lempeng ini mengakibatkan daerah ini rentan saat terjadinya gempa bumi. Oleh karena itu kondisi fisiografi dari Daerah Istimewa Yogyakarta

sangat dipengaruhi oleh aktivitas dari tumbukan lempeng tersebut (Daryono, 2010). Di Daerah Istimewa Yogyakarta sering terjadi bencana gempa bumi karena aktivitas lempeng dan aktivitas dari sesar lokal yang terbentuk karena peristiwa dislokasi atau patahan yang dapat mematahkan bidang lapisan antar batuan. (Hendrajaya, 1993). Terdapat beberapa sesar lokal pada Daerah Istimewa Yogyakarta antara lain esar Opak, Sesar Jiwo, Sesar Oyo, dan Sesar Progo. Adanya sistem sesar ini dapat menyebabkan deformasi dari batuan dan munculnya sesar baru atau sesar kecil (Daryono, 2009).

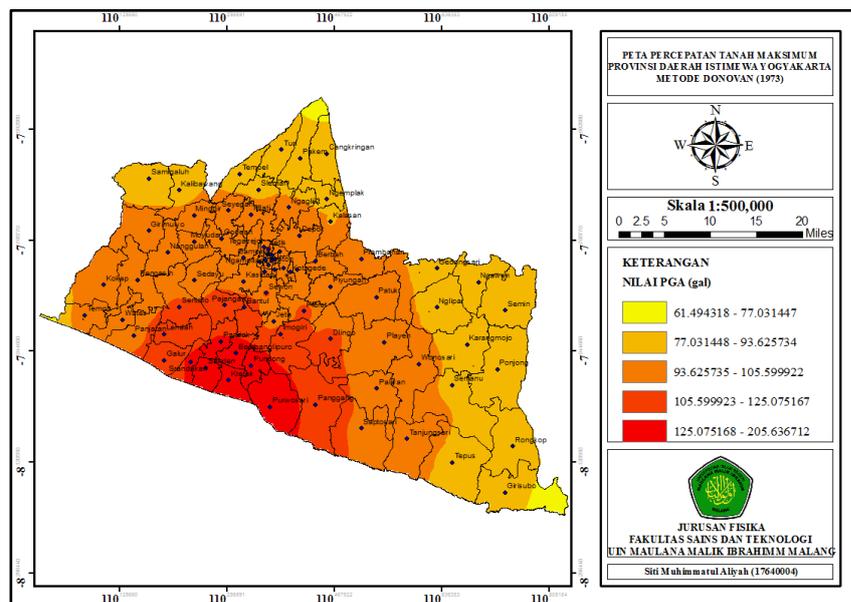
#### **4.2.1 Analisis Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum**

Dalam penelitian ini digunakan tiga metode atau fungsi atenuasi untuk mendapatkan nilai percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA). Metode yang digunakan yaitu metode Donovan (1973), Crouse (1991) dan Fukushima-Tanaka (1992). Hasil dari tiga metode perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan metode yang sesuai dengan wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Nilai percepatan getaran tanah maksimum ini kemudian akan dikonversi ke dalam bentuk Intensitas gempa bumi dengan memperhatikan acuan yang terdapat pada skala MMI. Nilai dari Intensitas gempa bumi yang dihasilkan dapat menunjukkan besarnya tingkat resiko gempa bumi pada wilayah penelitian.

Hasil pemetaan dari peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum menggunakan hasil dari masing-masing perhitungan dengan menggunakan tiga metode atau persamaan yang selanjutnya di overlaykan (tumpang-tindihkan) dengan peta wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Adapun indikator dalam penentuan tingkat rendah hingga tinggi nilai percepatan tanah maksimum

yaitu menggunakan skala warna. Warna merah dan jingga termasuk kedalam tingkatan yang tinggi, warna orange termasuk kedalam tingkatan yang sedang, dan warna kuning termasuk kedalam tingkatan yang rendah.

Hasil pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum yang pertama pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Donovan (1973) yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.13 Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum Metode Donovan

Pada gambar 4.13 diatas dijelaskan bahwa wilayah yang memiliki nilai percepatan getaran tanah maksimum tertinggi yaitu antara 126 - 205 gal (ditunjukkan dengan skala warna merah), Wilayah tersebut terletak di Bambanglipuro, Kretek, Pundong, Purwosari, Sanden dengan memiliki nilai intensitas gempa bumi yang tinggi yaitu VII MMI. Kemudian wilayah yang diperkirakan berada pada tingkat sedang yaitu antara 94 - 125 gal (ditunjukkan dengan warna jingga), Wilayah tersebut terletak di Banguntapan, Bantul, Berbah, Danurejan, Dlingo, Galur, Gamping, Gedongtengen, Godean,

Gondokusuman, Gondomanan, Imogiri, Jetis, Jetis, Kasihan, Kotagede, Kraton, Lendah, Mantrijeron, Mergangsan, Moyudan, Nanggulan, Ngampilan, Pajangan, Pakualaman, Paliyan, Pandak, Panggang, Panjatan, Patuk, Pengasih, Piyungan, Playen, Pleret, Saptosari, Sedayu, Sentolo, Sewon, Srandakan, Tanjungsari, Tegalgrejo, Umbulharjo, Wates, Wirobrajan dengan memiliki nilai intensitas gempa bumi sebesar VI MMI. Adapun wilayah yang diperkirakan berada pada tingkat rendah yaitu antara 61 - 93 gal (ditunjukkan dengan warna orange dan kuning), Wilayah tersebut terletak di Cangkringan, Depok, Gedangsari, Girimulyo, Girisubo, Kalasan, Kalibawang, Karangmojo, Kokap, Minggir, Mlati, Ngaglik, Ngawen, Ngemplak, Nglipar, Pakem, Ponjong, Rongkop, Prambanan, Samigaluh, Semanu, Semin, Seyegan, Sleman, Temon, Tempel, Tepus, Turi, Wonosari serta memiliki nilai intensitas gempa bumi sebesar V MMI. Getaran dengan skala intensitas tertinggi yaitu bernilai VII MMI yang menimbulkan efek samping berupa getaran yang bisa dirasakan dan mengganggu orang mengemudi mobil maupun orang yang sedang berjalan., banyak kerusakan pada bangunan yang tinggi baik dari tembok yang pecah, atap yang terjatuh, batu tembok terjatuh dan terjadi pergeseran pada timbunan pasir atau batu kerikil bangunan.

Hasil nilai PGA (Percepatan Tanah Maksimum) yang didapatkan dalam perhitungan dengan menggunakan metode Donovan (1973) dan setelah itu dikonversikan ke dalam skala MMI ditunjukkan pada tabel 4.2

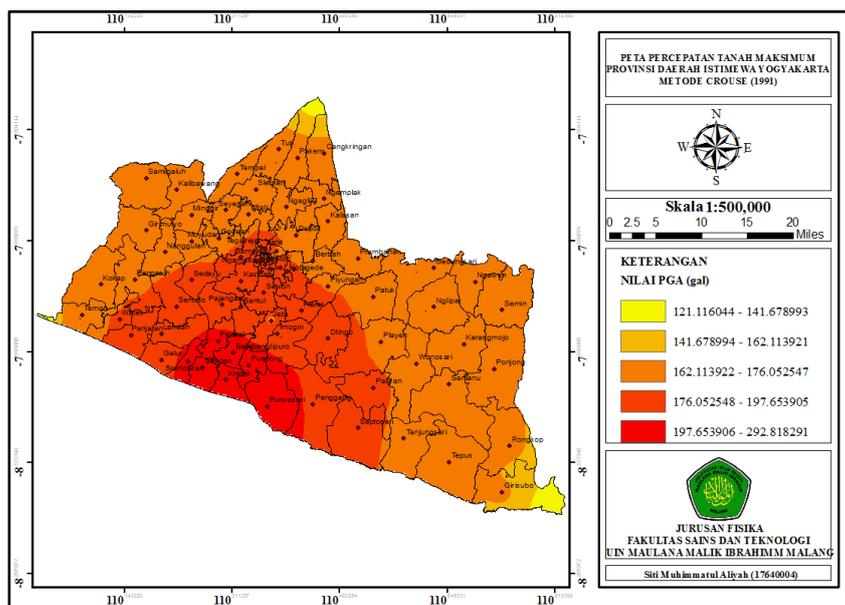
Tabel 4.2 Klasifikasi Getaran Percepatan Tanah Maksimum Wilayah DIY Metode Donovan (1973)

NO	Wilayah	PGA (gal)	Intensitas (MMI)
1	Cangkringan, Depok, Gedangsari, Girimulyo, Girisubo, Kalasan,	61 - 93	V

	Kalibawang, Karangmojo, Kokap, Minggir, Mlati, Ngaglik, Ngawen, Ngemplak, Nglipar, Pakem, Ponjong, Prambanan, Rongkop, Samigaluh, Seyegan, Semanu, Semin, Sleman, Temon, Tempel, Tepus, Turi, Wonosari		
2	Banguntapan, Bantul, Berbah, Danurejan, Dlingo, Galur, Gamping, Gedongtengen, Godean, Gondomanan, Gondokusuman, Imogiri, Jetis, Jetis, Kasihan, Kotagede, Kraton, Lendah, Mantrijeron, Mergangsan, Moyudan, Nanggulan, Ngampilan, Pajangan, Pakualaman, Paliyan, Pandak, Panggang, Panjatan, Patuk, Pengasih, Piyungan, Playen, Pleret, Saptosari, Sedayu, Sentolo, Sewon, Srandakan, Tanjungsari, Tegalrejo, Umbulharjo, Wates, Wirobrajan	94- 125	VI
3	Bambanglipuro, Kretek, Pundong, Purwosari, Sanden	126 - 205	VII

Secara umum, hasil pemetaan dari metode Donovan menunjukkan bahwa yang memiliki tingkat rawan kerusakan paling tinggi yaitu di beberapa daerah di Kabupaten Bantul berdasarkan data yang telah di klasifikasikan pada tabel 4.2 diatas.

Hasil pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum yang kedua pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Crouse (1991) yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.14 Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum Metode Crouse

Pada gambar 4.14 menjelaskan wilayah yang memiliki nilai percepatan getaran tanah maksimum tertinggi yaitu antara 177 - 292 gal (ditunjukkan dengan skala warna merah dan jingga), Wilayah tersebut terletak di Bambanglipuro, Bantul, Dlingo, Galur, Imogiri, Jetis, Kasihan, Kretek, Lendah, Mantriheron, Mergangsan, Pajangan, Paliyan, Pandak, Panggang, Panjatan, Pleret, Pundong, Purwosari, Sanden, Saptosari, Sedayu, Sentolo, Sewon, Srandakan dengan memiliki nilai intensitas gempa bumi yang tinggi yaitu VII MMI. Kemudian wilayah yang diperkirakan berada pada tingkat sedang dan kecil yaitu antara 121 – 176 gal (ditunjukkan dengan warna orange dan kuning), Wilayah tersebut terletak di Banguntapan, Berbah, Cangkringan, Depok, Gamping, Danurejan, Gedangsari, Gedongtengen, Girimulyo, Girisubo, Godean, Gondokusuman, Gondomanan, Jetis, Kalasan, Kalibawang, Karangmojo, Kokap, Kotagede, Kraton, Minggir, Mlati, Moyudan, Nanggulan, Ngaglik, Ngampilan, Ngawen, Ngemplak, Nglipar, Pakem, Pakualaman, Patuk, Pengasih,

Piyungan, Playen, Ponjong, Prambanan, Rongkop, Samigaluh, Semanu, Semin, Seyegan, Sleman, Tanjungsari, Tegalrejo, Temon, Tempel, Tepus, Turi, Umbulharjo, Wates, Wirobrajan, Wonosari dengan memiliki nilai intensitas gempa bumi sebesar VI MMI. Getaran dengan skala intensitas tertinggi yaitu bernilai VII MMI menimbulkan efek samping berupa getaran yang bisa dirasakan dan mengganggu orang mengemudi mobil maupun orang yang sedang berjalan., banyak kerusakan pada bangunan yang tinggi baik dari tembok yang pecah, atap yang terjatuh, batu tembok terjatuh dan terjadi pergeseran pada timbunan pasir atau batu kerikil bangunan.

Hasil nilai PGA (Percepatan Getaran Tanah Maksimum) yang didapatkan dalam perhitungan dengan menggunakan metode Crouse (1991) dan setelah itu dikonversikan ke dalam skala intensitas MMI, dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

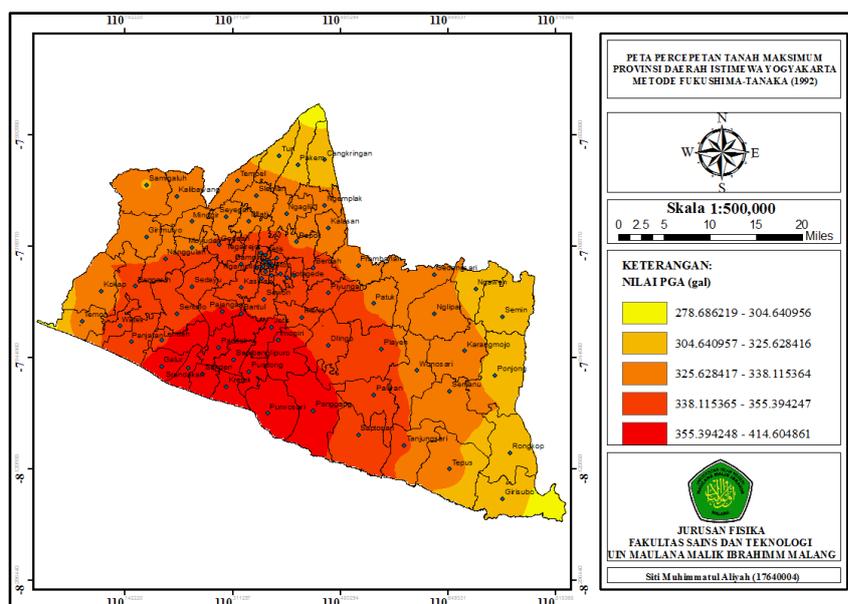
Tabel 4.3 Klasifikasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Wilayah DIY Metode Crouse (1991)

NO	Wilayah	PGA (gal)	Intensitas (MMI)
1	Banguntapan, Berbah, Cangkringan, Danurejan, Depok, Gamping, Gedangsari, Gedongtengen, Girimulyo, Girisubo, Godean, Gondokusuman, Gondomanan, Jetis, Kalibawang, Karangmojo, Kokap, Kotagede, Kraton, Playen, Minggir, Mlati, Moyudan, Nanggulan, Ngaglik, Ngawen, Ngampilan, Ngeplak, Nglipar, Kalasan, Pakem, Pakualaman, Patuk, Pengasih, Piyungan, Prambanan, Rongkop, Samigaluh, Semanu, Semin, Seyegan, Sleman, Ponjong, Tanjungsari, Tegalrejo, Temon, Tepus, Turi, Umbulharjo, Wates,	121 - 176	VI

	Wirobrajan, Wonosari, Tempel.		
2	Bambanglipuro, Kasihan, Bantul, Dlingo, Galur, Imogiri, Jetis, Kretek, Lendah, Mantriweron, Mergangsan, Pajangan, Paliyan, Pandak, Panggang, Panjatan, Pleret, Pundong, Purwosari, Sanden, Saptosari, Sedayu, Sentolo, Sewon, Srandakan	177 - 292	VII

Secara umum, hasil pemetaan dari metode Crouse menunjukkan bahwa wilayah dengan tingkat rawan kerusakan paling tinggi yaitu di daerah Kabupaten Bantul, dan beberapa wilayah pada Kabupaten Kulon Progo, serta Kota Yogyakarta dan Kabupaten Gunung Kidul sesuai dengan yang telah di klasifikasikan pada tabel 4.3 diatas.

Hasil pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum yang ketiga pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Fukushima-Tanaka (1992) yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.15 Peta Percepatan Getaran Tanah Maksimum Metode Fukushima-Tanaka

Dari gambar 4.15 diatas dapat dijelaskan bahwa wilayah yang memiliki nilai percepatan getaran tanah maksimum tertinggi yaitu antara 278 – 338 gal (dijelaskan dengan skala warna merah dan jingga), Wilayah tersebut terletak di Bambanglipuro, Bantul, Dlingo, Pleret, Galur, Imogiri, Jetis, Kasihan, Kotagede, Kraton, Mantrijeron, Kretek, Lendah, Mergangsan, Paliyan, Panggang, Panjatan, Pundong, Purwosari, Sanden, Saptosari, Pandak, Sedayu, Sewon, Sentolo, Srandakan dengan memiliki nilai intensitas gempa bumi yang tinggi yaitu VIII MMI. Kemudian wilayah yang diperkirakan berada pada tingkat sedang dan kecil yaitu antara 339 – 414 gal (ditunjukkan dengan warna orange dan kuning), Wilayah tersebut terletak di Banguntapan, Berbah, Cangkringan, Danurejan, Depok, Gamping, Gedangsari, Gedongtengen, Girimulyo, Girisubo, Godean, Gondokusuman, Gondomanan, Jetis, Kalasan, Kalibawang, Karangmojo, Kokap, Minggir, Mlati, Moyudan, Nanggulan, Ngaglik, Ngampilan, Ngawen, Ngemplak, Nglipar, Pajangan, Pakem, Pakualaman, Patuk, Pengasih, Piyungan, Playen, Ponjong, Prambanan, Rongkop, Samigaluh, Semanu, Semin, Seyegan, Sleman, Tanjungsari, Tegalrejo, Temon, Tempel, Tepus, Turi, Umbulharjo, Wates, Wirobrajan, Wonosari dengan memiliki nilai intensitas gempa bumi sebesar VII MMI. Getaran dengan skala intensitas tertinggi yaitu bernilai VIII MMI menimbulkan efek samping berupa getaran yang bisa dirasakan dan mengganggu orang mengemudi mobil maupun orang yang sedang berjalan., banyak kerusakan pada bangunan yang tinggi baik dari tembok yang pecah dan berjatuh, atap yang terjatuh, batu tembok terjatuh dan terjadi pergeseran pada fondasi rangka rumah,

serta mengakibatkan tumbangnya ranting pohon, maupun terjadinya lereng curam terbelah.

Hasil nilai PGA (Percepatan Getaran Tanah Maksimum) yang didapatkan dalam perhitungan dengan menggunakan metode Fukushima-Tanaka (1992) dan setelah itu dikonversikan ke dalam skala MMI dan ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Klasifikasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Wilayah DIY Metode Fukushima-Tanaka (1992)

NO	Wilayah	PGA (gal)	Intensitas (MMI)
1	Banguntapan, Berbah, Cangkringan, Danurejan, Gamping, Gedangsari, Gedongtengen, Gondomanan, Girimulyo, Girisubo, Depok, Godean, Gondokusuman, Jetis, Kalasan, Kalibawang, Karangmojo, Kokap, Mlati, Ngemplak, Moyudan, Nanggulan, Minggir, Ngaglik, Ngampilan, Ngawen, Nglipar, Pajangan, Pakem, Pakualaman, Patuk, Piyungan, Playen, Ponjong, Pengasih, Prambanan, Wates, Rongkop, Samigaluh, Semin, Seyegan, Sleman, Tanjungsari, Tegalrejo, Temon, Tempel, Tepus, Semanu, Turi, Umbulharjo, Wirobrajan, Wonosari	278 - 338	VII
2	Bantul, Bambanglipuro, Dlingo, Galur, Imogiri, Kasihan, Kotagede, Kraton, Kretek, Sedayu, Lendah, Mantrijeron, Mergangsan, Paliyan, Pandak, Jetis, Panggang, Panjatan, Pleret, Pundong, Sanden, Saptosari, Purwosari, Sentolo, Sewon, Srandakan	339 - 414	VIII

Secara umum, hasil pemetaan dari metode Fukushima-Tanaka ditunjukkan bahwa wilayah dengan tingkat rawan kerusakan paling tinggi yaitu di daerah Kabupaten Bantul, serta beberapa wilayah pada Kabupaten Kulon Progo, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Gunung Kidul seperti yang telah di klasifikasikan pada tabel 4.4 diatas.

Salah satu akibat yang akan terjadi akibat adanya gempa bumi adalah pergerakan tanah, yang pada akhirnya menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat. Besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum pada suatu daerah berpengaruh terhadap kenaikan resiko gempa yang akan terjadi. Nilai percepatan tanah maksimum dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain nilai magnitudo, episenter, hiposenter, kedalaman gempa, serta kondisi dari geologi daerah penelitian. Dari hasil perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan ketiga metode di atas memiliki kesamaan sekaligus perbedaan. Perbedaan dari metode yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat dari nilai percepatan getaran tanah maksimum dan warna yang terdapat dalam hasil pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum. Pada metode Fukushima-Tanaka memiliki nilai percepatan getaran tanah maksimum yang tinggi dibandingkan dengan metode Crouse dan Donovan. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan parameter yang digunakan dari beberapa metode diantaranya parameter magnitudo yang digunakan, nilai dari jarak episenter dan hiposenter dalam menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum. Parameter yang digunakan pada metode Fukushima-Tanaka yaitu magnitudo momen ( $M_w$ ) dan hiposenter, sedangkan parameter pada metode Crouse yaitu magnitudo momen ( $M_w$ ), episenter dan hiposenter. Kemudian

dalam metode Donovan menggunakan parameter magnitudo permukaan ( $M_s$ ) dan hiposenter. Semakin banyak parameter yang digunakan maka hasil percepatan getaran tanah maksimum yang dihasilkan akan semakin akurat meskipun parameter yang digunakan hampir sama yaitu menggunakan hiposenter, episenter dan magnitudo tetapi nilai konstanta pengali dan pembagimya berbeda dari setiap metode perhitungan. Selain itu perlu diperhatikan juga mengenai jenis gempa dan magnitudo yang akan digunakan dalam penelitian. Menurut Prawirodikromo 2012, magnitudo moment adalah magnitudo gempa bumi yang terbaik dan memiliki sifat konsisten dalam menunjukkan besar kekuatan bumi, Sedangkan magnitudo permukaan merupakan besaran magnitudo yang diterima di permukaan akan berkurang sehingga jika dimasukkan ke dalam perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum yang menggunakan magnitudo menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan magnitudo momen. Adapun kesamaan dari ketiga metode tersebut juga dapat dilihat dari hasil pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum yaitu memiliki nilai kecil pada percepatan getaran tanah maksimum yang apabila jarak titik penelitian dengan jarak dari pusat gempa semakin jauh. Hal ini disebabkan karena naik turunnya nilai intensitas gempa dipengaruhi oleh jarak yang semakin jauh dari sumber gempa bumi terjadi. Penyebab turunnya intensitas energi gempa diakibatkan oleh terpecahnya energi dari gelombang primer dan gelombang sekunder serta pada saat gempa menjalar pada volume batuan yang luas dan energi gempa terdistribusi didalamnya.

Dari ketiga metode yang digunakan pada penelitian menunjukkan nilai percepatan getaran tanah maksimum yang tertinggi berada di Zona Selatan Daerah Istimewa Yogyakarta dan ditandai dengan peta yang berwarna merah, daerah tersebut antara lain Bambanglipuro, Bantul, Dlingo, Galur, Imogiri, Jetis, Kasihan, Kotagede, Kraton, Kretek, Lendah, Mantrijeron, Mergangsan, Paliyan, Pandak, Panggang, Panjatan, Pleret, Pundong, Purwosari, Sanden, Saptosari, Sedayu, Sentolo, Sewon, Srandakan. Tingginya nilai percepatan tanah maksimum di daerah tersebut disebabkan oleh kejadian gempa bumi tanggal 27 Mei 2006 yang bertepatan di Daerah Istimewa Yogyakarta dan memiliki magnitudo sebesar 6,3 SR yang tergolong dalam gempa merusak.

Selain nilai percepatan getaran tanah maksimum, terdapat nilai intensitas maksimum yang dihasilkan. Intensitas maksimum merupakan komponen untuk menentukan tingkat resiko bencana gempa bumi pada suatu wilayah. Pada penelitian menggunakan ketiga metode diatas intensitas maksimum yang didapatkan yaitu pada skala V – VIII MMI dan hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Adam Haris (2013) yaitu Intensitas maksimum gempa bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan metode atenuasi Patwardhan yaitu dengan skala V-VII MMI. Selain itu penelitian ini juga sesuai dengan penelitian oleh Soehaimi (2008) yaitu Intensitas Maksimum dari gempa bumi merusak pada wilayah di Jawa mempunyai nilai berskala VI – IX SR.

Hasil peta intensitas percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan tiga metode diatas yang paling sesuai dengan hasil survey BMKG di lapangan dan historis gempa merusak yaitu metode Fukushima-Tanaka dan

metode Crouse, yaitu berdasarkan data gempa bumi merusak antara lain:(Setiyono, 2019)

1. Tahun 1981 dirasakan getaran gempa bumi di Yogyakarta sebesar VI MMI yang menyebabkan kerusakan dinding di hotel Ambarukmo retak serta di wilayah Kota Yogyakarta dan beberapa wilayah di Kabupaten Bantul merasakan getaran gempa bumi yang kuat.
2. Tahun 2006 dirasakan getaran gempa bumi di Yogyakarta sebesar VII MMI dan efek guncangan tanah ini juga terasa di wilayah Kecamatan Bambanglipuro, kecamatan Plered, kecamatan Jetis, kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, Kabupaten Gunung Kidul.dan beberapa wilayah di Kabupaten Kulon Progo yang menyebabkan korban meninggal 4.772 jiwa, korban luka-luka 17.772 jiwa, kerusakan 204.831 rumah rusak, serta menyebabkan kerusakan di permukaan tanah berupa retakan tanah, likuifaksi dan longsor.
3. Tahun 2010 dirasakan getaran gempa bumi di Kabupaten Bantul, Kabupaten Kulon Progo dan Kota Yogyakarta sebesar V MMI yang menyebabkan kerusakan beberapa bangunan dan rumah penduduk banyak yang mengalami kerusakan.
4. Tahun 2015 dirasakan getaran gempa bumi di Kabupaten Bantul, dan beberapa wilayah Kabupaten Gunung Kidul sebesar IV MMI yang menyebabkan kerusakan bangunan di daerah Kabupaten Bantul.

#### **4.2.2 Analisis Peta Resiko Akibat Gempa Bumi**

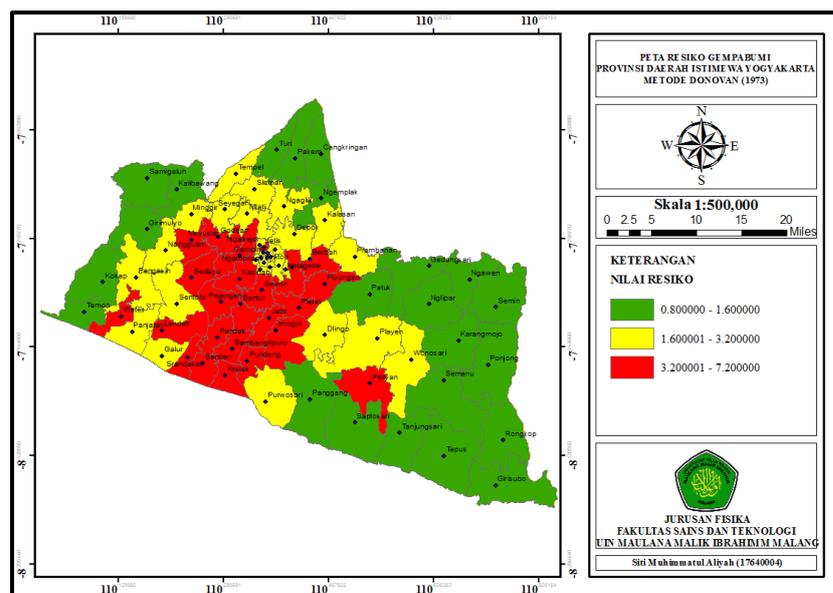
Penentuan indikator tingkat resiko gempa bumi yang digunakan dalam penelitian ini dipengaruhi oleh tiga faktor penyusun yang berhubungan dengan

data kependudukan wilayah penelitian yaitu Daerah Istimewa Yogyakarta. Faktor tersebut pada penelitian ini adalah faktor bahaya (*hazard*) yang didapatkan dari nilai intensitas maksimum, kemudian faktor kerentanan (*vulnerability*) yang didapatkan dari nilai kepadatan penduduk, dan faktor ketahanan// kapasitas (*capacity*) yang didapatkan dari indeks pembangunan manusia. Faktor-faktor tersebut dihitung menggunakan persamaan 2.24, setelah hasil perhitungan diperoleh tahap selanjutnya yaitu mengklasifikasikan menggunakan software ArcGIS 10.4 untuk mendapatkan pemetaan peta resiko gempa bumi wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta.

Pemetaan resiko gempa bumi di kelompokkan menjadi 3 kelas yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Menurut BNPB (2018) klasifikasi tingkat resiko bencana dapat dilakukan dengan proses skoring yang terdapat pada tabel 2.5. Faktor bahaya gempa bumi (*hazard*) dalam penelitian ini menggunakan nilai intensitas maksimum yang didapatkan dari konversi nilai percepatan tanah maksimum ke dalam skala intensitas maksimum, pada skala intensitas yang bernilai rendah menggunakan skor 4, nilai intensitas bernilai sedang menggunakan skor 8, dan nilai intensitas bernilai tinggi menggunakan skor 12. Selain itu terdapat juga faktor kerentanan dan kapasitas yang perlu untuk dilakukan skoring juga. Nilai faktor kerentanan (*vulnerability*) didapatkan dari data kepadatan penduduk tahun 2019 wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta yang berasal dari data di Badan Pusat Statistik (BPS), dimana rentang nilai <500 jiwa yang beresiko/km<sup>2</sup> memiliki skor 0,4, rentang nilai 500-1000 jiwa yang beresiko/km<sup>2</sup> memiliki skor 0,8, dan rentang nilai >1000 jiwa yang beresiko/km<sup>2</sup> memiliki skor 1,2. Kemudian faktor kapasitas (*capacity*)

didapatkan dari nilai indeks pembangunan manusia tahun 2019 yang berasal dari Badan Pusat Statistika (BPS), dimana nilai pada rentang  $<55$  kapasitas memiliki skor 1, nilai pada rentang 55-85 kapasitas memiliki skor 2, dan nilai pada rentang  $>85$  memiliki skor 3.

Hasil pemetaan dari peta Resiko Gempa Bumi berasal dari hasil perhitungan tingkat resiko gempa bumi dengan menggunakan tiga metode peta resiko gempa bumi, yaitu metode Donovan (1973), metode Crouse (1991), dan metode Fukushima-Tanaka (1992). Adapun Hasil pemetaan peta resiko gempa bumi yang pertama pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Donovan (1973) yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

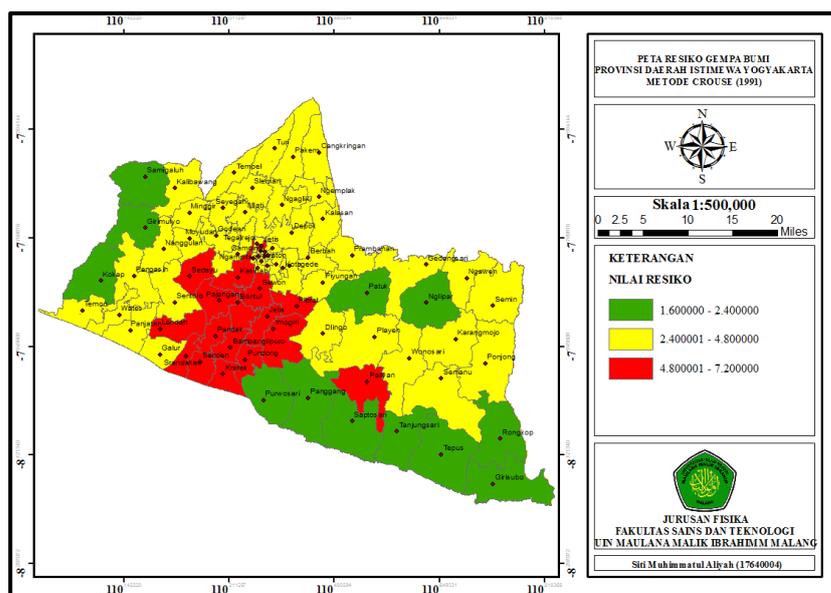


Gambar 4.16 Peta Resiko Gempa Bumi Metode Donovan

Menurut peta resiko gempa bumi menggunakan metode Donovan, daerah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi tinggi yaitu pada daerah yang berwarna merah yang memiliki nilai resiko gempa bumi sebesar 3,2 – 7,2 dan terletak pada wilayah Wates, Srandakan, Sanden, Kretek, Pundong,

Bambanglipuro, Pandak, Lendah, Imogiri, Jetis, Bantul, Pajangan, Sedayu, Kasihan, Sewon, Pleret, Piyungan, Berbah, Kotagede, Ngampilan, Gamping, Tegalorejo, Godean dan Paliyan. Kemudian wilayah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi sedang yaitu pada daerah yang berwarna kuning dengan nilai resiko gempa bumi sebesar 1,6 – 3,2 dan terletak di wilayah Galur, Panjatan, Sentolo, Pengasih, Minggir, Seyegan, Mlati, Kraton, Depok, Ngaglik, Sleman, Tempel, Kalasan, Prambanan, Dlingo, Playen, Wonosari, dan Purwosari. Serta wilayah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi rendah yaitu sebesar 0,8 – 1,6 dan terletak di wilayah Temon, Kokap, Girimulyo, Samigaluh, Kalibawang, Turi, Pakem, Cangkringan, Ngemplak, Gedangsari, Patuk, Nglipar, Ngawen, Semin, Karangmojo, Ponjong, Semanu, Rongkop, Panggang, Saptosari, Tanjungsari, Tepus, dan Girisubo.

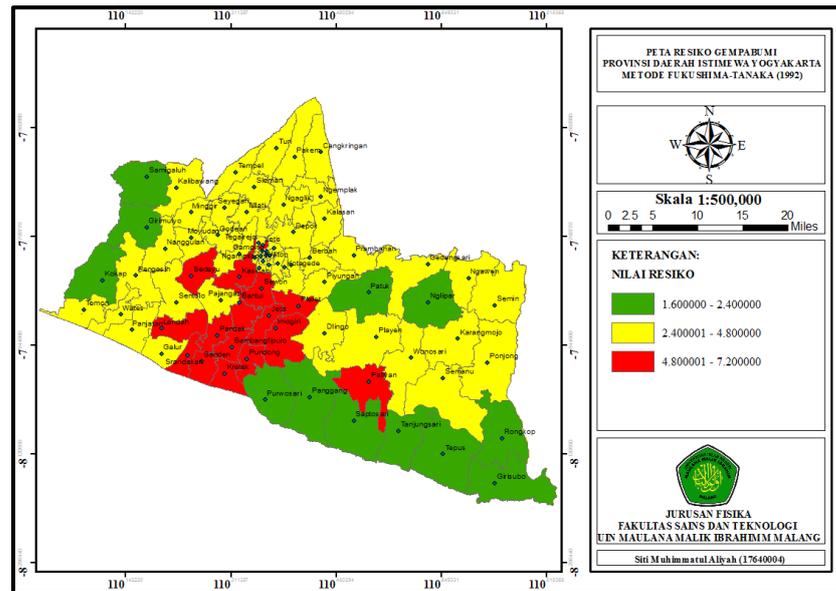
Hasil pemetaan peta resiko gempa bumi yang kedua pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Crouse (1991) yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.17 Peta Resiko Gempa Bumi Metode Crouse

Menurut peta resiko gempa bumi menggunakan metode Crouse, daerah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi tinggi yaitu pada daerah yang berwarna merah yang memiliki nilai resiko gempa bumi sebesar 4,8 – 7,2 dan terletak pada wilayah Bambanglipuro, Bantul, Imogiri, Jetis, Kasihan, Kretek, Lendah, Paliyan, Pandak, Pleret, Pundong, Sanden, Sedayu, Sewon, dan Srandakan. Kemudian wilayah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi sedang yaitu pada daerah yang berwarna kuning dengan nilai resiko gempa bumi sebesar 2,4 - 4,8 dan terletak di wilayah Temon, Wates, Panjatan, Galur, Sentolo, Pengasih, Nanggulan, Moyudan, Ngampilan, Gamping, Tegalrejo, Godean, Minggir, Kalibawang, Seyegan, Mlati, Tempel, Sleman, Turi, Pakem, Cangkringan, Ngemplak, Ngaglik, Depok, Kalasan, Kraton, Kotagede, Berbah, Piyungan, Prambanan, Gedangsari, Dlingo, Playen, Wonosari, Karangmojo, Semin, Ngawen, Semanu, dan Ponjong. Serta wilayah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi rendah yaitu sebesar 1,6 – 2,4 dan terletak di wilayah Kokap, Girimulyo, Samigaluh, Patuk, Nglipar, Rongkop, Purwosari, Panggang, Saptosari, Tanjungsari, Tepus, dan Girisubo.

Hasil pemetaan peta resiko gempa bumi yang ketiga pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Fukushima-Tanaka (1992) yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.18 Peta Resiko Gempa Bumi Metode Fukushima-Tanaka

Menurut peta resiko gempa bumi menggunakan metode Fukushima-Tanaka (1992), daerah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi tinggi yaitu pada daerah yang berwarna merah yang memiliki nilai resiko gempa bumi sebesar 4,8 – 7,2 dan terletak pada wilayah Bambanglipuro, Bantul, Imogiri, Jetis, Kasihan, Kretek, Lendah, Paliyan, Pandak, Pleret, Pundong, Sanden, Sedayu, Sewon, dan Srandakan. Kemudian wilayah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi sedang yaitu pada daerah yang berwarna kuning dengan nilai resiko gempa bumi sebesar 2,4 - 4,8 dan terletak di wilayah Temon, Wates, Panjatan, Galur, Sentolo, Pajangan, Pengasih, Nanggulan, Moyudan, Ngampilan, Gamping, Tegaltrejo, Godean, Minggir, Kalibawang, Seyegan, Mlati, Tempel, Sleman, Turi, Pakem, Cangkringan, Ngemplak, Ngaglik, Depok, Kalasan, Kraton, Kotagede, Berbah, Piyungan, Prambanan, Gedangsari, Dlingo, Playen, Wonosari, Karangmojo, Ngawen, Semanu, Semin, dan Ponjong. Serta wilayah yang memiliki tingkat resiko gempa bumi rendah yaitu sebesar 1,6 –

2,4 dan terletak di wilayah Kokap, Girimulyo, Samigaluh, Patuk, Nglipar, Rongkop, Purwosari, Panggang, Saptosari, Tanjungsari, Tepus, dan Girisubo.

Hasil pemetaan resiko gempa bumi dengan menggunakan tiga metode diatas yang paling sesuai dengan hasil survey BNPB, 2019 tentang indeks resiko bencana Indonesia di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu menggunakan metode Fukushima-Tanaka dan Crouse dimana wilayah yang memiliki nilai resiko tertinggi terdapat di Kabupaten Bantul, Kota Yogyakarta, serta beberapa wilayah Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunung Kidul.



Gambar 4.19 Kerusakan Kampus STIE di Kota Yogyakarta (Supartoyo, 2006)



Gambar 4.20 Rumah Penduduk Roboh Akibat Gempa Bumi 27 Mei 2006 di Desa Wonolelo Kecamatan Pleret Kabupaten Bantul (Supartoyo, 2006)

Rekomendasi yang diberikan untuk daerah yang beresiko tinggi yaitu mulai melakukan upaya penanggulangan terjadinya gempa yang pada prinsipnya untuk mencegah bencana gempa bumi seperti dampak gempa, likuifaksi, retakan tanah, perpindahan tanah, penurunan tanah, pergerakan tanah (longsor) yang diperkirakan akan menimbulkan korban. Tindakan mitigasi dapat dilakukan secara fisik atau struktural dan non fisik atau non struktural. Langkah-langkah mitigasi struktural meliputi pembangunan fisik yang dapat mengurangi dampak gempa bumi atau tsunami. Tindakan mitigasi non struktural antara lain dilakukan dengan meningkatkan kesadaran dan kemampuan dalam merespons ancaman bencana, selain itu dapat memberikan materi kebencanaan geologi untuk pendidikan di semua jenjang di Daerah Istimewa Yogyakarta. Melalui langkah-langkah mitigasi tersebut, diharapkan risiko gempa dan tsunami di masa yang akan datang dapat diminimalisir.

#### **4.3 Hikmah Bencana Gempa Bumi**

Gempa bumi merupakan fenomena alam berdampak besar bagi kehidupan di bumi, kita tidak dapat mengetahui kapan kejadian seperti ini akan datang, dimana letak kejadiannya, seberapa kuat dan seberapa besar dampaknya. Jadi setiap orang diharuskan waspada. Untuk memelihara kehidupan di bumi Allah telah menciptakan manusia yang memiliki tanggung jawab untuk menggunakan, mengelola, dan memelihara alam semesta. Allah menciptakan alam untuk kemaslahatan dan kesejahteraan makhluk-Nya khususnya manusia. Namun banyak orang yang masih belum bisa menggunakannya dengan benar dan bertindak semaunya sendiri. Alam semesta harus tetap dijaga bersama dan digunakan dengan benar. Kerusakan karena bencana yang terjadi disebabkan oleh beberapa

faktor yaitu karena hukum alam yang sudah ditentukan oleh Allah atau dari perilaku manusia. Hal yang harus diketahui bahwa gempa bumi merupakan bencana yang berdampak besar bagi keadaan dan kehidupan di muka bumi. Kerusakan yang awalnya berdampak dalam skala kecil dan nantinya akan berubah menjadi skala besar. terjadi berawal dari kecil dan lama-kelamaan akan berdampak besar. Di dalam Al-Qur'an telah menjelaskan terjadinya bencana alam di muka bumi dalam surat Q.S. Al-Mulk:16-17:

ءَأَمِنْتُمْ مَّن فِي السَّمَاءِ أَنْ يَخْسِفَ بِكُمْ الْأَرْضَ فَإِذَا هِيَ تَمُورٌ (١٦) أَمْ أَمِنْتُمْ مَّن فِي السَّمَاءِ أَنْ يُرْسِلَ عَلَيْكُمْ حَاصِبًا فَسَتَعْلَمُونَ كَيْفَ نَذِيرِ (١٧)

Artinya: “Apakah kamu merasa aman terhadap Allah yang (berkuasa) di langit bahwa Dia akan menjungkir balikkan bumi bersama kamu, sehingga dengan tiba-tiba bumi itu berguncang? (16) Apakah kamu merasa aman terhadap Allah yang (berkuasa) di langit bahwa dia akan mengirimkan badai yang berbatu. Maka kelak kamu akan mengetahui (akibat mendustakan) peringatanku (17)” (Q.S Al-Mulk: 16-17).

Beberapa penjelasan dari tafsir mengatakan bahwa ayat ini digunakan untuk memperingati manusia yang mendustakan perintah Allah SWT seperti dalam tafsir muyassar: yang menjelaskan bahwa pokok pembahasan ayat ini terletak pada peringatannya dan bencananya. Kalimat (فَإِذَا هِيَ تَمُورٌ) yang artinya maka secara tiba-tiba bumi akan bergoncang, kalimat ini menjadi pokok pembahasan dalam peristiwa bencana alam khususnya gempa bumi. Gempa bumi adalah salah satu keajaiban atau bencana alam yang tidak dapat di prediksi kapan terjadi dan tidak dapat di hindari, berbeda dengan bencana alam yang terjadi karena tindakan manusia seperti banjir yang diakibatkan karena membuang sampah sembarangan dan kebakaran hutan yang diakibatkan dari penebangan pohon secara sembarangan. gempa bumi dapat menyebabkan beberapa kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, hingga jatuhnya korban jiwa. (Aidh Al Qarni, 2008)

Gempa bumi didalam Al-Qur'an seringkali disamakan dengan sebuah bentuk peringatan, namun dari kejadian tersebut kita bisa mengambil hikmah dari dari musibah yang telah terjadi. Terdapat beberapa hikmah terjadinya gempa bumi, antara lain: (Shihab, 1994)

1. Gempa bumi merupakan peringatan yang diberikan oleh Allah dalam bentuk paling nyata, dan manusia tidak memiliki daya untuk menghadapinya. Oleh karena itu dianjurkan untuk selalu meminta perlindungan kepada Allah SWT.
2. Untuk media dalam menghapus dosa-dosa yang telah diperbuat.
3. Sebagai media untuk meningkatkan keimanan di sisi Allah.
4. Akan dicatat oleh Allah sebagai suatu perilaku kebaikan dan berharap berguna untuk penghapus kesalahan.
5. Pada saat menghadapi musibah selalu bersikap sabar dan tetap selalu berusaha tidak putus asa.
6. Belajar ikhlas dan ridho serta tidak membenci musibah yang diberikan oleh Allah
7. Manusia sebenarnya sedang diingatkan tentang sebagian bencana yang dapat terjadi sesuai kehendak Allah dan mengingatkan bahwa ada bencana yang lebih dahsyat dari gempa bumi yaitu terjadinya kiamat.

Setelah mengetahui makna ayat dan hikmahnya yang didapatkan tersebut, hendaknya kita berfikir secara bijaksana untuk menelaah tentang bencana yang terjadi disekitar kita, terutama bencana gempabumi. Oleh karena itu, dengan berkembangnya ilmu pengetahuan kita sebagai manusia yang mempunyai akal diharapkan mempunyai kesiapsiagaan dan memiliki upaya untuk meminimalisir potensi bahaya yang terjadi akibat bencana gempa bumi.

Allah SWT telah menciptakan makhluk yang memiliki kelebihan (manusia) yaitu dengan kesempurnaan akal sehingga mampu untuk mengembangkan kelebihan (ilmu pengetahuan) yang telah diberikan oleh Allah seperti yang telah dijelaskan dalam Q.S Al-Isra ayat 70:

وَلَقَدْ كَرَّمْنَا بَنِي آدَمَ وَحَمَلْنَاهُمْ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ وَرَزَقْنَاهُمْ مِنَ الطَّيِّبَاتِ  
وَفَضَّلْنَاهُمْ عَلَى كَثِيرٍ مِمَّنْ خَلَقْنَا تَفْضِيلًا (٧٠)

Artinya: *“Dan sesungguhnya telah Kami muliakan anak-anak Adam, Kami angkut mereka di daratan dan di lautan, Kami beri mereka rezeki dari yang baik-baik dan Kami lebihkan mereka dengan kelebihan yang sempurna atas kebanyakan makhluk yang telah Kami ciptakan.”* (Q.S. Al-Isra : 70)

Kalimat (وَفَضَّلْنَاهُمْ) wafadholnaahum yang artinya Kami melebihkan kepada mereka (manusia) yang memiliki kelebihan yang sempurna. Pada ayat ini dapat dijelaskan bahwasannya Allah telah menciptakan manusia dalam keadaan sempurna dibandingkan dengan makhluk ciptaan yang lain. Menurut tafsir Jalalain yang dimaksud dari Allah memberikan manusia kelebihan yang sempurna yaitu akal yang dipergunakan untuk menerima ilmu pengetahuan, bentuk yang paling baik setelah wafat jenazahnya dapat dianggap suci (Al-Mahalli, 2007).

Menurut pendapat Imam al-Ghazali (1996) akal terbagi menjadi empat pengertian, salah satunya yaitu akal merupakan sifat yang bisa membedakan manusia dengan binatang, hal ini merupakan kelebihan dari manusia yang dapat menerima dan memahami pengetahuan berdasarkan pemikiran, dan dari kelebihan akal tersebut diharapkan mampu menghasilkan produk-produk pemikiran yang canggih.

Bencana gempa bumi termasuk bencana yang tidak dapat dihindari dan dihentikan, tetapi manusia dituntut untuk berfikir dan mengembangkan ilmu pengetahuan sehingga dapat mengurangi kerusakan yang mungkin akan terjadi.

Sehingga perlu dilakukan upaya untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi. Dengan adanya penelitian ini yaitu dengan melakukan perhitungan percepatan getaran tanah maksimum yang menghasilkan nilai intensitas tanah maksimum dari setiap kecamatan di kota/kabupaten Daerah Istimewa Yogyakarta dan berfungsi untuk mengetahui bagaimana efek dari gempa bumi dan diharapkan dapat dijadikan referensi dalam upaya mitigasi bencana dengan memberikan hasil pemetaan wilayah yang termasuk rawan dan memiliki tingkat resiko kerusakan tinggi jika terjadi gempa bumi sehingga dapat memperkirakan kerusakan yang mungkin akan terjadi pada daerah tersebut dan mengurangi jumlah korban pada saat gempa bumi. Selain dari intensitas tanah maksimum, analisis gempa bumi yang pernah terjadi juga diperlukan untuk mengkombinasikan hasil analisis sehingga dapat membuat peta resiko bencana gempa bumi yang mendekati kenyataan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Nilai perhitungan Percepatan Getaran Tanah Maksimum yang didapatkan pada penelitian dengan menggunakan 3 metode atenuasi yaitu, nilai percepatan getaran tanah maksimum tertinggi dengan metode Donovan (1973) memiliki kisaran nilai antara 126 – 205 gal berada pada skala VII MMI yang ditunjukkan dengan warna merah pada pemetaan peta percepatan tanah maksimum. Sedangkan nilai percepatan getaran tanah maksimum tertinggi dengan metode Crouse (1991) memiliki kisaran nilai antara 177 – 292 gal berada pada skala VII MMI yang ditunjukkan dengan warna merah dan jingga pada pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum. Kemudian nilai percepatan getaran tanah maksimum tertinggi dengan metode Fukushima-Tanaka (1992) memiliki kisaran nilai antara 278 – 338 gal berada pada skala VIII MMI yang ditunjukkan dengan warna merah merah dan jingga pada pemetaan peta percepatan getaran tanah maksimum.
2. Wilayah yang diperkirakan mempunyai tingkat kerusakan tinggi akibat gempa bumi wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu Kecamatan Bambanglipuro, Bantul, Imogiri, Jetis, Kasihan, Kretek, Pandak, Pleret, Pundong, Sanden, Sedayu, Sewon, dan Srandakan Kabupaten Bantul, dan Kecamatan Lendah Kabupaten Kulon Progo, serta Kecamatan Paliyan Kabupaten Gunung Kidul.

## **5.2 Saran**

Perlu dilakukan penelitian berkelanjutan di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan tinjauan geologi daerah penelitian serta langkah mitigasi bencana. Alangkah lebih baik apabila parameter yang digunakan dalam pemetaan risiko gempa bumi ditambah dengan beberapa parameter kerentanan yang berbeda misalnya kemiringan tanah, tata penggunaan lahan pada tiap wilayah penelitian, jenis litologi agar hasil peta risiko gempa bumi yang dihasilkan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah. 2010. *Analisis Dan Keaktifan Resiko Gempa Bumi Pada Zona Subduksi Daerah Pulau Sumatra Dan Sekitarnya Dengan Metode Least Square*, Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Abdullah. 2003. *Lubaabut Tafsir Min Ibni Katsiir*, Bogor: Tim Pustaka Imam asy-Syafi'i.
- Abha, Muhammad Makmun. 2013. *Gempa bumi dalam Tafsir Al-Qur'an (Tafsir Tematik)*. ESENSIA Vol. XIV No. 1.
- Afnimar, 2009, *Seismologi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Agus. 2009. *Penerapan Metode Stacking dalam Pemrosesan Sinyal Seismik Laut di Perairan Barat Aceh*. Bogor: IPB
- Aidh Al-Qarni, 2008. *Tafsir Al-Muyassar*. Jakarta: Qisthi.
- Al-Mahalli, Imam Jalaluddin dan As-Suyuti. 2007. *Tafsir Jalalain*. Terj. Bahrn Abubakar. Bandung: Sinar Baru Al-gensindo.
- Allan, Ludman. 1982. *Physical Geology*. United States of America: McGraw-Hill, Inc.
- An-Najjar, Zaghul. 2006. *Pembuktian Sains dalam Sunnah*. Jakarta: Amzah Bandung.
- Badan Geologi. 2016. *10 Tahun Gempa Yogyakarta*. Geomagz Majalah Geologi Populer. 6 (2). ISSN: 2088-7906
- Baxter, S. 2000. *Earthquake Basics*. Delaware: University of Delaware Newark.
- Bemmelen R W, Van. 1949. *The Geology Indonesia*. Tha Hague Martinus.
- BMKG. 2010. *Kondisi Ekstrem dan Iklim Tahun 2010-2011*, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran Jakarta Pusat. Jakarta
- BNPB.. 2018. *Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta : BNPB Tim Penyusun Kajian Risiko Bencana
- BNPB. 2019. *Indeks Risiko Bencana Indoonesia*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana
- Bolt, B. A. 1978. *Earyhquake*. San Fransisco : W.H. Freeman & company.
- Bormann, Peter. 2002. *IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP Vol 1)*. Jakarta: P.D Hobie Karya.

- Budiono Bambang. 1989. *Analisis Percepatan Gempa di Rancang untuk Pusat Pembangkit Tenaga Nuklir*. Bandung : Institute Teknologi Bandung.
- Buha. M. Simanjuntak, C. Piccanusa. 1998. *Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa bumi Maluku dan Sekitarnya Periode 1900-1997*. Jakarta : Bulletin Meteorologi dan Geofisika No.4 tahun 1998.
- Daryono, Sutikno. dan Prayitni, Bambang Setio. 2009. *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempa bumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Delfebriyadi. 2008. *Studi Hazard Kegempaan Wilayah Provinsi Bantendan DKI Jakarta*. Jurnal teknik sipil Universitas Andalas, No. 30 Vol. 1 Thn. XV November 2008: 6 Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Don, L. & Florence Leet 2007. *Gempa bumi Penjelasan Ilmiah Sederhana Yogyakarta*. Kreasi Wacana.
- Edwiza, Daz. 2008. *Analisis Terhadap Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa SUMBAR*. No 29, Vol. 1.
- Elnashai, A. S and Sarno D. Luigi. 2008. *Fundamentals of Earthquakes Engineering*. Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wilts. England.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*.
- Frank Press and Raymond Siever. 1998. *Understanding Earth 3<sup>rd</sup> Ed.*, Freeman and Company, USA
- Gofar, Mohamad. 2008, *Gempa Bumi Dalam Perspektif al-Qur'an*, Yogyakarta: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Gustiana, dkk. 2018. *Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Gempa Kota Padang Menggunakan Rumusan Fukushima-Tanaka*. Jurnal Fisika Unand 7 (4): 346-352 ISSN: 2302-8491.
- Hadi, Arif Ismul., Muhammad Farid, dan Yulian Fauzi. 2012. *Pemetaan Percepatan Getaran Tanah dan Indeks Kerentanan Seismik Akibat Gempa bumi untuk Mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu*. Bengkulu: Jurnal Ilmu Fisika Universitas Bengkulu.
- Haris, Adam dan Irjan. 2013. *Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Wilayah Yogyakarta dengan Metode Atenuasi Patwardhan*. *Jurnal Neutrino*. Vol.5 No.2
- Hendrajaya, L dan Simpen I, Nengah. 1993. *Respon Teoritik Elektromagnet VLF Model Patahan dan Penerapannya pada Data Elektromagnet VLF dari*

*Daerah Panas Bumi Muaralaboh Sumatra Utara*. Medan : Jurusan Fisika FMIPA USU.

<http://repogempa.bmkg.go.id>.

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

<https://yogyakarta.bps.go.id>.

Husein, dkk. 2008. *A Short Note on the Seismic History of Yogyakarta Prior to the May 27, 2006 Earthquake*. The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006. Yogyakarta: Star Publishing Company Inc.

Ibrahim. 2004. *Al-Qur'an Tentang Alam Semesta*. Jakarta: Amzah

Idawati, M. 2005. *Studi Percepatan Tanah Maksimum Akibat Aktivitas Gempa Bumi Di Daerah Sulawesi Selatan*, Tugas Akhir Program Studi Geofisika, Makassar: UNHAS.

Imam al-Ghazali. 1996. *Ilmu dalam Perspektif Tasawuf al-Ghazali*, terj. Muhammad a-Baqir, Bandung: Karisma

Irsyam, M., dkk. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia*.

Ismail, Sulaiman. 1989. *Pendahuluan Seismologi Jilid ii A*, Balai Diklat Meteorologi Dan Geofisika, Jakarta: Departemen perhubungan. Jakarta : Badan Geologi (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral).

Kemenag dan LIPI. 2016. *Gunung Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains*. Jakarta: DIPA Lajnah Badan Litbang Pentashihan Mushaf Al-Qur'an

Kemenag RI. 2010. *Al Qur'an Tajwid dan Terjemahan*. Bandung: PT Sygma Examedia Arkanleema.

Kramer, S. L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall. Inc, London.

Kurniawan, dkk. 2017. *Pemetaan Daerah Rawan Resiko Bencana Gempa bumi Menggunakan Metode HVSR di Kotamadya Denpasar dan Sekitarnya, Bali*. 2 (1): 21-30 ISSN: 2477-7870.

Lee. W. H. K dan Stewart. S. W. 1981. *Principles and Applications of Microearthquake Network*. Inc : Academic Pres. Malang.

Muhaimin, dkk. 2016. *Analisis Risiko GEMPA BUMI Di Cilacap Provinsi Jawa Tengah*. IPB: Jurnal Ilmu tanah dan Lingkungan Vol. 18 No. 1

- Munawwir, Ahmad W. 1997. *Al-Munawwir Kamus Arab*, Yogyakarta: Pustaka Progresif.
- Munir, Badrul. 2015. *Penggunaan Data Gempa Dan Data Geologi Untuk Menganalisa Pola-Pola Sesar Di Daratan Pulau Sumatra*. Skripsi. Malang: Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang.
- Munir, M. 2003. *Geologi Lingkungan*. Bayumedia Publishing.
- Noor, D. 2003. *Geologi Lingkungan*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Noor, D. 2009. *Pengantar Geologi*. Bogor : Universitas Pakuan
- Nugraha,dkk. 2014. *Analisis Hazard Gempa Dan Isoleismal Untuk Wilayah Jawa – Bali – NTB*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 15 No. 1 tahun 2014 : 1-11.
- Nugroho, Budi Wibowo dan Juwita Nur Sembri. 2016. 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.5 No.1 April 2016: Hal 65
- Prasetya, Tiar. 2006. *Gempa bumi Ciri dan Cara Menanggulangnya*. Yogyakarta: Gitanagari.
- Prawirodikromo. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Priyono, K. D. Priyana. 2006. *Analisis Tingkat Bahaya Longsor Tanah di Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara*. Forum Geofisika 20: 175-189. Jakarta : Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Qutbh, Sayyid. 2001. *Fizalil-Qur'an IV*, dialih bahasakan oleh As'ad Yasin dan Abdul Aziz Salim Basyarahil, Jakarta: Gema Insani.
- Raharjo, Wartono et a.al. 1997. "*Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*".: Bandung (Jurnal Geologi Indonesia), Vol. 3 No. 4
- Rahman,dkk. 2015. Analisis Sistem Instrumen Meter P-Alert dan data hasil Pengukurannya. Pillar of Physics. Vol. 5. Rosdakarya.
- Sahil, Azharuddin. 2007. *Indeks Al-Qur'an Panduan Mudah Mencari Ayat Dan Kata Dalam Al-Qur'an*, Bandung: Mizan Pustaka.
- Said Muhammad. 1987. *Analisa Resiko Gempa bumi Pulau Jawa dan Sumatra*. Jakarta : Karya tulis Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

- Sanjaya, Irman. 2008. *Pengenalan Gempa bumi*. Yogyakarta: BMKG
- Setiyono, dkk. 2019. *Gempa Bumi Signifikandan Merusak 1821-2018*. Jakarta: BMKG.
- Shihab, M.Quraish. 1994. "*Lentera Hati, Kisah dan Hikmah Kehidupan*", Bandung: Mizan Pustaka
- Shihab, M.Quraish. 2002. *Tafsir al-Misbah Pesan Kesan Dan Keserasian al-Qur'an*, Jakarta: Lentera Hati.
- Soehaimi. 2008. *Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa*. Badan
- Subardjo, 2001, *Intensitas Seismik dan Percepatan Tanah untuk Beberapa Kota di Indonesia*, J. BMG., 2 (3): 37-41.
- Subardjo, 2004. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika
- Sunarjo, dkk. 2012. *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta : BMKG Pusat
- Supartoyo dkk. 2006. *Katalog Gempa Bumi Merusak di Indonesia*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta: Badan Geologi Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Susanto, A. 2011. *Perhitungan Percepatan Maksimum Berdasarkan Data Gempa (Tugas Akhir)*, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang : Semarang
- Telford, W. M. L. Geldart, dan R.E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics*. USA : Cambridge University Press.
- Tim Geofisika UGM. 2013. *Geophysics Expedition*. Yogyakarta: UGM.
- Tim Penyusun Kajian Resiko Bencana. 2018. *Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta : BNPB
- Tim Revisi Peta Gempa bumi Indonesia. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum.
- Tjasyono, Bayong. 2013. *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*. Bandung: PT. Remaja
- USGS. 2002. *Savage Earth Animations*. [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)
- Utoyo, 2007. *Geografi Untuk membuka Cakrawala Dunia*. Bandung : PT. Setia Purna Inves.

- Wald d. J., Quitoriano V., Heaton T. H, and Kanamori H. 1999. *Relationships Between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Modified Mercalli Intensity in California. Earthquake Spectra, 15 No. 3.*
- Wallace dan Thorne. 1995. *Modern Global Seismology*. USA : Academic Press.
- Waluyo. 2013. *Diktat Seismologi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wells, D.L., and Coppersmith, K.J., 1994. *New Empirical Relationships among Magnitudo, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*. Bulletin of the Seismological Society of Ameica, Vol. 84, No. 4,pp. 974-1002. Wiley. Hongkong.
- Zainatul, A. 2014. *Studi Percepatan Tanah Maksimum di Daerah Istimewa Yogyakarta Dengan Metode NGA (Next Generation Attenuation)*. Jurusan Fisika: Universitas Brawijaya Malang.

# LAMPIRAN

## Lampiran I

### Hasil Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) Metode Donovan

<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>PGA Donovan</b>
110.313008	-7.948303	181
110.40876	-7.815237	106
110.325584	-7.875459	138
110.438125	-7.802726	98
110.456	-7.632309	65
110.369607	-7.79329	103
110.412015	-7.761744	91
110.461893	-7.925676	128
110.199738	-7.959237	146
110.325025	-7.797095	106
110.628811	-7.81368	71
110.36216	-7.792375	103
110.175997	-7.753982	84
110.736086	-8.168714	62
110.290337	-7.766459	96
110.381523	-7.787551	100
110.368117	-7.799796	105
110.383002	-7.917584	151
110.363649	-7.783297	144
110.372581	-7.8972	100
110.461959	-7.739839	82
110.223651	-7.689913	75
110.676488	-7.934685	73
110.324929	-7.83467	119
110.104523	-7.839938	90
110.397907	-7.818891	108
110.363649	-7.809026	108
110.300965	-7.990902	206
110.199824	-7.917718	133
110.357691	-7.819618	112
110.373177	-7.815318	110
110.247479	-7.729886	85
110.336839	-7.728775	86
110.247479	-7.77105	95
110.205781	-7.788555	95
110.396418	-7.717399	82
110.359181	-7.800242	106

110.694367	-7.836043	64
110.456001	-7.704174	76
110.628811	-7.875383	77
110.295068	-7.872116	135
110.414292	-7.639487	67
110.374073	-7.799499	104
110.533464	-8.003894	112
110.289208	-7.929372	166
110.438125	-8.02945	158
110.152172	-7.920107	117
110.533464	-7.859657	94
110.158128	-7.832129	99
110.461959	-7.84269	105
110.545382	-7.931127	101
110.420163	-7.881314	126
110.724166	-7.973402	66
110.509628	-7.799136	87
110.336839	-7.96755	192
110.366628	-8.033129	204
110.748006	-8.095834	63
110.175998	-7.671669	70
110.264698	-7.971158	182
110.509628	-8.067044	120
110.247479	-7.832843	114
110.652778	-7.998326	79
110.736086	-7.88017	61
110.223651	-7.875262	125
110.36067	-7.852937	125
110.301094	-7.722105	85
110.348755	-7.68892	78
110.241522	-7.962064	166
110.581136	-8.083964	95
110.356202	-7.779809	99
110.074744	-7.887842	91
110.318966	-7.664695	73
110.652649	-8.121506	77
110.384502	-7.625549	66
110.387481	-7.81298	108
110.134303	-7.895198	107
110.350244	-7.803262	107
110.600883	-7.965541	90

## Lampiran II

### Hasil Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) Metode Crouse

<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>PGA Crouse</b>
110.313008	-7.948303	258
110.40876	-7.815237	176
110.325584	-7.875459	211
110.438125	-7.802726	168
110.456	-7.632309	125
110.369607	-7.79329	173
110.412015	-7.761744	159
110.461893	-7.925676	200
110.199738	-7.959237	219
110.325025	-7.797095	176
110.628811	-7.81368	134
110.36216	-7.792375	173
110.175997	-7.753982	151
110.736086	-8.168714	122
110.290337	-7.766459	165
110.381523	-7.787551	170
110.368117	-7.799796	175
110.383002	-7.917584	226
110.363649	-7.783297	218
110.372581	-7.8972	170
110.461959	-7.739839	147
110.223651	-7.689913	140
110.676488	-7.934685	136
110.324929	-7.83467	191
110.104523	-7.839938	158
110.397907	-7.818891	179
110.363649	-7.809026	179
110.300965	-7.990902	293
110.199824	-7.917718	206
110.357691	-7.819618	184
110.373177	-7.815318	181
110.247479	-7.729886	151
110.336839	-7.728775	153
110.247479	-7.77105	163
110.205781	-7.788555	164
110.396418	-7.717399	148
110.359181	-7.800242	176

110.694367	-7.836043	125
110.456001	-7.704174	140
110.628811	-7.875383	142
110.295068	-7.872116	208
110.414292	-7.639487	129
110.374073	-7.799499	175
110.533464	-8.003894	183
110.289208	-7.929372	241
110.438125	-8.02945	232
110.152172	-7.920107	189
110.533464	-7.859657	162
110.158128	-7.832129	168
110.461959	-7.84269	175
110.545382	-7.931127	171
110.420163	-7.881314	199
110.724166	-7.973402	128
110.509628	-7.799136	154
110.336839	-7.96755	273
110.366628	-8.033129	290
110.748006	-8.095834	123
110.175998	-7.671669	132
110.264698	-7.971158	259
110.509628	-8.067044	192
110.247479	-7.832843	185
110.652778	-7.998326	144
110.736086	-7.88017	121
110.223651	-7.875262	197
110.36067	-7.852937	198
110.301094	-7.722105	151
110.348755	-7.68892	142
110.241522	-7.962064	242
110.581136	-8.083964	164
110.356202	-7.779809	169
110.074744	-7.887842	159
110.318966	-7.664695	137
110.652649	-8.121506	142
110.384502	-7.625549	127
110.387481	-7.81298	178
110.134303	-7.895198	177
110.350244	-7.803262	178
110.600883	-7.965541	157

**Lampiran III**  
**Hasil Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) Metode**  
**Fukushima-Tanaka**

<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>PGA Fukushima</b>
110.313008	-7.948303	395
110.40876	-7.815237	338
110.325584	-7.875459	365
110.438125	-7.802726	331
110.456	-7.632309	284
110.369607	-7.79329	335
110.412015	-7.761744	322
110.461893	-7.925676	357
110.199738	-7.959237	371
110.325025	-7.797095	338
110.628811	-7.81368	296
110.36216	-7.792375	335
110.175997	-7.753982	314
110.736086	-8.168714	280
110.290337	-7.766459	328
110.381523	-7.787551	333
110.368117	-7.799796	337
110.383002	-7.917584	375
110.372581	-7.8972	370
110.363649	-7.783297	333
110.461959	-7.739839	311
110.223651	-7.689913	302
110.676488	-7.934685	298
110.324929	-7.83467	351
110.104523	-7.839938	321
110.397907	-7.818891	341
110.363649	-7.809026	341
110.300965	-7.990902	415
110.199824	-7.917718	362
110.357691	-7.819618	344
110.373177	-7.815318	342
110.247479	-7.729886	315
110.336839	-7.728775	317
110.247479	-7.77105	327
110.205781	-7.788555	327
110.396418	-7.717399	311
110.359181	-7.800242	338
110.694367	-7.836043	284
110.456001	-7.704174	302

110.628811	-7.875383	305
110.295068	-7.872116	363
110.414292	-7.639487	289
110.374073	-7.799499	337
110.533464	-8.003894	344
110.289208	-7.929372	385
110.438125	-8.02945	380
110.152172	-7.920107	349
110.533464	-7.859657	326
110.158128	-7.832129	331
110.461959	-7.84269	337
110.545382	-7.931127	334
110.420163	-7.881314	356
110.724166	-7.973402	288
110.509628	-7.799136	318
110.336839	-7.96755	404
110.366628	-8.033129	413
110.748006	-8.095834	281
110.175998	-7.671669	293
110.264698	-7.971158	396
110.509628	-8.067044	351
110.247479	-7.832843	346
110.652778	-7.998326	308
110.736086	-7.88017	279
110.223651	-7.875262	355
110.36067	-7.852937	355
110.301094	-7.722105	315
110.348755	-7.68892	305
110.241522	-7.962064	386
110.581136	-8.083964	328
110.356202	-7.779809	332
110.074744	-7.887842	323
110.318966	-7.664695	299
110.652649	-8.121506	305
110.384502	-7.625549	287
110.387481	-7.81298	340
110.134303	-7.895198	339
110.350244	-7.803262	340
110.600883	-7.965541	321

**Lampiran IV**  
**Hasil Scoring Peta Resiko Bencana Metode Donovan**

<b>KECAMATAN</b>	<b>INTENSITAS</b>	<b>KEPADATAN</b>	<b>KAPASITAS (IPM)</b>	<b>RESIKO</b>
Bambanglipuro	12	1.2	2	7.2
Banguntapan	8	1.2	2	4.8
Bantul	8	1.2	2	4.8
Berbah	8	1.2	2	4.8
Cangkringan	4	0.8	2	1.6
Danurejan	8	1.2	3	3.2
Depok	4	1.2	2	2.4
Dlingo	8	0.8	2	3.2
Galur	8	0.8	2	3.2
Gamping	8	1.2	2	4.8
Gedangsari	4	0.8	2	1.6
Gedongtengen	8	1.2	3	3.2
Girimulyo	4	0.4	2	0.8
Girisubo	4	0.4	2	0.8
Godean	8	1.2	2	4.8
Gondokusuman	8	1.2	3	3.2
Gondomanan	8	1.2	3	3.2
Imogiri	8	1.2	2	4.8
Jetis	8	1.2	2	4.8
Jetis	8	1.2	3	3.2
Kalasan	4	1.2	2	2.4
Kalibawang	4	0.8	2	1.6
Karangmojo	4	0.8	2	1.6
Kasihan	8	1.2	2	4.8
Kokap	4	0.4	2	0.8
Kotagede	8	1.2	3	3.2
Kraton	8	1.2	3	3.2
Kretek	12	1.2	2	7.2
Lendah	8	1.2	2	4.8
Mantrijeron	8	1.2	3	3.2
Mergangsan	8	1.2	3	3.2
Minggir	4	1.2	2	2.4
Mlati	4	1.2	2	2.4
Moyudan	8	1.2	2	4.8
Nanggulan	8	0.8	2	3.2
Ngaglik	4	1.2	2	2.4
Ngampilan	8	1.2	3	3.2

Ngawen	4	0.8	2	1.6
Ngemplak	4	0.8	2	1.6
Nglipar	4	0.4	2	0.8
Pajangan	8	1.2	2	4.8
Pakem	4	0.8	2	1.6
Pakualaman	8	1.2	3	3.2
Paliyan	8	1.2	2	4.8
Pandak	8	1.2	2	4.8
Panggang	8	0.4	2	1.6
Panjatan	8	0.8	2	3.2
Patuk	8	0.4	2	1.6
Pengasih	8	0.8	2	3.2
Piyungan	8	1.2	2	4.8
Playen	8	0.8	2	3.2
Pleret	8	1.2	2	4.8
Ponjong	4	0.8	2	1.6
Prambanan	4	1.2	2	2.4
Pundong	12	1.2	2	7.2
Purwosari	12	0.4	2	2.4
Rongkop	4	0.4	2	0.8
Samigaluh	4	0.4	2	0.8
Sanden	12	1.2	2	7.2
Saptosari	8	0.4	2	1.6
Sedayu	8	1.2	2	4.8
Semanu	4	0.8	2	1.6
Semin	4	0.8	2	1.6
Sentolo	8	0.8	2	3.2
Sewon	8	1.2	2	4.8
Seyegan	4	1.2	2	2.4
Sleman	4	1.2	2	2.4
Srandakan	8	1.2	2	4.8
Tanjungsari	8	0.4	2	1.6
Tegalrejo	8	1.2	3	3.2
Temon	4	0.8	2	1.6
Tempel	4	1.2	2	2.4
Tepus	4	0.4	2	0.8
Turi	4	0.8	2	1.6
Umbulharjo	8	1.2	3	3.2
Wates	8	1.2	2	4.8
Wirobrajan	8	1.2	3	3.2
Wonosari	4	1.2	2	2.4

**Lampiran V**  
**Hasil Scoring Peta Resiko Bencana Metode Crouse**

<b>KECAMATAN</b>	<b>INTENSITAS</b>	<b>KEPADATAN</b>	<b>KAPASITAS (IPM)</b>	<b>RESIKO</b>
Bambanglipuro	12	1.2	2	7.2
Banguntapan	8	1.2	2	4.8
Bantul	12	1.2	2	7.2
Berbah	8	1.2	2	4.8
Cangkringan	8	0.8	2	3.2
Danurejan	8	1.2	3	3.2
Depok	8	1.2	2	4.8
Dlingo	12	0.8	2	4.8
Galur	12	0.8	2	4.8
Gamping	8	1.2	2	4.8
Gedangsari	8	0.8	2	3.2
Gedongtengen	8	1.2	3	3.2
Girimulyo	8	0.4	2	1.6
Girisubo	8	0.4	2	1.6
Godean	8	1.2	2	4.8
Gondokusuman	8	1.2	3	3.2
Gondomanan	8	1.2	3	3.2
Imogiri	12	1.2	2	7.2
Jetis	12	1.2	2	7.2
Jetis	8	1.2	3	3.2
Kalasan	8	1.2	2	4.8
Kalibawang	8	0.8	2	3.2
Karangmojo	8	0.8	2	3.2
Kasihan	12	1.2	2	7.2
Kokap	8	0.4	2	1.6
Kotagede	8	1.2	3	3.2
Kraton	8	1.2	3	3.2
Kretek	12	1.2	2	7.2
Lendah	12	1.2	2	7.2
Mantrijeron	12	1.2	3	4.8
Mergangsan	12	1.2	3	4.8
Minggir	8	1.2	2	4.8
Mlati	8	1.2	2	4.8
Moyudan	8	1.2	2	4.8
Nanggulan	8	0.8	2	3.2
Ngaglik	8	1.2	2	4.8
Ngampilan	8	1.2	3	3.2

Ngawen	8	0.8	2	3.2
Ngemplak	8	0.8	2	3.2
Nglipar	8	0.4	2	1.6
Pajangan	12	1.2	2	7.2
Pakem	8	0.8	2	3.2
Pakualaman	8	1.2	3	3.2
Paliyan	12	1.2	2	7.2
Pandak	12	1.2	2	7.2
Panggung	12	0.4	2	2.4
Panjatan	12	0.8	2	4.8
Patuk	8	0.4	2	1.6
Pengasih	8	0.8	2	3.2
Piyungan	8	1.2	2	4.8
Playen	8	0.8	2	3.2
Pleret	12	1.2	2	7.2
Ponjong	8	0.8	2	3.2
Prambanan	8	1.2	2	4.8
Pundong	12	1.2	2	7.2
Purwosari	12	0.4	2	2.4
Rongkop	8	0.4	2	1.6
Samigaluh	8	0.4	2	1.6
Sanden	12	1.2	2	7.2
Saptosari	12	0.4	2	2.4
Sedayu	12	1.2	2	7.2
Semanu	8	0.8	2	3.2
Semin	8	0.8	2	3.2
Sentolo	12	0.8	2	4.8
Sewon	12	1.2	2	7.2
Seyegan	8	1.2	2	4.8
Sleman	8	1.2	2	4.8
Srandakan	12	1.2	2	7.2
Tanjungsari	8	0.4	2	1.6
Tegalrejo	8	1.2	3	3.2
Temon	8	0.8	2	3.2
Tempel	8	1.2	2	4.8
Tepus	8	0.4	2	1.6
Turi	8	0.8	2	3.2
Umbulharjo	8	1.2	3	3.2
Wates	8	1.2	2	4.8
Wirobrajan	8	1.2	3	3.2
Wonosari	8	1.2	2	4.8

## Lampiran VI

### Hasil Scoring Peta Resiko Bencana Metode Fukushima-Tanaka

KECAMATAN	INTENSITAS	KEPADATAN	KAPASITAS (IPM)	RESIKO
Bambanglipuro	12	1.2	2	7.2
Banguntapan	8	1.2	2	4.8
Bantul	12	1.2	2	7.2
Berbah	8	1.2	2	4.8
Cangkringan	8	0.8	2	3.2
Danurejan	8	1.2	3	3.2
Depok	8	1.2	2	4.8
Dlingo	12	0.8	2	4.8
Galur	12	0.8	2	4.8
Gamping	8	1.2	2	4.8
Gedangsari	8	0.8	2	3.2
Gedongtengen	8	1.2	3	3.2
Girimulyo	8	0.4	2	1.6
Girisubo	8	0.4	2	1.6
Godean	8	1.2	2	4.8
Gondokusuman	8	1.2	3	3.2
Gondomanan	8	1.2	3	3.2
Imogiri	12	1.2	2	7.2
Jetis	12	1.2	2	7.2
Jetis	8	1.2	3	3.2
Kalasan	8	1.2	2	4.8
Kalibawang	8	0.8	2	3.2
Karangmojo	8	0.8	2	3.2
Kasih	12	1.2	2	7.2
Kokap	8	0.4	2	1.6
Kotagede	12	1.2	3	4.8
Kraton	12	1.2	3	4.8
Kretek	12	1.2	2	7.2
Lendah	12	1.2	2	7.2
Mantrijeron	12	1.2	3	4.8
Mergangsan	12	1.2	3	4.8
Minggir	8	1.2	2	4.8
Mlati	8	1.2	2	4.8
Moyudan	8	1.2	2	4.8
Nanggulan	8	0.8	2	3.2
Ngaglik	8	1.2	2	4.8
Ngampilan	8	1.2	3	3.2
Ngawen	8	0.8	2	3.2

Ngemplak	8	0.8	2	3.2
Nglipar	8	0.4	2	1.6
Pajangan	8	1.2	2	4.8
Pakem	8	0.8	2	3.2
Pakualaman	8	1.2	3	3.2
Paliyan	12	1.2	2	7.2
Pandak	12	1.2	2	7.2
Panggang	12	0.4	2	2.4
Panjatan	12	0.8	2	4.8
Patuk	8	0.4	2	1.6
Pengasih	8	0.8	2	3.2
Piyungan	8	1.2	2	4.8
Playen	8	0.8	2	3.2
Pleret	12	1.2	2	7.2
Ponjong	8	0.8	2	3.2
Prambanan	8	1.2	2	4.8
Pundong	12	1.2	2	7.2
Purwosari	12	0.4	2	2.4
Rongkop	8	0.4	2	1.6
Samigaluh	8	0.4	2	1.6
Sanden	12	1.2	2	7.2
Saptosari	12	0.4	2	2.4
Sedayu	12	1.2	2	7.2
Semanu	8	0.8	2	3.2
Semin	8	0.8	2	3.2
Sentolo	12	0.8	2	4.8
Sewon	12	1.2	2	7.2
Seyegan	8	1.2	2	4.8
Sleman	8	1.2	2	4.8
Srandakan	12	1.2	2	7.2
Tanjungsari	8	0.4	2	1.6
Tegalrejo	8	1.2	3	3.2
Temon	8	0.8	2	3.2
Tempel	8	1.2	2	4.8
Tepus	8	0.4	2	1.6
Turi	8	0.8	2	3.2
Umbulharjo	8	1.2	3	3.2
Wates	8	1.2	2	4.8
Wirobrajan	8	1.2	3	3.2
Wonosari	8	1.2	2	4.8



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

**Nama** : Siti Muhimmatul Aliyah  
**NIM** : 17640004  
**Fakultas/ Jurusan** : Sains dan Teknologi/ Fisika  
**Judul Skripsi** : Pemetaan Tingkat Resiko Akibat Gempa Bumi Di  
Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan  
Pola Percepatan Tanah Maksimum  
(Studi Kasus Data Gempa Bumi Tahun 1969 – 2019)  
**Pembimbing I** : Drs. Abdul Basid, M.Si  
**Pembimbing II** : Dr. Erna Hastuti, M.Si

NO	Tanggal	Materi Konsultasi	Tanda Tangan
1	03 Maret 2021	Konsultasi BAB I, II, dan III	
2	22 Maret 2021	Konsultasi BAB I, II, III dan ACC	
3	6 September 2021	Konsultasi Data Hasil Penelitian	
4	15 September 2021	Konsultasi BAB IV	
5	22 Oktober 2021	Konsultasi Kajian Agama BAB I, II, dan IV ✓	
6	25 Oktober 2021	Konsultasi BAB IV dan ACC	
7	24 November 2021	Konsultasi Revisi Kajian Agama ✓	
8	6 Desember 2021	Konsultasi Semua BAB dan ACC	
9	16 Desember 2021	Konsultasi Revisi Kajian Agama dan ACC ✓	

Malang, 23 Desember 2021  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002