

**ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM UNTUK PEMETAAN
RISIKO GEMPA BUMI DI PROVINSI JAWA TENGAH**

SKRIPSI

Oleh:
AMALIA HIDAYATI
NIM. 16640048



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM UNTUK PEMETAAN
RISIKO GEMPA BUMI DI PROVINSI JAWA TENGAH**

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:
AMALIA HIDAYATI
NIM. 16640048**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM UNTUK PEMETAAN RISIKO GEMPA BUMI DI PROVINSI JAWA TENGAH

SKRIPSI

Oleh:

Amalia Hidayati
NIM. 16640048

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada tanggal 05 Desember 2020

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



Ahmad Abthoki, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



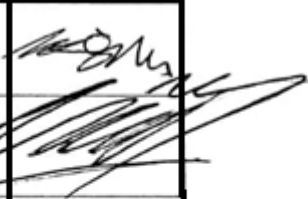

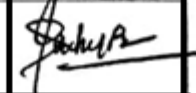

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM UNTUK PEMETAAN
RISIKO GEMPA BUMI DI PROVINSI JAWA TENGAH

SKRIPSI

Oleh:
Amalia Hidayati
NIM. 16640048

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S,Si)
Pada tanggal: 22 Desember 2020

<u>Penguji Utama</u> :	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
<u>Ketua Penguji</u> :	<u>Rusli, M.Si</u> NIDT. 19880715 20180201 1 245	
<u>Sekretaris Penguji</u> :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
<u>Anggota Penguji</u> :	<u>Ahmad Abthoki, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



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

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amalia Hidayati
NIM : 16660048
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Analisis Percepatan Tanah Maksimum Untuk Pemetaan
Risiko Gempa Bumi Di Provinsi Jawa Tengah

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dibuktikan skripsi ini hasil contekan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 23 Desember 2020
Yang membuat pernyataan


Amalia Hidayati
NIM. 16640048

MOTTO

“Jika Allah menolong kamu, maka tidak ada yang dapat mengalahkanmu, Tetapi jika Allah membiarkan kamu (tidak memberi pertolongan), maka siapa yang akan menolongmu setelah itu? Karena itu, hendaklah kepada Allah saja orang – orang mukmin bertawakal”. (Qs. Al- Imran : 160)

-Hanya kepada Allah lah kita meminta pertolongan dan hanya berharap
kepadaNya-

Tetaplah berusaha dan berjuang dalam keadaan apapun. Dan jangan menggantungkan sesuatu terhadap orang lain. Ingat, pertolongan Allah sangat dekat. Allah akan menolong hambanya yang mau berusaha dan terus berdoa
kepadaNya.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada
Orang yang sangat saya sayangi, Ayah dan Ibu
Beliau yang selalu mendoakan, dan tak pernah lelah bekerja demi melihat saya
bisa terus belajar sampai sejauh ini, Terimakasih atas segalanya.

Teruntuk adik kandung, Sahabat Fisika 2016, serta Keluarga Rumah Tahfidz
Ummairah Yang selalu menyemangati dan selalu mendoakan saya.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, kelancaran, solusi yang terbaik, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul “Analisis Percepatan Tanah Maksimum Untuk Pemetaan Risiko Gempa bumi Di Provinsi Jawa Tengah”. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang pencerahan dan penuh dengan ilmu pengetahuan yang luar biasa saat ini.

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

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag., 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. Drs. Abdul Basid, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang beserta pembimbing I skripsi.
4. Ahmad Abthoki, M.Pd., selaku dosen pembimbing II skripsi.
5. Pak Irjan, M.Si dan Pak Rusli, M.Si., selaku dosen peminatan geofisika yang telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Segenap Dosen dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Pak Tofa, selaku pembimbing dari BMKG Kelas II Tretes Jawa Timur, yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
8. Kedua Orang Tua dan Adik yang selalu mendoakan serta memberi dukungan.
9. Ustadz Sholihin dan Ustadzah Nikmah yang selalu mendoakan dan menyemangati
10. Sahabat Ummairah Nisa, Mbak Mita, Mbak Romlah, Afifah, April, Aisyah di Rumah Tahfidz Ummairah yang selalu mendoakan dan menyemangati penulis setiap harinya.

11. Sahabat geofisika Rika, Winda, Ocha, dan lainnya yang selalu menyemangati penulis.
12. Teman-teman Fisika angkatan 2016 (Yessy, Hazwani, Fita, Hanif, Mahar, Hani, Nurul, Afina, Naila) dan teman-teman lainnya.
13. Kakak tingkat geofisika (Mbak Septi, Mbak Indana, Mas Dimas) dan yang lainnya yang selalu membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Serta semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka dengan nikmat yang berlipat ganda baik di dunia maupun di akhirat kelak, aamiin. Penulisan berharap semoga Skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca, dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 23 Desember 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Teori Lempeng Tektonik	6
2.2 Macam – Macam Gerakan Lempeng Bumi	6
2.2.1 Gerakan Divergen	6
2.2.2 Gerakan Konvergen	7
2.2.3 Gerakan Transform/Slip	8
2.3 Pengertian Gempa Bumi	9
2.4 Jenis Gempa bumi	10
2.5 Mekanisme Gempa bumi	12
2.6 Tahapan – Tahapan Kejadian Gempa bumi	13
2.7 Sumber Gempa	15
2.8 Gelombang Seismik (Gelombang Gempa)	17
2.9 Karakteristik Gelombang Seismik	18
2.10 Elastisitas Batuan	20
2.11 Parameter Gempa bumi	22
2.12 Fungsi Atenuasi	29
2.13 Daerah Geologi Wilayah Jawa Tengah	35
2.14 Tingkat Risiko Gempa bumi di Jawa Tengah	37
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	40
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	40
3.3 Jenis Data	40
3.4 Perhitungan dan Input Data	41
3.5 Diagram Alir	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Tahapan Pengolahan Data	45
4.2 Analisis Data dan Pembahasan	54
4.2.1 Analisis Peta Percepatan Tanah Maksimum	55

4.2.2 Analisis Peta Risiko Akibat Gempa bumi	63
4.3 Gempa bumi dalam Al-Qur'an	70
4.4 Hikmah Di Balik Terjadinya Gempa Bumi	72
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gerakan dan Interaksi Divergen.....	8
Gambar 2.2	Gerakan Konvergen.....	8
Gambar 2.3	Gerakan Transform	9
Gambar 2.4	Ilustrasi Titik Hiposenter dan Episenter Gempa bumi	11
Gambar 2.5	Aktivitas Vulkanik	13
Gambar 2.6	Tahapan Terjadinya Gempa	16
Gambar 2.7	Ilustrasi Lepasnya Sejumlah Energi Gempa	17
Gambar 2.8	Penampakan Gelombang Seismik.....	20
Gambar 2.9	Pembagian Gelombang Gempa.....	21
Gambar 2.10	Perambatan Gelombang Primer	22
Gambar 2.11	Perambatan Gelombang Sekunder	22
Gambar 2.12	Skema Proporsi Stress dan Strain.....	24
Gambar 2.13	Peta Lembar Geologi Jawa Tengah	38
Gambar 2.14	Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 4.1	Posisi Gempa di Wilayah Penelitian	49
Gambar 4.2	Titik Grid Penelitian di Provinsi Jawa Tengah	50
Gambar 4.3	Tampilan dalam Arc GIS	53
Gambar 4.4	Tampilan grid data dalam Arc GIS	53
Gambar 4.5	Tampilan grid data dengan peta shp Jawa Tengah dalam Arc GIS 10.4.....	54
Gambar 4.6	Tampilan Tahap Interpolasi dengan IDW	54
Gambar 4.7	Tampilan dalam Arc GIS Hasil Interpolasi.....	55
Gambar 4.8	Hasil Editing.....	55
Gambar 4.9	Segmen Subduksi di Indonesia Sumber : Kompas.com.....	56
Gambar 4.10	Peta Percepatan maksimum Metode Crouse (1991)	58
Gambar 4.11	Peta Percepatan maksimum Metode Fukushima-Tanaka.....	60
Gambar 4.12	Peta Percepatan maksimum Metode Donovan (1973)	62
Gambar 4.13	Peta Risiko Gempa bumi Model Crouse (1991)	66
Gambar 4.14	Peta Risiko Gempa bumi Model Fukushima-Tanaka (1992).....	67
Gambar 4.15	Peta Risiko Gempa bumi Model Donovan (1973).....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Harga Dari Konstanta Elastik Batuan Pada Kedalaman 30 M.....	24
Tabel 2.2 Jenis – Jenis Magnitudo Gempa	26
Tabel 2.3 Korelasi Konversi Magnitudo.....	27
Tabel 2.4 Konversi nilai PGA ke Intensitas.....	29
Tabel 2.5 Skala MMI	30
Tabel 2.6 Scoring Komponen Penyusun Resiko Gempa bumi	40
Tabel 2.7 Variabel – Variabel yang Berpengaruh terhadap Kerentanan Bencana Gempa bumi Tektonik	41
Tabel 4.1 Data gempa bumi merusak Wilayah Jawa Tengah	48
Tabel 4.2 Hasil Nilai PGA Menggunakan Model Crouse.....	59
Tabel 4.3 Hasil Nilai PGA Menggunakan Model Fukushima – Tanaka	61
Tabel 4.4 Hasil Nilai PGA Menggunakan Model Donovan	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Hasil Nilai PGA dengan Metode Crouse
Lampiran II	Hasil Nilai PGA dengan Metode Fukushima – Tanaka
Lampiran III	Hasil Nilai PGA dengan Metode Donovan
Lampiran IV	Hasil Scoring Peta Risiko Model Crouse
Lampiran V	Hasil Scoring Peta Risiko Model Fukushima – Tanaka
Lampiran VI	Hasil Scoring Model Donovan

ABSTRAK

Hidayati, Amalia. 2020. **Analisis Percepatan Tanah Maksimum Untuk Pemetaan Risiko Gempa Bumi Di Provinsi Jawa Tengah**. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing : (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Ahmad Abthoki, M.Pd

Kata Kunci : Gempa bumi, Percepatan Tanah Maksimum, Risiko gempa bumi

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai percepatan tanah maksimum dan pola peta Risiko gempa bumi di Jawa Tengah berdasarkan data gempa bumi tahun 1970 –2020 (Agustus) dengan menggunakan Metode Crouse, Fukushima-Tanaka dan Donovan. Historis data gempa diperoleh dari katalog USGS dan BMKG. Batasan wilayah penelitian yaitu $6,432^0$ LS – $9,429^0$ LS dan $108,676^0$ BT – $111,507^0$ BT. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah maksimum (PGA) tertinggi dengan Metode Crouse sebesar 92–180 gal dan intensitas maksimumnya VI-VII MMI. Sedangkan nilai percepatan tanah maksimum dengan Metode Fukushima-Tanaka berkisar 204-304 gal dan intensitas maksimumnya VII MMI. Untuk nilai percepatan maksimum menggunakan Metode Donovan berkisar 92-107 gal dengan intensitas maksimumnya VI MMI. Berdasarkan hasil dari ketiga metode tersebut dapat dikorelasikan dengan data historis gempa bumi merusak di Jawa Tengah, dan didapatkan metode yang sesuai dengan keadaan wilayah Jawa tengah yaitu Metode Crouse. Wilayah di Jawa Tengah yang berisiko tinggi akibat gempa bumi yaitu Klaten, Banyumas, Brebes, Kab. Magelang, Kota Magelang, Kab. Semarang, Demak, Sukoharjo, dan Karanganyar. Tingginya Risiko tersebut disebabkan karena intensitas maksimum dan kepadatan penduduk yang tinggi.

ABSTRACT

Hidayati, Amalia. 2020. **Analysis of Maximum Ground Acceleration for Earthquake Risk Mapping in Central Java Province**. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Islamic State University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisors: : (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Ahmad Abthoki, M.Pd

Keywords : Earthquake, Maximum Ground Acceleration, Risk of Earthquake

This research aims to determine the value of maximum ground acceleration and the pattern of earthquake risk maps in Central Java based on earthquake data period 1970-2020 (August) using Crouse, Fukushima-Tanaka and Donovan method. Historical earthquake data are obtained from the USGS catalogs and BMKG catalogs. The territorial boundaries are $6,432^{\circ}$ LS – $9,429^{\circ}$ LS dan $108,676^{\circ}$ BT – $111,507^{\circ}$ BT. The analysis results show the maximum ground acceleration using Crouse method ranges between 92–180 gal and maximum earthquake intensity VI-VII MMI. Meanwhile, the maximum ground acceleration with Fukushima-Tanaka method ranges between 204-304 gal and maximum earthquake intensity VII MMI. For the maximum ground acceleration with Donovan method ranges between 92-107 gal and maximum earthquake intensity VI MMI. Based on the results of the three methods, it can be correlated with historical data of destructive earthquakes in Central Java, And a method that is suitable for the condition of Central Java region is Crouse method. The region in Central Java that are at high risk of earthquakes are Klaten, Banyumas, Brebes, Kab. Magelang, Magelang City, Semarang Districts, Demak, Sukoharjo, and Karanganyar. The maximum intensity and high population density effect the level high risk earthquake.

مستخلص البحث

هدايتى ، أماليا. 2020. تحليل التسارع الأرضي الأقصى لرسم خرائط مخاطر الزلازل في مقاطعة جاوى الوسطى. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: د. عبد البسيط الماجستير، المشرف الثاني: أحمد أبطاقي الماجستير

الكلمات المفتاحية: الزلازل، التسارع الأرضي الأقصى، مخاطر الزلازل

يهدف هذا البحث إلى تعيين قيمة التسارع الأرضي الأقصى ونمط خرائط مخاطر الزلازل في جاوى الوسطى اعتماداً على بيانات الزلازل للأعوام 1970-2020 (أغسطس) باستخدام طريقة كراوس وفوكوشيماناكا، ودونوفان. تم الحصول على بيانات الزلازل التاريخية من فهرس المسح الجيولوجي للولايات المتحدة ومجلس الأرصاد الجوية وعلم المناخ والجيوفيزياء. كان حدود منطقة البحث هي 108.6760 لخط الطول - 111.5070 لخط الطول و6.4320 - لخط العرض - 9.4290 لخط العرض. دلت نتائج التحليل على أن قيمة التسارع الأرضي الأقصى أعلىها نسبةً هي باستخدام طريقة كراوس الذي بلغت نسبتها إلى 92-180 جالوناً وكان الحد الأقصى للكثافة هو VI-VII MMI. أما قيمة التسارع الأرضي الأقصى باستخدام طريقة فوكوشيماناكا بلغت نسبتها إلى 204-304 جالوناً وكان الحد الأقصى للكثافة هو VII MMI. أما قيمة التسارع الأرضي الأقصى باستخدام طريقة دونوفان بلغت نسبتها إلى 92 إلى 107 جالوناً وكان الحد الأقصى للكثافة هو VI MMI. انطلاقاً من نتائج الطرق الثلاث، يمكن ربطها بالبيانات التاريخية للزلازل المدمرة في جاوى الوسطى ويتم الحصول على طريقة مناسبة لحالة منطقة جاوى الوسطى وهي تتمثل في طريقة كراوس. إن المناطق في جاوى الوسطى التي لها نسبة الخطر الكبيرة بسبب الزلازل هي كلاتين وبانجوماس وبريس وماجيلانج وسيمارانج وديماك وسوكوهارجو وكارانجانجا. يتسبب كيان الخطر إلى الكثافة القصوى والكثافة السكانية العالية.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia merupakan wilayah yang sangat kompleks dan aktif sehingga dapat menghasilkan gempa besar dan dapat menimbulkan bencana yang merusak. Gempa-gempa di Indonesia sering terjadi akibat pergeseran plat tektonik. Menurut Makrup (2013), terdapat 3 plat tektonik besar yang bertumbukan dengan Indonesia yaitu Plat Australia, India, dan Eurasia dan sembilan plat kecil yaitu Plat Birma, Laut Maluku, Laut Banda, Timor, Filipina, Caroline, Mauke dan Plat Woodlark. Plat ini bergerak dengan berbagai tipe pergerakan yang berbeda dan telah membentuk zona gempa subduksi dan zona patahan.

Allah SWT berfirman dalam Al-Qur'an Surah An-Naml ayat 88 tentang fenomena lempeng bumi,

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي لَئِنْ لَمْ يَرْحَمْ لَأَرْحَمَنَّ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ حَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ

Artinya :

Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap pada 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.

Pada surah An-Naml ayat 88 menjelaskan bahwa gunung-gunung yang berjalan bagaikan awan tersebut adalah suatu perwujudan atau manifestasi adanya gerakan-gerakan lempeng tektonik benua maupun lempeng samudra. Semua gunung-gunung di bumi terletak diatas lempeng-lempeng tektonik tersebut. Pergerakan lempeng tektonik inilah yang menghasilkan suatu energi ke permukaan bumi dan menyebabkan gempa bumi tektonik.

Zona Selatan Jawa merupakan bagian dari kerangka tektonik Indonesia. Daerah ini termasuk jalur pertemuan lempeng yang bersifat konvergen, dimana

Lempeng Indo-Australia, menyusup ke bawah Lempeng Eurasia dengan kecepatan 50-70 mm/tahun. Pergerakan lempeng ini mengakibatkan Zona Selatan Jawa sebagai salah satu daerah yang memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi di Indonesia. Pergerakan Lempeng Indo-Australia menyusup ke bawah Lempeng Eurasia ditandai dengan adanya palung samudra. Sistem subduksi ini mulai menunjam ke bawah di sepanjang laut dalam zona penunjaman ini sering disebut sebagai *Zona Megatrust* yang merupakan sumber gempa bumi yang menyebabkan tsunami. Di samping jalur subduksi di Zona Selatan Jawa, sesar-sesar aktif di Jawa dapat mengakibatkan gempa bumi (Daryono,dkk, 2015).

Daerah Jawa Tengah merupakan bagian dari lempeng Benua Eurasia yang terletak berdekatan dengan zona subduksi. Zona subduksi di selatan Pulau Jawa mengakibatkan terjadinya patahan- patahan aktif Pulau Jawa khususnya Wilayah Jawa Tengah meliputi Yogyakarta. Hal ini yang mengakibatkan daerah tersebut menjadi daerah rawan gempa bumi dan tsunami. Gempa bumi yang pernah terjadi di Yogyakarta pada tahun 2006 menewaskan \pm 6000 orang. BMKG mencatat gempa ini berkuatan 5,9 Mw dan USGS mencatat 6,9 Mw. Gempa ini sangat mengagetkan warga Yogyakarta dan Jawa Tengah karena pada saat itu pemerintah sedang fokus dalam upaya mitigasi letusan Gunung Merapi (GEOMAGZ, 2016).

Gejala alam ini masih sangat sulit diprediksi dan kerap kali menimbulkan bencana yang dapat mengakibatkan tsunami dengan tingkat kerusakan tinggi dan menelan korban jiwa. Oleh karena itu diperlukan upaya mitigasi bencana melalui identifikasi daerah rawan bencana gempa bumi dengan mengetahui nilai percepatan getaran tanah maksimum, melakukan kegiatan perencanaan pembangunan, tata ruang wilayah berbasis kebencanaan, pembuatan peta jalur

dan pemasangan rambu-rambu untuk evakuasi, dan sosialisasi mengenai simulasi untuk menghadapi bencana (Sili, 2013).

Gempa bumi yang terjadi akan memberikan satu nilai percepatan tanah di suatu tempat. Nilai percepatan atau gerakan tanah juga disebut *ground motion attenuation*. Tempat – tempat tersebut akan memiliki satu nilai percepatan tanah terbesar akibat gempa bumi yang pernah terjadi. Nilai percepatan tanah maksimum penting untuk diketahui agar dapat memprediksi seberapa kuat getaran tanah dan efek yang dirasakan ketika terjadi gempa bumi (Sari, 2017).

Atenuasi atau percepatan gerakan tanah adalah rumusan suatu gerakan tanah akibat gempa (percepatan, kecepatan, dan simpangan). Secara matematis dapat dijelaskan bahwa atenuasi gerakan tanah adalah suatu hubungan antara parameter gempa (percepatan, kecepatan, simpangan, intensitas gempa, magnitudo gempa) dengan jarak lokasi pencatat gempa (jarak episenter, jarak hiposenter, jarak terdekat). Dengan rumusan atenuasi yang sudah diketahui maka gerakan tanah ataupun intensitas gempa di suatu tempat relatif terhadap sumber gempa dapat diprediksi (Prawirodikromo, 2012).

Penelitian terdahulu yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Wibowo, 2017) mengenai analisis seismisitas dan energi gempa bumi di kawasan jalur Sesar Opak-Oyo Yogyakarta menggunakan metode *least square*. Hasil penelitian tersebut yaitu peta seismisitas kawasan Sesar Opak-Oyo menunjukkan distribusi episenter lebih banyak di sebelah timur dan tenggara jalur Sesar Opak-Oyo yang sebagian besar berada pada Formasi Wonosari. Penelitian juga dilakukan oleh (Sehah, 2012) di Banyumas, Jawa Tengah menggunakan Metode Fukushima dan Tanaka. Hasil

penelitian yaitu semakin ke arah tenggara Wilayah Banyumas maka tingkat resikonya semakin besar.

Hal yang mendasari pentingnya dilakukan penelitian ini yaitu upaya mitigasi gempa bumi harus dilakukan secara terus menerus dan bertujuan untuk meminimalisir resiko bencana gempa bumi di Wilayah Jawa Tengah. Bencana gempa bumi terjadi setiap waktu dan tidak dapat diprediksi dengan tepat kapan terjadinya. Dengan memanfaatkan data historis gempa diharapkan penelitian ini dapat digunakan untuk langkah awal dalam mitigasi bencana di Wilayah Jawa Tengah.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa nilai percepatan tanah maksimum di Wilayah Jawa Tengah?
2. Bagaimana model peta resiko gempa bumi di Wilayah Jawa Tengah?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai percepatan tanah maksimum di Wilayah Jawa Tengah.
2. Mengetahui daerah rawan gempa berdasarkan peta resiko gempa bumi di Wilayah Jawa Tengah.

1.4 Batasan Masalah

1. Data gempa pada zona subduksi yang digunakan berasal dari katalog gempa BMKG dan USGS dengan rentang tahun 1970-2020.
2. Metode yang digunakan yaitu Crouse (1991), Fukushima-Tanaka (1992) dan Donovan (1973).
3. Magnitudo yang digunakan ($M \geq 5$).
4. Kedalaman gempa yang digunakan merupakan gempa dangkal yang bersifat gempa merusak yaitu (0-60) Km.
5. Wilayah daerah penelitian adalah Jawa Tengah dengan koordinat $108,676^0$ BT – $111,507^0$ BT dan $6,432^0$ LS - $9,429^0$ LS.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis

Manfaat yang dapat diambil oleh penulis yaitu mengetahui cara menghitung percepatan tanah maksimum dengan menggunakan Metode Crouse (1991), Fukushima-Tanaka (1992), dan Donovan (1973), Mengetahui cara pemetaan resiko gempa bumi dengan software ArcGIS 10.4.

2. Bagi Pembaca

Manfaat yang dapat diambil oleh pembaca yaitu sebagai informasi dan referensi mitigasi bencana misalnya rencana tata ruang dan persyaratan pembangunan konstruksi di zona gempa.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Lempeng Tektonik

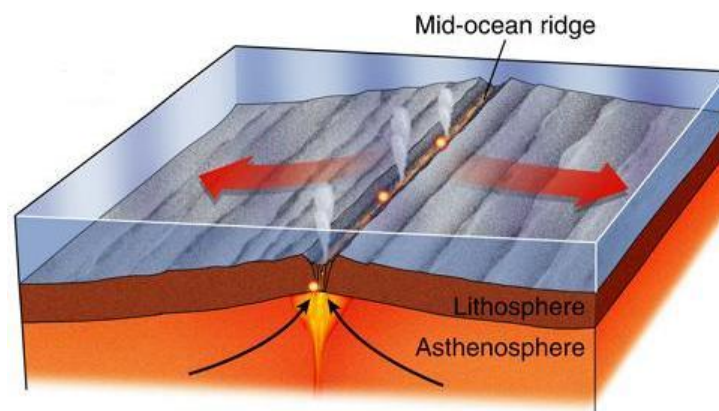
Tektonik berasal dari bahasa Yunani yaitu "tekton" yang berarti gerakan lapis disebut dengan *lithosphere* atau gerakan lapisan kerak bumi. Pergerakan lapisan kerak bumi disebabkan karena lempeng – lempeng ini mengapung diatas magma yang panas dan kental. Karena bergerak di atas magma yang panas maka mengakibatkan lempeng-lempeng tektonik juga aktif bergerak. Pergerakan lempeng tektonik sangat terasa di sisi luar lempeng tektonik. Sisi luar lempeng ini bersentuhan dengan sisi luar lempeng tektonik tetangganya (*plate boundary*). Hal tersebut mengakibatkan adanya gerakan antar lempeng. Gerakan antar lempeng ini dapat berupa gerakan divergen (saling menjauhi), konvergen (saling mendekat), dan gerakan transform (saling bergeser/bergesekan) (Annisha, 2017).

2.2 Macam-Macam Gerakan Lempeng Bumi

2.2.1 Gerakan Divergen

Gerakan lempeng tektonik divergen adalah gerakan dua lempeng tektonik yang saling menjauh. Gerakan ini sebagai akibat dari gaya dorong peristiwa konveksi, gaya sentrifugal berotasinya bumi, dan gerakan keluarnya magma panas. Misalnya gerakan akibat pengaruh gravitasi dapat kita lihat antara lempeng Amerika Selatan dan lempeng Afrika yang dipisahkan oleh Mid Atlantic Ridge, kecepatan menjauh gerakan lempeng berkisar antara 2,5-4,1 cm/tahun. Misalnya diambil rata-rata kecepatan gerakan 3,5 cm/tahun, maka dalam jangka 150 juta tahun maka kedua benua akan terpisah sejauh 5250 km. Jarak itu kira-kira setara dengan jarak antara kedua benua saat ini (Prawirodikromo, 2012).

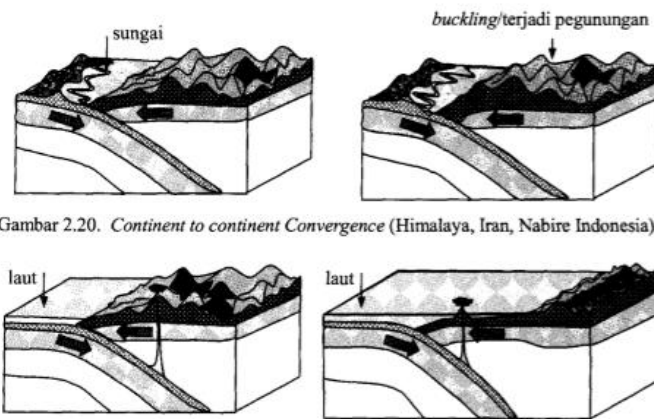
Kebanyakan dari batas lempeng divergen berada di dasar samudra. Apabila lokasi-lokasi gempa bumi di plot di atas peta, maka kita dapat melihat bahwa umumnya pusat-pusat gempa tersebar di sepanjang batas lempeng divergen dan hampir semuanya dari gempa bumi dangkal, berbeda dengan gempa bumi yang terjadi pada batas lempeng konvergen dimana dicirikan oleh kegempaan dengan pusat gempanya berada jauh di dalam bumi (Noor, 2014).



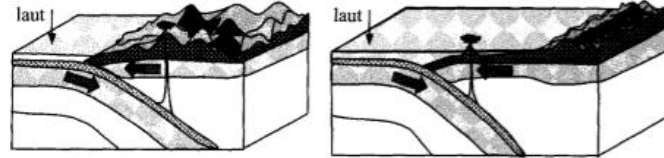
Gambar 2.1 Gerakan dan Interaksi Divergen
 (<https://www.slideshare.net/tedieka/212809794-gerakdansifatinteraksilempenglitosferpptx>)

2.3.2 Gerakan Konvergen

Apabila salah satu ujung lempeng tektonik saling menjauh, maka pada ujung yang lain lempeng-lempeng tektonik itu bergerak saling mendekat karena bentuk bumi yang bulat. Gerakan antara dua lempeng juga saling bertumbukan. Dua lempeng tektonik yang saling bertumbukan umumnya akan membentuk subdaksi (*subduction*) yaitu lempeng yang satu akan menyusup di bawah lempeng yang lain (Prawirodikromo, 2012).



Gambar 2.20. *Continent to continent Convergence* (Himalaya, Iran, Nabire Indonesia)



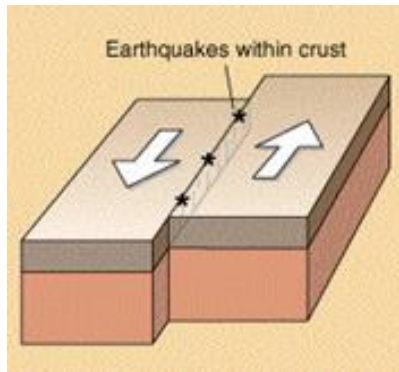
Gambar 2.21. *Ocean to continent* . Gambar 2.22. *Ocean to ocean convergence*.

Gambar 2.2 Gerakan Konvergen (Prawirodikromo, 2012)

Gaya kompresi yang sangat intensif yang terjadi pada batas lempeng konvergen mengakibatkan litosfer terdeformasi dan membentuk jalur pegunungan lipatan. Hasil perkembangan benua-benua, batuan-batuan yang ada sebelumnya akan berubah apabila mengalami perubahan temperatur dan tekanan. Dengan demikian, terjadinya gempa bumi dan pembentukan gunungapi berkaitan dengan proses subduksi yang terjadi di bagian tepi lempeng konvergen. Pada batas lempeng konvergen, episenter gempa bumi mencapai kedalaman 700 km. (Noor, 2014).

2.3.3 Gerakan Transform / Slip

Gerakan Transform merupakan gerakan dua lempeng tektonik yang saling menggeser. Dua lempeng ini saling bergerak sejajar dan berlawanan arah. Batas lempeng lempeng transform terjadi ketika lempeng-lempeng bergeser satu dengan yang lainnya secara horisontal. Gempa bumi dangkal merupakan hal yang umum terjadi pada semua batas transform. Hampir semua batas lempeng transform berada di dasar samudra, namun demikian ada juga batas transform yang dijumpai di benua (Noor, 2014).



Gambar 2.3 Gerakan Transform (Yahya, 2017)

2.3 Pengertian Gempa bumi

Gempa (*earthquake*) adalah peristiwa bergoncangnya bumi karena pergerakan atau pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba. Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang seismik. Kadang-kadang gerakan lempeng ini saling mengunci sehingga terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus sampai pada suatu saat tidak mampu menahan *stress* tersebut sehingga akan terjadi gempa bumi yang sangat besar. Pergerakan lempeng terjadi karena adanya dinamika pada lapisan mantel bumi, maka lempeng tektonik terus menerima energi dari lapisan tersebut. Lempeng tektonik adalah batuan yang bersifat elastis, sehingga energi yang diterima dari lapisan mantel tersimpan dalam bentuk energi elastis. Bila energi yang diterima sudah melebihi batas elastisitas lempeng tektonik, maka energi yang terlepas dalam bentuk deformasi plastis dan gelombang elastis. Daerah yang melepaskan energi elastis umumnya daerah yang lemah sehingga di daerah tersebut akan mengalami deformasi plastis, sedangkan daerah yang jauh dari sumber akan mengalami deformasi elastis dalam bentuk gelombang seismik (Sunarjo dkk., 2012).

Peristiwa bergoncangnya bumi sudah dijelaskan dalam Al-Qur'an. Allah SWT berfirman dalam Surah Al – Zalzalah ayat 1:

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا

Artinya: *Apabila bumi digoncangkan dengan goncangan (yang dahsyat).*

Maksud dari ayat tersebut adalah bumi bergerak dan bergetar dari bagian bawahnya hingga menimbulkan gempa yang dahsyat. Allah SWT dengan KuasaNya menggoncangkan bumi. Menurut tafsir ilmi oleh Kemenag dan LIPI, (2011) 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 yang tidak dapat dihindarkan maupun karena faktor manusia yang merusak lingkungan.

2.4 Jenis Gempa bumi

Mekanisme terjadi gempa tidak lain akibat dari aktivitas fisik peristiwa geologi. Aktivitas geologi adalah aktivitas di dalam bumi dan teori lempeng tektonik. Ilmuwan Bolt mengatakan bahwa ada beberapa gempa bumi yang dikategorikan berdasarkan sebab-sebab kejadiannya sebagai berikut (Prawirodikromo, 2012):

3. Gempa Tektonik (*Tectonic Earthquake*)

Gempa tektonik adalah gempa yang umumnya paling besar dari gempa-gempa yang lainnya. Gempa bumi tektonik disebabkan karena adanya aktivitas lempeng tektonik baik skala global maupun skala regional. Gerakan lempeng tektonik dapat saling menekan, saling menggeser, saling tarik dan kombinasi diantaranya. Dua lempeng yang mengalami hal tersebut akan mengakibatkan tegangan. Apabila tegangan batuan yang terjadi sudah demikian besar dan tidak

lagi ditahan oleh batuan maka kerusakan batuan akan terjadi. Kerusakan yang terjadi secara tiba-tiba menimbulkan getaran yang disebarkan ke semua arah yang selanjutnya merambat sampai ke permukaan tanah. Getaran tersebut dikenal dengan gempa bumi tektonik.

4. Gempa Vulkanik (*Vulcanic Earthquake*)

Gempa vulkanik terjadi karena adanya aktifitas vulkanik yaitu proses keluar magma panas ke atas permukaan tanah dalam skala besar. Keluarnya magma ini mengakibatkan ledakan yang sangat besar. Oleh karena itu gempa vulkanik berhubungan dengan aktivitas gunung berapi. Keluarnya magma panas itu sejalan dengan terjadinya *driving force* akibat panas yang ada di dalam bumi. Getaran tanah yang ditimbulkan oleh proses keluarnya magma panas menyerupai gempa bumi walaupun intensitasnya lebih kecil dari gempa tektonik.



Gambar 2.5 Aktivitas Vulkanik (Shakuntala dalam Ruwanto, 2008)

5. Gempa Runtuhan (*Collapse Earthquake*)

Pada umumnya gempa bumi dipahami apabila terjadi getaran tanah secara tiba-tiba. Runtuhan lapisan tanah baik reruntuhan dalam gua-gua dan tambang-tambang (*mine burst*) dalam batas-batas tertentu dapat mengakibatkan getaran

pada tanah. Hal tersebut terjadi karena adanya gaya gravitasi ataupun perubahan tanah atau batuan.

4. Gempa Ledakan (*Exlosion Earthquake*)

Gempa ledakan terjadi karena adanya ledakan yang sangat besar di dalam tanah misalnya adanya percobaan nuklir di bawah tanah. Ledakan nuklir di bawah tanah dapat menghasilkan panas dan tekanan yang sangat tinggi. Akibatnya, batuan dipusat ledakan dapat menguap karena begitu tinggi panasnya. Energi panas dan tekanan yang sangat besar kemudian merambat dari pusat ledakan ke segala arah termasuk ke permukaan tanah. Rusaknya masa batuan dapat saja sampai dipermukaan tanah dan dapat dirasakan getarannya seperti gempa bumi.

2.5 Mekanisme Gempa bumi

Mekanisme terjadinya suatu gempa bumi di dalam perut bumi sering dikaitkan dengan kombinasi gaya atau *stress* yang bekerja pada suatu batuan. Kombinasi *stress*, kompresi (tekanan kedalam) dan dilatasi (tarikan keluar). Di daerah pertemuan lempeng akan timbul suatu tegangan diakibatkan oleh tumbukan dan geseran antar lempeng tersebut serta sifat-sifat elastisitas batuan. Tegangan pada batuan akan terkumpul terus menerus dan sesuai dengan karakteristik batuan yang akan sampai pada titik patah, dimana pada saat tersebut energi yang terkumpul selama terjadi proses tegangan akan dilepaskan, pada waktu itulah gempa bumi terjadi (Sunarjo dkk., 2012).

2.6 Tahapan -Tahapan Kejadian Gempa bumi

Pada kondisi normal, batuan hanya mengalami beban gravitasi, namun pada saat sebelum terjadi gempa bumi terjadi tegangan baru. Tegangan baru dapat berupa tegangan geser, tegangan desak, maupun tegangan tarik. Para ahli menjelaskan tahapan-tahapan kejadian gempa sebagai berikut (Prawirodikromo, 2012):

1. Tahap 1

Pada tahap ini dua lempeng saling bertumbukan misalnya di daerah subdaksi. Setelah bertumbukan maka akan mengalami tegangan geser sehingga kedua lempeng saling mengunci 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 tertahan/terkunci. Kondisi seperti ini terus berlangsung sampai puluhan tahun bahkan ratusan tahun. Akibatnya terjadilah bukit-bukit di lempeng atas, sementara tegangan geser bertambah terus. Pada saat ini retakan-retakan sudah mulai terjadi.

3. Tahap 3

Pada tahap ketiga, retakan-retakan pada batuan sudah sampai batas keseimbangannya, pada kondisi tersebut batuan sudah mencapai instabilitas.

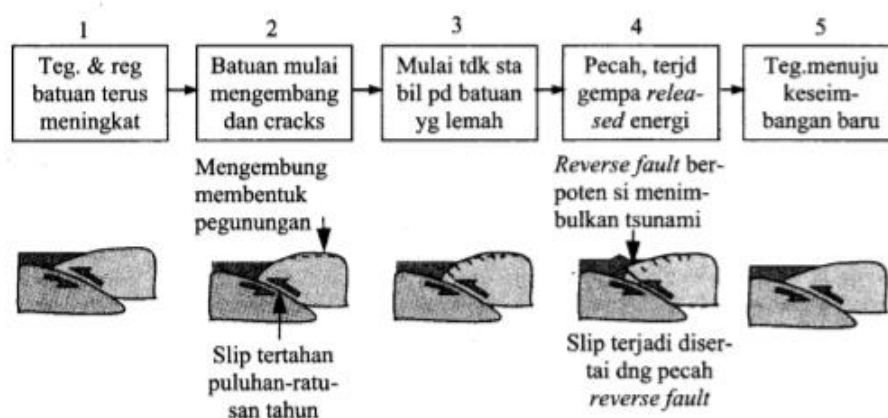
4. Tahap 4

Pada tempat dimana kondisi batuan yang paling lemah maka terjadi pecahan pada batuan tersebut. Slip atau kontak antar batuan yang terkunci menjadi terlepas maka terjadilah peristiwa gempa bumi. Pada saat batuan pecah maka sejumlah energi akan dilepaskan kemudian ditransfer menjadi energi gelombang seismik.

Dari pusat gempa, gelombang akan merambat ke segala arah yang salah satu arahnya mencapai permukaan tanah. Sebelum mencapai alat pencatat, gelombang gempa akan melewati bermacam-macam kondisi lapisan tanah maka sebagian gelombang akan dipantulkan, dibiaskan, dan ada pula yang bergerak sepanjang permukaan tanah.

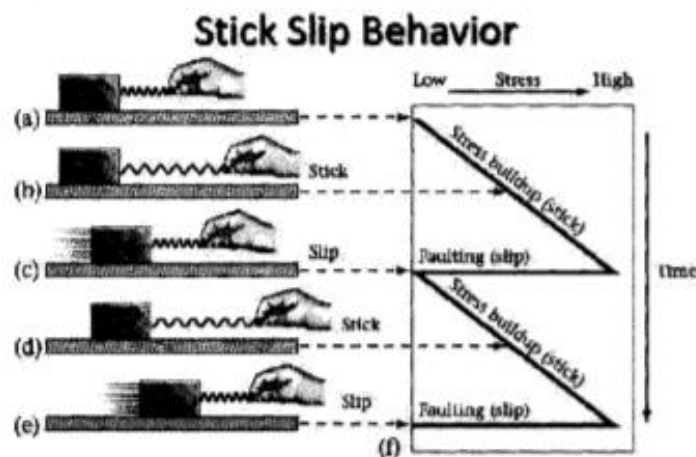
5. Tahap 5

Setelah selesai gempa bumi maka akan terjadi kesetimbangan baru.



Gambar 2.6 Tahapan Terjadinya Gempa (Prawirodikromo, 2012)

Selain penjelasan di atas, maka peristiwa terakumulasinya tegangan (*stress build up*) dan lepasnya sejumlah energi setelah terjadi (*released energy*) dapat diilustrasikan seperti pada di bawah ini.



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

Pada gambar tersebut, tampak bahwa gerakan batuan dimodelkan sebagai gerakan benda yang ditarik melalui suatu pegas. Karena ada gesekan maka benda yang ditarik tidak langsung bergerak, pada saat tersebut terjadi akumulasi tegangan (*stress build up*). Apabila kuat geser terlampaui maka benda akan tergeser dan terjadilah pelepasan energi (*energy released*) sampai terbentuk keseimbangan baru. Karena gaya tarik bekerja terus menerus maka terjadi stress build-up kembali dan akan terjadi siklus berikutnya.

2.7 Sumber Gempa

Sumber-sumber gempa diklasifikasikan dalam tiga jenis gempa, yaitu:

1. Zona Subduksi

Zona subduksi merupakan zona gempa yang terjadi di dekat batas pertemuan antara lempeng samudra yang menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Kejadian tersebut akibat *thrust fault*, *normal fault*, *reverse slip* dan *strike slip* terjadi sepanjang pertemuan lempeng yang dapat diklasifikasikan sebagai zona subduksi (Wells and Coppersmith, 1994).

Sumber gempa subduksi dibatasi hingga kedalaman 50 km. Sumber gempa dengan kedalaman lebih dari 50 km akan diwakili oleh sumber gempa *deep background* (Nugraha dkk., 2014).

2. Zona Fault

Zona *fault*, merupakan zona kejadian gempa dangkal dengan mekanisme *strike-slip*, *reverse*, atau normal yang terjadi pada patahan-patahan yang sudah terdefinisi dengan jelas, sumber gempa patahan

dangkal dimodelkan hingga kedalaman 15 km (Wells and Coppersmith, 1994).

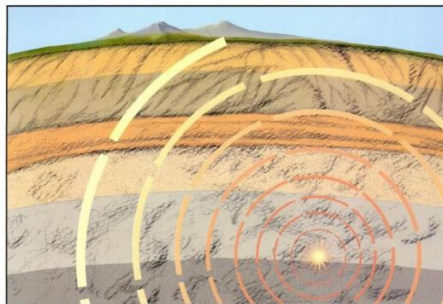
Berdasarkan tingkat aktivitasnya, sesar dibagi menjadi dua, yaitu sesar aktif, dan sesar tidak aktif. Sesar berpotensi aktif adalah sesar yang pernah bergerak pada kurun waktu dua juta tahun terakhir. Sedangkan sesar tidak aktif adalah sesar yang belum/ tidak pernah bergerak dalam kurun waktu lebih dari dua juta tahun terakhir. Sesar aktif tergolong sebagai sumber gempa bumi kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*) yang dapat dikenal kenampakannya melalui bentuk lahan baik dalam skala besar maupun dalam skala kecil. Dalam skala besar ditandai adanya pegunungan karst, lipatan, dan plato. Pada skala kecil ditandai dengan adanya kipas aluvial, perbukitan faset segitiga, canyon, lereng, guduk pasir, dan pergeseran sungai. Setiap jenis sesar aktif akan memberikan kumpulan variasi bentuk lahan yang berbeda-beda. Hal tersebut disebabkan karena proses dan respon lahan terhadap masing-masing jenis sesar itu juga tidak sama (Geomagz, 2016).

3. Zona Background

Zona background merupakan sumber gempa yang belum diketahui secara jelas, tapi di beberapa tempat tersebut terdapat adanya beberapa kejadian gempa. Model sumber gempa diklasifikasikan menjadi dua yaitu *shallow background* (kedalaman hingga 50 km) dan *deep background* (kedalaman lebih dari 50 km). Model sumber gempa *deep background* sendiri dibagi menjadi empat interval yaitu kedalaman 50 - 100 km, 100-150 km, 150-200 km, dan 200 – 300 km (Nugraha dkk., 2014).

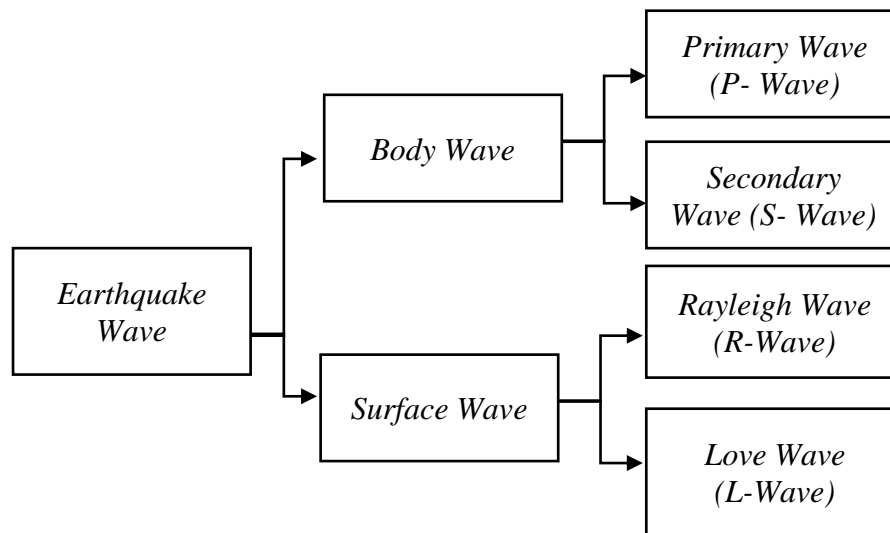
2.8 Gelombang Seismik (Gelombang Gempa)

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanis yang muncul akibat gempa bumi. Gelombang mekanis berarti fenomena perambatan gangguan (usikan) dalam medium disekitarnya. Di dalam fenomena gempa bumi usikan atau gangguan tersebut terjadi akibat pergerakan lempeng bumi. Gelombang seismik juga disebut sebagai gelombang elastik karena sifat-sifat elastik di dalam suatu medium berinteraksi dengan usikan atau gangguan. Dari interaksi ini dapat muncul gelombang longitudinal, gelombang transversal, dan kombinasi antara keduanya (Munadi, 2002).



Gambar 2. 8 Penampakan Gelombang Seismik
(Shakuntala dalam Ruwanto, 2008)

Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi yang disebut *body wave* dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave*. *Body wave* dibedakan menjadi dua berdasarkan arah getarnya. Gelombang P (longitudinal) merupakan gelombang yang arah getarnya searah dengan arah perambatan gelombang sedangkan gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatannya disebut gelombang S (transversal). *Surface wave* terdiri atas *Rayleigh wave* dan *Love wave* (Nurdiyanto dkk., 2011).



Gambar 2.9 Pembagian Gelombang Gempa (Prawirodikromo, 2012)

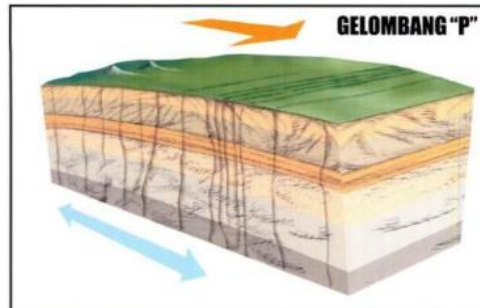
2.9 Karakteristik Gelombang Seismik

Karakteristik gelombang seismik yaitu (Prawirodikromo, 2012):

1. Karakteristik Gelombang Primer

Gelombang primer (p-wave) adalah gelombang bodi atau gelombang yang menjalar dalam bodi-bumi yang mempunyai kecepatan yang paling tinggi. Gelombang ini disebut juga sebagai gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki 3 sifat pokok yaitu:

- a) Gerakan partikel searah dengan rambatan gelombang, sehingga elemen batuan kadang-kadang mapat (*compression*) dan merenggang (*dilatation*).
- b) Gelombang primer dapat merambat pada media solid, cair, dan gas/udara.
- c) Gelombang primer memiliki kecepatan tertinggi dibandingkan gelombang lain.

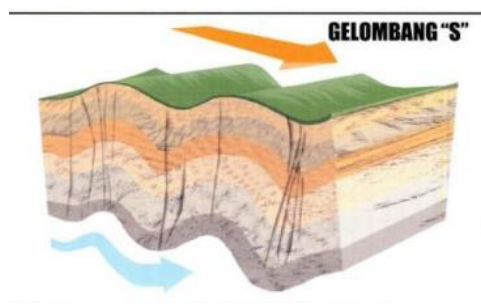


Gambar 2.10 Perambatan Gelombang Primer
(Shakuntala dalam Ruwanto, 2008)

2. Gelombang Sekunder

Gelombang bodi yang lebih lambat adalah gelombang sekunder atau *S-wave*. Gelombang ini disebut dengan *transverse wave*. Hal ini karena Gerakan partikel akan tegak lurus terhadap rambatan gelombang (*wave propagation*). Gelombang ini memiliki 3 sifat pokok yaitu:

- a) Menimbulkan efek geser
- b) Gerakan partikel tegak-lurus terhadap rambatan gelombang
- c) Gelombang geser tidak dapat merambat pada zat cair.



Gambar 2.11 Perambatan Gelombang Sekunder
(Shakuntala dalam Ruwanto, 2008)

3. Gelombang Reyleingh

Gerakan *Reyleigh-wave* (R-wave) merupakan rambatan gelombang yang menyerupai gelombang lautan (menggulung) dan memiliki gerakan baik vertical maupun horizontal. Gelombang ini dinamai *Reyleigh* karena gelombang ini

ditemukan oleh Jon William Struy dan Lord Reyleigh pada tahun 1885. Gelombang ini bergerak antara $0,92 - 0,96 V_s$. Gelombang Rayleigh termasuk gelombang permukaan. Gelombang ini dapat merambat melalui media zat cair.

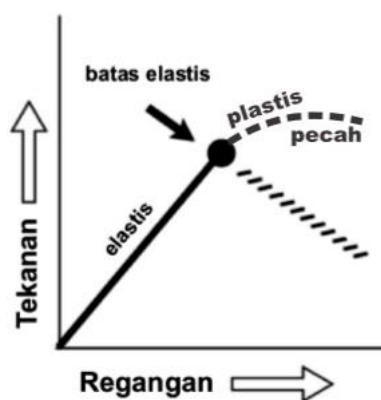
4. Gelombang Love

Gelombang love termasuk gelombang yang merambat di permukaan tanah. Gelombang ini dinamakan *love wave* karena gelombang ini ditemukan oleh A.E.H Love pada tahun 1911. Gelombang ini adalah gelombang tercepat untuk jenis gelombang permukaan dibandingkan dengan gelombang *Reyleigh wave*. Gelombang ini akan mengakibatkan bangunan seperti digoyang/digoncang secara mendatar. Gelombang ini sangat berpotensi untuk menimbulkan kerusakan. Sebagaimana gelombang geser, gelombang ini tidak dapat merambat dalam medium zat cair.

2.10 Elastisitas Batuan

Gempa bumi terjadi pada material batuan yang bersifat elastis sehingga berfungsi menyimpan energi *stress* sekaligus menjadi media transmisi gelombang seismik. Tingkat elastisitas suatu medium ditentukan bagaimana media tersebut melewatkan gelombang gempa bumi. Gelombang gempa bumi juga dapat memberikan informasi yang baik mengenai sumber seismik dan medium yang dilewatinya. Sifat elastisitas batuan tergantung dengan besarnya kuat tekan (*stress*) dan kuat regang (*strain*) terhadap medium tersebut. Berdasarkan hukum Hooke, Besaran *stress* berbanding lurus dengan besaran *strain*. Saat tekanan (*stress*) mencapai maksimum dan telah melampaui batas sifat elastisitas pada suatu material

maka akan pecah. Kemudian, material akan berusaha kembali bentuk semula (keseimbangan yang baru) (Sunarjo, 2012).



Gambar 2.12 Skema Proporsi Stress dan Strain (Prawirodikromo, 2012)

Setiap material pada batuan memiliki sifat elastisitas yang berbeda - beda. Sifat elastisitas batuan dapat dilihat pada nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas merupakan rasio tegangan dengan regangan. Modulus elastisitas terdiri dari modulus *bulk*, modulus *shear* (modulus geser), dan modulus *young*. Nilai modulus ini digunakan sebagai ukuran ketahanan suatu material saat mengalami deformasi elastis.

Tabel 2.1 Harga dari Konstanta Elastik Batuan pada Kedalamam 30 M (NMSOP,2002 dalam Sunarjo, 2012)

Material	Modulus <i>Bulk</i>	Modulus <i>Shear</i>	Kerapatan	Vp	Vs	Vp/Vs
Sandstone	24	17	2500	4.3	2.6	1.65
Salt	24	18	2200	4.6	2.9	1.59
Limestone	38	22	2700	4.7	2.9	1.62
Granit	56	34	2610	6.2	3.6	1.73
Basalt	71	38	2940	6.4	3.6	1.80

2.11 Parameter Gempa bumi

Parameter sumber gempa bumi yang sering di analisis yaitu waktu asal gempa, posisi lintang, bujur, episenter, kedalaman sumber, waktu kejadian dan ukuran atau magnitudo, serta intensitas gempa (Sunarjo, 2012):

1. Waktu Asal

Waktu asal gempa atau disebut dengan *Origin time* merupakan waktu gempa bumi yang terjadi tepat di sumbernya pada kedalaman tertentu. Pada waktu tersebut akumulasi tegangan (*stress*) terlepas dalam bentuk waktu penjalaran gelombang gempa bumi. Waktu asal dinyatakan dengan hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinate*).

2. Arah dan Kedalaman

Arah kedalaman menunjukkan arah lokasi datangnya gempa bumi yang terjadi sesuai mata angin. Sedangkan kedalaman sumber adalah jarak hiposenter dihitung tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalaman ditentukan oleh besaran jarak dalam satuan km.

3. Energi Gempa

Bentuk energi gempa yang dilepaskan saat terjadi gempa merupakan besar gempa yaitu deformasi gelombang. Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk volume sesudah terjadi gempa bumi, seperti tanah naik, tanah turun, dan pergeseran batuan. Sedangkan energi gelombang akan menggetarkan medium elastis di sekitarnya dan akan menjalar ke segala arah. Ukuran besarnya energi gempa bumi ditentukan dengan istilah magnitudo gempa bumi.

Besar energi gempa bumi yang dilepaskan tergantung dari karakteristik batuan yang ada dan besarnya *stress* terdapat pada suatu batuan. Pada suatu batuan yang rapuh, *stress* yang terkandung tidak terlalu besar karena langsung dilepaskan melalui gempa-gempa kecil. Sedangkan batuan yang lebih kuat menyimpan tegangan (*stress*) yang lebih besar. Hal tersebut terjadi karena energi dikumpulkan lebih lama dan pada saat batuan tersebut tidak mampu lagi menahan tegangan tersebut maka akan terjadi gempa bumi dengan magnitudo yang besar (Prawirodikromo, 2012).

4. Magnitudo

Kekuatan gempa bumi atau magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa yang menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi. Berikut adalah jenis – jenis magnitudo gempa:

Tabel 2 2 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)*. Magnitudo ini dikembangkan pertama kali pada tahun 1935 oleh seorang seismologis Amerika, Charles. F. Richter, untuk mengukur kekuatan gempa di California. Richter mengukur gempa berdasarkan nilai amplitude maksimum gerakan tanah pada jarak 100 km dari gempa. Besarnya geombang ini tercatat oleh seismograf yang dapat mendeteksi tanah mulai dari 0,00001 mm hingga 1 m. Untuk menyederhanakan angka yang terlalu besar ini, Richter menggunakan bilangan logaritma berbasis 10. Ini berarti setiap kenaikan angka 1 pada skala Richter menunjukkan amplitude 10 kali lebih besar (Hartuti, 2009).

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 berbeda-beda, oleh karena itu diperlukan suatu konversi magnitudo yang didapatkan dari data historis gempa ke dalam magnitudo yang sesuai dengan rumus atenuasi. Korelasi konversi dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Korelasi Konversi Magnitudo (Irsyam, M., dkk, 2010)

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

5. Episenter

Episenter adalah titik yang berada di atas permukaan bumi dan tepat berada di atas titik pusat gempa bumi. Episentrum adalah titik atau garis di permukaan bumi sebagai tempat gelombang gempa dirambatkan ke wilayahnya. Letak episentrum adalah tegak lurus dengan hiposentrum (Utoyo, 2007).

Menghitung Jarak episenter ke masing - masing koordinat dengan:

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

Dimana:

Δ = 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 sumber gempa (satuan derajat)

6. Hiposenter

Hiposenter (pusat gempa) adalah titik atau garis dalam litosfer yang menjadi tempat terjadinya gempa. Dari hiposentrum, gelombang seismik dirambatkan ke permukaan bumi berupa gelombang (primer) P dan gelombang (sekunder) S. Setelah sampai ke permukaan bumi gelombang tersebut dirambatkan oleh gelombang permukaan. Gelombang permukaan inilah yang sering menghancurkan wilayah yang dilauinya (Utoyo, 2007).

Untuk menghitung jarak hiposenter yaitu:

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

Berdasarkan kedalaman hiposentrum, gempa dibagi menjadi:

- a) Gempa dalam, jika jarak hiposentrumnya 300 – 700 km dari permukaan bumi.
- b) Gempa pertengahan jika jarak hiposentrumnya berkisar antara 100-300 km dari permukaan bumi.
- c) Gempa dangkal, jika jarak hiposentrumnya kurang dari 100 km dari permukaan bumi.

7. Intensitas Kerusakan

Tingkat kerusakan akibat gempa bumi dinyatakan dalam intensitas. Intensitas dihitung dari pengamatan langsung terhadap kerusakan gempa bumi. Intensitas dapat memberikan gambaran nilai kekuatan gempa bumi pada pusat gempanya. Untuk dapat mengamati tingkat kerusakan akibat gempa bumi maka digunakan skala intensitas. Skala intensitas di Indonesia adalah skala *Modified Mercally Intensity* (MMI) atau disebut sebagai intensitas Mercally.

Skala intensitas berbeda dengan skala magnitudo. Magnitudo dihitung dari alat pencatat gempa sedangkan intensitas didasarkan atas akibat langsung dari getaran bumi. Magnitudo memiliki besaran yang tetap untuk sebuah gempa. Sedangkan intensitas berbeda sesuai dengan kondisi tempat kejadian gempa bumi. Intensitas yang besar akan terjadi pada tanah yang lunak/gembur dibandingkan dengan tanah yang padat/*bedrock*. 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 dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 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-	39-	92-	180-	340-	650-	>1240
		14	39	92	180	340	650	1240	

Tabel dibawah 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 2.5 Skala MMI (Allan,1982)

Deskripsi Rinci	Skala MMI
Tidak terasa.	I
Terasa di dalam rumah, terutama ditingkat atas-atas bangunan atau tempat – tempat yang tinggi. Getaran yang dirasakan seperti ada truk kecil.	II
Terasa di dalam ruangan. Benda-benda yang menggantung berayun. Getaran dirasakan seperti getaran truk yang berjalan.	III
Terasa di dalam rumah, pintu dan jendela berayun, gelas berdenting. Bentrokan barang pecah belah. Getaran terasa seperti melewati truk-truk besar atau seperti peluru menghantam dinding	IV
Terasa di luar ruangan. Orang yang tidur terbangun. Cairan disuatu wadah sebagian tumpah. Benda kecil yang tidak stabil terlempar atau rusak. Pintu berayun, pigura – pigura dinding bergerak, Jam pendulum berhenti atau mulai berubah kecepatannya.	V
Dirasakan oleh semua di luar ruangan dan di dalam ruangan. Banyak orang yang ketakutan dan keluar ruangan. Piring, kaca jendela, dan gelas pecah. Dinding retak.	VI
Orang yang sedang berjalan kaki sulit berjalan dengan baik. Benda bergantung bergetar, furniture rusak. Lonceng besar berdering. Retakan besar di dinding, Tembok yang tidak	VII

kuat pecah, plester tembok dan batu-batu tembok yang tidak terikat kuat jatuh.	
Mengemudi mobil terpengaruh, 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. Dinding-dinding mobil runtuh Sebagian. Beberapa kerusakan pada pasangan bata. Ranting pohon besar patah, Retakan tanah dan lereng yang curam terbelah.	VIII
Bangunan yang tidak kuat hancur. Kepanikan umum. Kerusakan umum pada pondasi. Retakan yang mencolok di tanah, Pipa bawah retak, Di daerah aluviasi pasir dan lumpur keluar dari dalam tanah.	IX
Kebanyakan pasangan bata dan struktur rangka hancur Bersama pondasinya. Beberapa bangunan kayu yang kokoh hancur, Jembatan hancur, kerusakan serius di area bendungan, tanggul. Terjadi longsor besar, Pasir dan lumpur bergeser secara horizontal dipantai dan tanah datar.	X
Rel kereta bengkok, Jaringan pipa bawah tanah benar-benar tidak berfungsi	XI
Kerusakan hampir total, Batuan besar berpindah tempat, Benda terlempar ke udara.	XII

8. Percepatan Tanah Maksimum

Parameter getaran gelombang gempa bumi yang dicatat oleh seismograf umumnya adalah simpangan kecepatan atau *velocity* dalam satuan kine (cm/dt). Selain *velocity* tentunya parameter yang lain seperti *displacement* (simpangan dalam satuan mikrometer) dan percepatan (*acceleration*) dalam satuan gal atau cm/dt^2 . Parameter percepatan gelombang seismik sering disebut percepatan tanah.

Percepatan tanah merupakan parameter penting dalam gempa bumi. Besar kecilnya percepatan tanah tersebut menunjukkan resiko gempa bumi yang perlu diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam perencanaan bangunan tahan gempa.

Setiap gempa bumi yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat (*site*). Nilai percepatan tanah yang akan diperhitungkan pada perencanaan bangunan adalah nilai percepatan tanah maksimum. Salah satu hal yang penting dalam penelitian seismologi adalah mengetahui kerusakan akibat getaran tanah gempa bumi terhadap bangunan-bangunan di setiap tempat. Hal ini diperlukan untuk mitigasi bencana yaitu menyesuaikan bangunan -bangunan yang akan dibangun di daerah tersebut. Bangunan-bangunan yang kuat terhadap gempa akan meminimalisir kerusakan bangunan dan korban jiwa. Kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa dipengaruhi 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).

2.12 Fungsi Atenuasi

Nilai percepatan tanah dapat dihitung dengan cara pendekatan dari data historis gempa bumi. Menurut Makrup (2013), beberapa fungsi atenuasi untuk sumber gempa subduksi yaitu:

1. Fukushima – Tanaka (1992)

Persamaan Fukushima – Tanaka (1992) dikembangkan di Jepang yang dapat digunakan untuk menghitung PGA (*Peak Ground Acceleation*).

Bentuk fungsi :

$$\log(PGA) = 0,42 M_w - \log(R + 0,025 10^{0,42M_w}) - 0,003 R + 1,22 \quad (2.1)$$

Dimana:

M_w = Momen magnitudo

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

2. Youngs et al., (1997)

Persamaan atenuasi Youngs et.al., (1997) merupakan fungsi atenuasi empirik yang dapat digunakan untuk memprediksi percepatan tanah puncak dan *spectra* pada kejadian gempa zona subduksi *interface* dan *intraslab* dengan nilai magnitudo momen lebih besar sama dengan 5.0 serta jarak dari site ke sumber gempa dalam bentuk jarak rupture 10-500 km.

$$\ln y = -0,6678 + 1,438 M_w + C_1 + C_2(10M_w)^3 C_3 \ln(r_{rup} 1,097 e^{0,617M_w}) + 0,00648H + 0,3643Z_T \quad (2.2)$$

Dimana:

Y = Percepatan spectra (g)

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

H = Kedalaman (km)

Z_T = Tipe sumber (0 untuk kejadian *interface* dan 1 untuk kejadian *interslab*)

r_{rup} = Jarak terdekat ke rupture (km) ($10 \text{ km} \leq R_{rup} \leq 500 \text{ km}$). Fungsi ini

hanya berlaku untuk sumber gempa zona subduksi.

3. Atkinson – Boore (2003)

Atkinson – Boore (2003) merupakan hubungan atenuasi gerakan tanah untuk gempa-gempa yang terjadi pada zona subduksi dengan magnitudo $M_w=5$ sampai $M_w= 8,3$ yang terjadi pada zona subduksi dunia termasuk didalamnya kejadian interface dan intraslab. Bentuk fungsi atenuasi :

$$\log y = fn(M_w)C_3h + C_4R - g \log R + C_5 sl Sc + C_6sl Sd + C_7 sl Se \quad (2.3)$$

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

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

Dimana:

Y = Percepatan getaran tanah (PGA) (cm/s^2)

M_w = Momen Magnitudo dengan $M= 8,5$ untuk interface dengan $M > 8,5$ dan

$M = 8 M$ untuk intraslab dengan $M_w > 8,0$

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

PGA_{TX} = prediksi PGA di bedrock (NEHRP type soil B) (cm/s)

Untuk *interface* untuk *intraslab*

$$c_1 = 2,991 \qquad c_1 = -0,04713$$

$$c_2 = 0,03525 \qquad c_2 = 0,6909$$

$$c_3 = 0,00759 \qquad c_3 = 0,01130$$

$$c_4 = -0,00206 \qquad c_4 = -0,00202$$

Untuk *interface* dan *intraslab*

$$C_5 = 0,19$$

$$C_6 = 0,24$$

$$C_7 = 0,29$$

$S_C = 1$ untuk tanah tipe B ($360 < V_s < 760$ m/dt) dan $S_C = 0$ untuk yang lain

$S_D = 1$ untuk tanah tipe C ($180 < V_s < 360$ m/dt) dan $S_D = 0$ untuk yang lain

$S_E = 1$ untuk tanah tipe D ($V_s < 180$ m/dt) dan $S_E = 0$ untuk yang lain

$g = 10^{(1,2-0,13 M)}$ untuk kejadian interface $g = 10^{(0,301-0,01 M)}$ untuk kejadian in-slab

4. Persamaan Zhao, dkk (2006)

Model atenuasi Zhao, dkk (2006) dapat digunakan untuk kejadian gempa dalam slab subduksi. Data set yang digunakan untuk studi persamaan ini merupakan sejumlah besar rekaman gerakan tanah kuat yang tercatat sampai dengan main *shock* dan *aftershock* dari gempa OFF Tokach tahun 2003. Bentuk persamaan Zhao, dkk (2006) yaitu :

$$\ln(y_{ij}) = aM_{wi} + bx_{ij} - \ln(r_{ij}) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I + S_{SL} + \ln(x_{ij}) + C_k + \xi_{ik} + \eta_{ij} \quad (2.4)$$

Dimana:

$$r_{ij} = x_{ij} + c \exp(d M_{wi})$$

Y = PGA atau percepatan spectra 5% redaman (cm/dt^2)

T = Perioda spectra (detik)

M_w = Momen magnitudo

X = Jarak sumber (km)

H = Kedalaman focal (km)

F_R = Parameter *reverse - fault* digunakan hanya untuk kejadian gempa crustal dengan mekanismenya *reverse-faulting* dan nilainya nol untuk peristiwa lain.

S_I = Parameter dengan sumber tektonik yang digunakan untuk gempa interface dan nilainya menjadi nol untuk tipe kejadian gempa lain.

S_s = Digunakan untuk kejadian gempa pada slab subduksi dan nilainya akan menjadi nol untuk kejadian gempa lain.

S_{s1} = Suku modifikasi lintasan independent-magnitudo untuk kejadian gempa slab subduksi

C_k = Suku kelas site untuk site dengan kelas tertentu

i = Indek untuk nomer kejadian gempa

j = Indek untuk nomor rekam dari kejadian i

h_c = Konstanta kedalaman, jika $h > h_c$ maka suku $e^{-(h-h_c)}$ memberi efek, dengan

δ_h adalah variable dummy yang nilainya nol bila $h < c$ dan nilainya 1 bila $h \geq h_c$,

jika $h > 125$ km maka h diambil sama dengan 125 km

η_{ij} = Variable acak untuk *intra-event error* dengan nilai rata-rata nol dan

deviasi standar σ

η_i = Variable acak untuk *intra-event error* dengan nilai rata-rata nol dan

deviasi standar τ

5. 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:

$$\log PSA = c_0 + c_1(M_w - 6) + c_2(M - 6)^2 + c_3 h - c_{a1} \log R - c_{a2} R + c_a \quad (2.5)$$

Dimana:

$$c_{a2} = c_{a1} + c_{a4} h$$

M_w = magnitudo momen (untuk $M_w > 8$, maka diambil $M_w = 8$)

$S = 0$ untuk site dengan kondisi batuan, dan untuk site kondisi tanah

PSA = Pseudo – spectra percepatan (cm/dt^2) dengan 5% redaman

$c_0, c_{a1}, c_{a3}, c_{a4}$ dengan sigma ($\ln y$) berubah pada magnitudo 7,5 karena itu kedua set koefisien ini harus dimasukkan sebagai input dalam penggunaan atenuasi seperti ini.

6. 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:

$$\ln(PGA) = 6,36 + 17,6 - 2,73 \ln(R + 1,58 \exp(0,608M_w)) + 0,00916h \quad (2.6)$$

Dimana:

PGA = Percepatan tanah puncak (PGA) (gal)

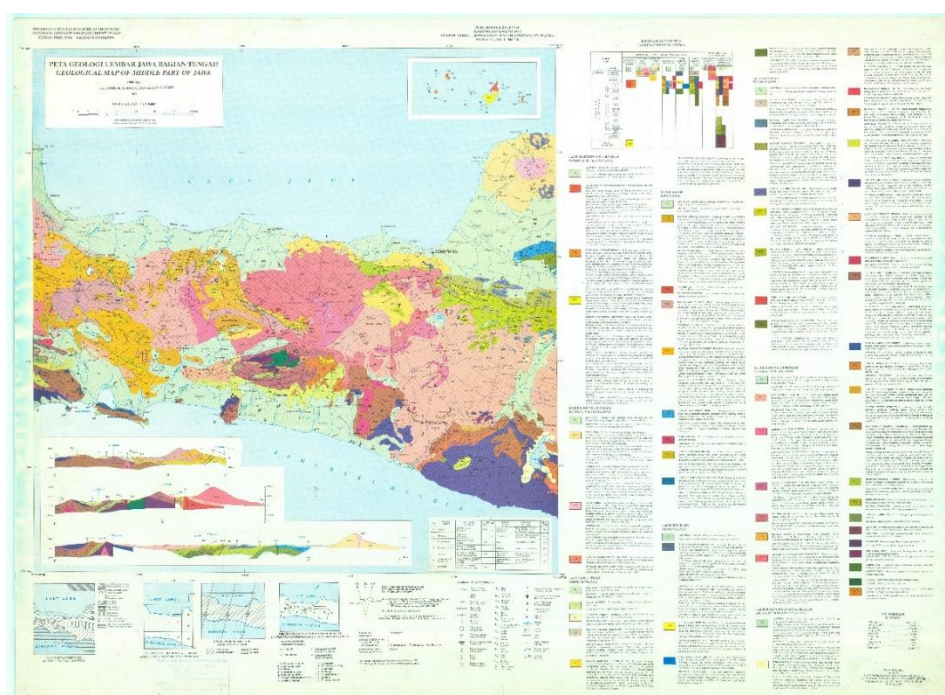
M_w = Magnitudo momen

R = Episenter (km)

H = Hiposenter (km)

2.13 Daerah Geologi Wilayah Jawa Tengah

Daerah Jawa Tengah merupakan bagian dari lempeng benua Eurasia yang terletak dekat dengan zona subduksi atau penunjaman yang terbentuk akibat tumbukan antara Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudra Indo Australia yang berlangsung sejak jaman Kapur Akhir (sekitar 65 juta tahun yang lalu) dan masih berlangsung hingga kini. Lempeng benua Eurasia bergerak dengan kecepatan $\pm 0,4$ cm/tahun dan lempeng Samudra Hindia-Australia bergerak dengan kecepatan ± 7 cm/tahun. Tumbukan yang berarah tegak lurus ini menghasilkan palung atau zona subduksi, cekungan muka, jalur magmatisme yang kemudian membentuk jalur gunung api.



Gambar 2.13 Peta Lembar Geologi Jawa Tengah (Rahardjo, W dkk., 1997)

Penunjaman lempeng subduksi menghasilkan sesar-sesar di darat. Berdasarkan analisis citra landsat regional Jawa Tengah, struktur geologi yang cukup menonjol di kawasan ini adalah sesar Kulon Progo, yang dimulai dari muara Kali Bogowonto ke utara - timur laut memotong sumbu Pegunungan Kulon Progo

dan Kali Progo di sebelah utaranya. Sesar ini diperkirakan masih menerus sampai Semarang Barat dan bahkan Laut Jawa. Sesar utama kedua adalah sesar Serayu yang berarah barat barat daya-timur laut, mulai dari Kali Serayu, memotong Pegunungan Dieng dengan Gunung Api Sindoro, menerus ke timur laut yang diperkirakan bersatu dengan Sesar Lasem di sebelah selatan Gunung Api Muria. Pada Pegunungan Serayu Selatan di wilayah utara Kabupaten Purworejo struktur kelurusan berarah utara-selatan (Bronto, Suintikno. 2007).

Beberapa Kawasan di Provinsi Jawa Tengah terdiri dari dataran rendah berupa pantai hingga pegunungan. Kawasan pantai memiliki dataran rendah yang sempit berada di selatan Jawa Tengah dengan lebar 10-25 km. Kawasan pantai dengan dataran rendah yang sempit juga terdapat di bagian utara Jawa Tengah. Selain itu, terdapat dataran di kawasan Brebes selebar 40 km dari pantai dan di Semarang hanya selebar 4 km. Dataran ini bersambung dengan depresi Semarang-Rembang di timur. Selain berupa dataran rendah, topografi Provinsi Jawa Tengah memiliki tingkat kemiringan lahan 0- 2% dengan 38% lahan dari keseluruhan, 31% lahan memiliki kemiringan 2-15%, 19% lahan memiliki kemiringan 15-40%, dan sisanya 12% lahan memiliki kemiringan lebih dari 40%. Ini menunjukkan hanya sedikit lahan yang memiliki kemiringan besar dan dominan pada kemiringan dengan persentase kemiringan yang kecil (BPBD JATENG, 2016).

2.14 Tingkat Resiko Bencana Gempa bumi

Pengertian resiko bencana adalah suatu potensi kerugian yang ditimbulkan akibat suatu bencana pada suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, kehilangan rasa aman, dan gangguan masyarakat. Pengertian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kerentanan maka potensi bencana juga akan semakin tinggi. (BNBP,2012 dalam Muhaimin, 2016).

Menurut Tim Penyusun Kajian Risiko Bencana (2018), klasifikasi tingkat resiko bencana dapat dilakukan dengan skoring yaitu melakukan operasi matematika dengan perkalian antara bobot dan nilai kelas yang telah dibuat. Dalam suatu kabupaten/kota nilai scoring menunjukkan klasifikasi kerawanan kabupaten/kota tersebut. Adapun tabel scoring dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.6 Scoring Komponen Penyusun Resiko Gempa bumi Oleh (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

Resiko Bencana dapat dihitung berdasarkan rumus berikut (Tim Penyusun Kajian Risiko Bencana, 2018):

$$Risk = Hazard \cdot \frac{Vulnerability}{Capacity} \quad (2.7)$$

Dengan R adalah resiko (*risk*); H adalah bahaya (*hazard*), dimana hazard dapat dihitung berdasarkan probabilitas spasial, frekuensi, maupun magnitudo dari

suatu fenomena gempa bumi, letusan gunungapi, dan yang lainnya. V adalah kerentanan (*vulnerability*). Berdasarkan parameter sosial misalnya kepadatan penduduk dan C adalah kapasitas dapat dihitung berdasarkan kekuatan kebijakan dan kelembagaan, pengkajian resiko dan perencanaan, pengembangan informasi, Penanganan tematik kawasan rawan bencana, peningkatan efektivitas pencegahan dan mitigasi bencana, kesiapsiagaan bencana, dan pengembangan sistem pemulihan bencana.

Terdapat variabel – variabel yang Berpengaruh terhadap Kerentanan Bencana Gempa bumi Tektonik yaitu :

Tabel 2.7 Variabel – Variabel yang Berpengaruh terhadap Kerentanan Bencana Gempa bumi Tektonik (Niko & Adjie, 2014):

Kerentanan Lingkungan	
Kemiringan Tanah (<i>Slope</i>)	Daerah dengan jenis kemiringan datar lebih stabil terhadap gempa bumi dibandingkan dengan kemiringan curam pada suatu daerah yang berpotensi longsoran akibat gempa bumi
Jenis Penggunaan Lahan	Area dengan jenis penggunaan lahan terbangun lebih rentan dibandingkan dengan penggunaan lahan pertanian, perkebunan. Jenis penggunaan lahan sangat mempengaruhi terhadap kerugian materi dan korban jiwa saat terjadi gempa.
Jenis Bebatuan (Geologi)	<p>Kelompok batuan yang relatif kompak lebih stabil terhadap kemungkinan longsoran dan amblasan.</p> <p>Skor batuan bersifat kompak</p> <p>6. Andesit, Granit, Metamorf, Breaksi, Vulkanik (Sangat Baik)</p> <p>7. Batuan bersifat kompak : Aglomerat, Breaksi, Sedimen, dan Konlomerat (baik).</p> <p>8. Batu Pasir, Batu Gamping, Tuf Kasar, Batu Lanau (sedang)</p> <p>9. Jenis Pasir, Lanau, Tuf Halus, dan Serpih (Kurang baik)</p>

	10. Jenis Lempung, Gambut, Lumpur (sangat kurang baik).
Kerentanan Sosial	
Kepadatan Penduduk	Jumlah kepadatan penduduk berada pada kerentanan tinggi jika berada pada wilayah rawan gempa bumi. Karena akan banyak korban jiwa jika sangat padat penduduknya.
Jumlah Penduduk Usia Rentan Balita, Jumlah Penduduk Wanita, dan Jumlah Penduduk Penyandang Cacat.	Lemahnya kemampuan Penduduk di Usia rentan, Balita, Penduduk Wanita, dan Penyandang Cacat untuk evakuasi dan bertahan dalam mengantisipasi bencana gempa bumi yang terjadi di daerah penelitian

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus – November 2020. Penelitian ini dilakukan secara online dengan mengikuti bimbingan online tugas akhir di BMKG Tretes, Pasuruan, Jawa Timur.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perangkat keras (*hardware*) berupa Laptop.
2. Perangkat lunak (*software*)
 - a. Microsoft Excel 2016
 - b. ArcGis 10.4
 - c. Google Earth

3.3 Jenis Data

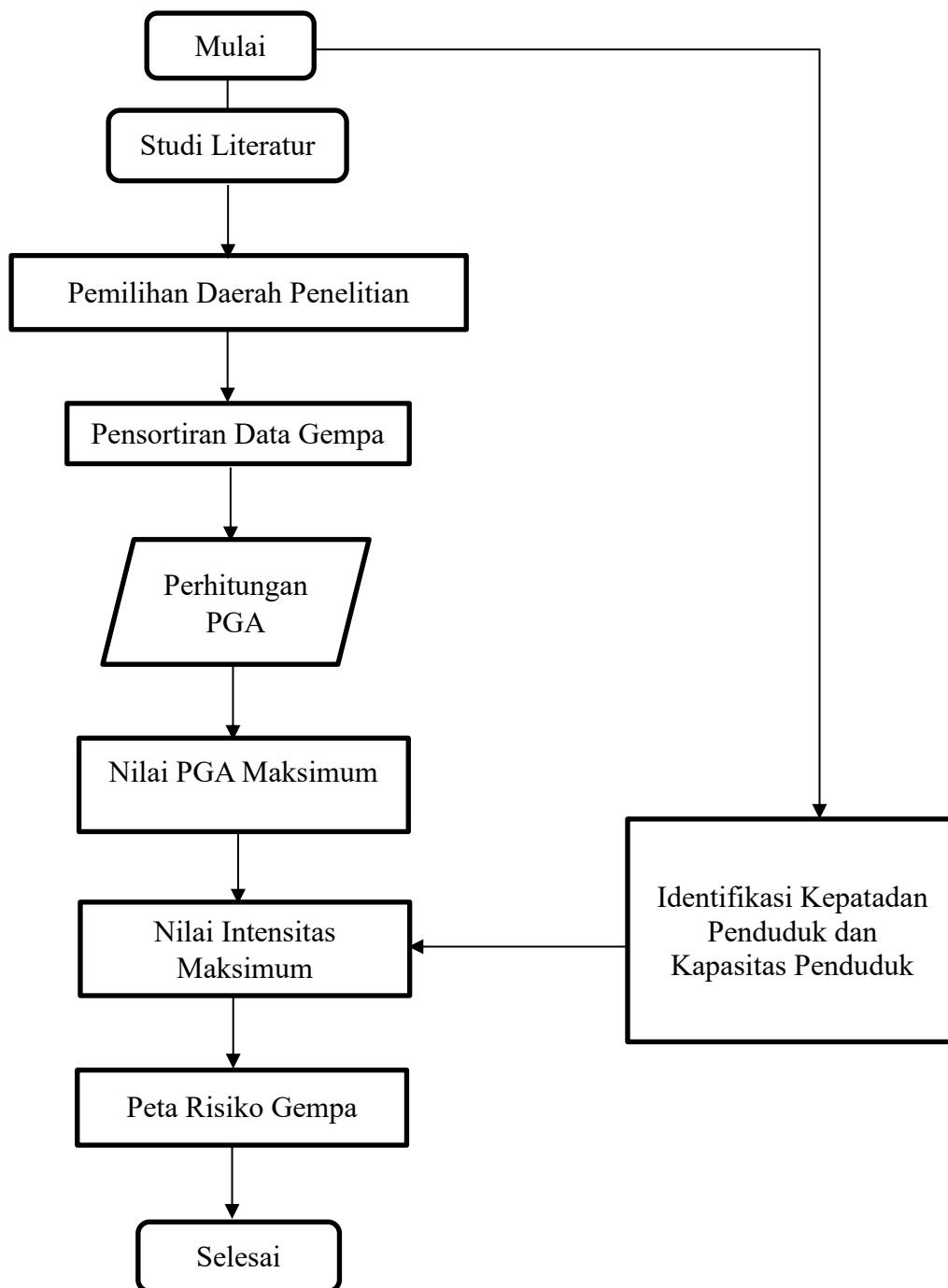
Dalam penelitian ini data penelitian diperoleh dari katalog gempa BMKG dan USGS dalam periode 1970 - 2020 (Bulan Agustus) pada rentang 50 tahun. Katalog gempa BMKG yang dapat diakses <http://repogempa.bmkg.go.id>. Laman USGS dapat diakses <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. Magnitudo yang digunakan yaitu ≥ 5 M. Kedalaman yang digunakan yaitu 0 - 60 km dengan batasan $108,634^0 - 111,307^0$ BT dan $6,25^0 - 9,819^0$ LS.

3.4 Perhitungan dan Input Data

Pada Penelitian ini dilakukan beberapa langkah-langkah untuk menentukan pemetaan nilai percepatan tanah maksimum dan pemetaan risiko gempa bumi sebagai berikut:

1. Mencari latitude dan longitude setiap kecamatan pada Wilayah Jawa Tengah.
2. Membuat grid tiap kecamatan dengan Arc Gis 10.4 (Grid yang akan digunakan yaitu di setiap titik kecamatan di Provinsi Jawa Tengah).
3. Menyusun data historis gempa bumi pada daerah penelitian periode 1970-2020 berdasarkan latitude, longitude, magnitudo, dan kedalaman dengan batasan wilayah $108,634^0 - 111,307^0$ BT dan $6,25^0 - 9,819^0$ LS.
4. Menkonversi Magnitudo sesuai dengan yang dibutuhkan pada tiap metode/rumus atenuasi.
5. Menghitung Jarak episenter dan hiposenter pada titik gempa terhadap titik pengamatan.
6. Menghitung data grid pengamatan menggunakan persamaan formula (atenuasi) Crouse (1991), Fukhusima tanaka, dan Donovan (1973).
7. Membuat peta kontur percepatan tanah maksimum dengan software ArcGIS 10.4.
8. Konversi nilai PGA ke dalam intensitas maksimum
9. Mensortir data kepadatan penduduk dan data kapasitas penduduk dalam laman BPS (Badan Pusat Statistik).
10. Menscoring nilai intensitas maksimum, kepadatan penduduk, dan data kapasitas penduduk Kemudian melakukan pemetaan risiko gempa dengan menggunakan software ArcGIS 10.4.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan risiko bencana gempa bumi merupakan salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk mitigasi gempa bumi. Bentuk mitigasi tersebut dilakukan dengan cara menyesuaikan perencanaan bangunan yang dibangun di suatu daerah. Menurut Tim Revisi Peta Gempa, (2010) terdapat beberapa parameter dalam suatu perencanaan bangunan tahan gempa yaitu percepatan tanah maksimum yang digunakan untuk memberikan informasi kekuatan gempa, respon spektra gempa untuk memberikan informasi tambahan mengenai frekuensi gempa dan kemungkinan efek amplifikasinya, dan riwayat waktu percepatan gempa (*time historis*) yang berfungsi untuk memberikan informasi terlengkap berupa variasi besarnya beban gempa untuk setiap waktu selama durasi gempa.

Salah satu parameter di atas yang digunakan dalam penelitian ini adalah percepatan getaran tanah maksimum atau disebut dengan PGA (*Peak Ground acceleration*). Setiap tempat (*site*) pada saat terjadi gempa bumi memiliki nilai PGA. Nilai PGA juga dapat dikonversi dalam nilai intensitas maksimum. Perolehan nilai PGA diperlukan suatu pengolahan data historis gempa. Pada penelitian ini menggunakan data historis gempa selama 50 tahun dalam rentang tahun (1970-2020). Data tersebut dihitung dengan persamaan atau fungsi atenuasi.

Menurut Irsyam, dkk. (2010) fungsi atenuasi merupakan persamaan matematika sederhana yang dapat menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa meliputi magnitudo dan episenter gempa dengan parameter pergerakan tanah di lokasi yang ditinjau. Fungsi atenuasi telah banyak dirumuskan oleh pakar-pakar seismologi di seluruh dunia. Pemilihan persamaan atenuasi tersebut diperlukan kesamaan karakteristik gempa, magnitudo, dan kondisi geologi

di suatu wilayah penelitian. Sehingga nilai hasil PGA yang diperoleh dari perhitungan atenuasi tersebut sesuai dan dapat dijadikan acuan untuk pemetaan mitigasi gempa bumi.

Persamaan atenuasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Crouse (1991), Fukusima – Tanaka (1992), dan Donovan (1973). Hal ini dilakukan untuk melihat perbandingan hasil dari ketiga persamaan tersebut. Pada tahun 1991 Crouse.C. B. mengusulkan sebuah fungsi atenuasi dengan menggunakan data base gerakan tanah gempa yang terjadi pada zona subduksi Cascadia di Pasifik Barat Laut. Karakteristik atenuasi percepatan tanah puncak (PGA) telah di studi untuk berbagai subset dari data base ini. Hasil analisis data ini digunakan untuk menetapkan bentuk persamaan regresi yang cocok untuk estimasi PGA pada site dengan kondisi tanah padat (*firm soil*).

Fukusima dan Tanaka pada tahun 1990 mengusulkan sebuah fungsi atenuasi. kemudian direvisi pada tahun 1992. Fukusima dan Tanaka menggunakan katalog gempa di Jepang periode tahun (1960-1990) dengan variasi magnitudo 5,4 -7,5 dan variasi episenter gempa (0,1-50) km. Persamaan ini dapat digunakan dalam semua kondisi jenis tanah.

Pada tahun 1974 Donovan mengusulkan rumus untuk percepatan tanah maksimum. Konstanta yang terdapat dalam rumus Donovan (1973) didasarkan pada catatan gempa San Fernando 1971 dan digunakan pada jenis tanah keras di Amerika. Persamaan Donovan ini dapat digunakan pada karakteristik gempa subduksi maupun patahan.

4.1 Analisis Tahapan Pengolahan Data

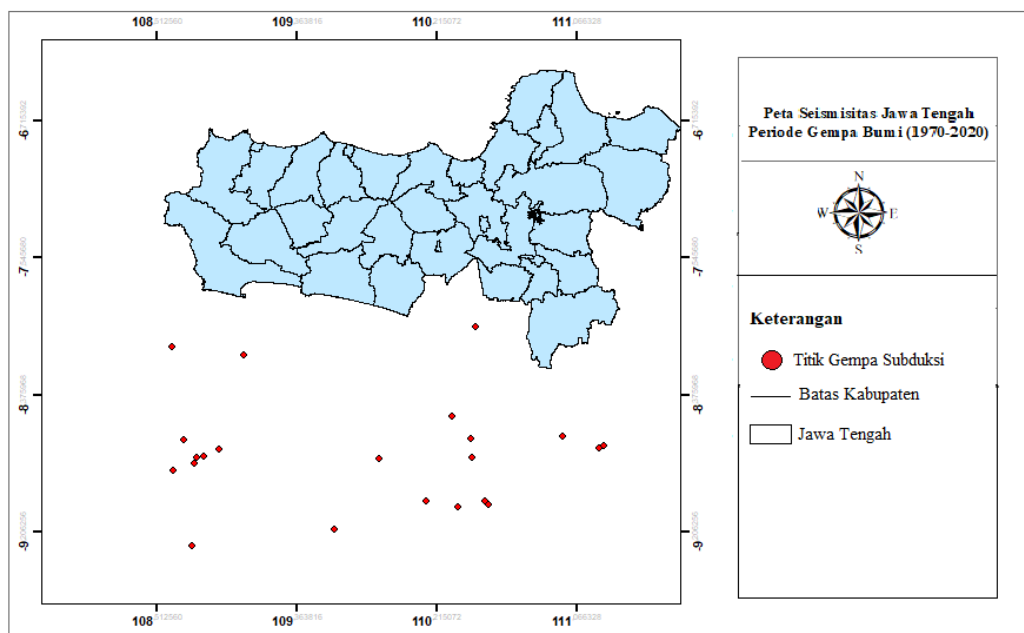
Tahapan pertama dalam penelitian ini yaitu mensortir data historis gempa. Data tersebut merupakan data historis gempa di Jawa Tengah meliputi Yogyakarta dalam rentang tahun 1970-2020. Data – data tersebut disortir sesuai dengan batasan masalah yaitu Jawa Tengah dengan koordinat $108,676^{\circ}$ BT – $111,507^{\circ}$ BT dan $6,432^{\circ}$ LS - $9,429^{\circ}$ LS, Magnitudo (M) ≥ 5 dan kedalaman gempa ≥ 60 km. Adapun data historis gempa bumi merusak terdapat pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Data gempa bumi merusak Wilayah Jawa Tengah tahun 1970-2020

No	Waktu Kejadian	Latitude (derajat)	Longitudo (derajat)	Magnitudo (mw)	Kedalaman (km)	Lokasi
1.	1976/02/14	-8,082	108,607	6,4	53	Zona Selatan Jawa Tengah
2.	1981/03/13	-8,759	110,428	6,1	51	Zona Selatan Jawa Tengah
3.	1985/07/09	-8,503	110,306	5,7	58,9	Zona Selatan Jawa Tengah
4.	1989/09/12	-9,017	110,503	5,6	33	Pantai selatan
5.	1990/05/21	-8,137	109,043	5,6	27,5	Zona Selatan Jawa Tengah
6.	1992/11/21	-8,643	110,423	5,5	47,9	Zona Selatan Jawa Tengah
7.	1996/09/25	-9,295	108,725	5,6	33	Zona Selatan Jawa Tengah
8.	1997/07/12	-9,045	110,527	5,3	33	Zona Selatan Jawa Tengah
9.	2000/01/05	-9,195	109,592	5,8	33	Zona Selatan Jawa Tengah
10.	2001/01/07	-8,703	108,893	5,4	33	Zona Selatan Jawa Tengah
11.	2003/07/19	-8,682	111,227	5,9	56,2	Zona Selatan Jawa Tengah
12.	2004/12/12	-8,837	108,616	5	48,5	Zona Selatan Jawa Tengah
13.	2006/05/26	-7,961	110,446	6,3	12,5	Yogyakarta
14.	2009/07/31	-8,795	108,744	5,4	17,5	Zona Selatan Jawa Tengah
15.	2010/12/21	-8,7	111,197	5,6	54,6	Zona Selatan Jawa Tengah
16.	2011/05/28	-8,756	108,754	5,6	45,3	Zona Selatan Jawa Tengah

17.	2013/08/08	-8,624	110,979	5,8	9,45	Zona Selatan Jawa Tengah
18.	2014/04/18	-9,056	110,344	5,8	15,37	Zona Selatan Yogyakarta
19.	2015/07/24	8,248	108,916	5,5	48	Zona Selatan Jawa Tengah
20.	2017/01/02	-8,746	108,797	5,7	38,14	Zona Selatan Jawa Tengah
21.	2018/08/28	-9,022	110,145	5,2	40	Zona Selatan Jawa Tengah
22.	2019/08/10	-8,65	108,68	5,5	29	Zona Selatan Jawa Tengah
23.	2020/07/12	-8,76	109,86	5,3	30	Zona Selatan Jawa Tengah

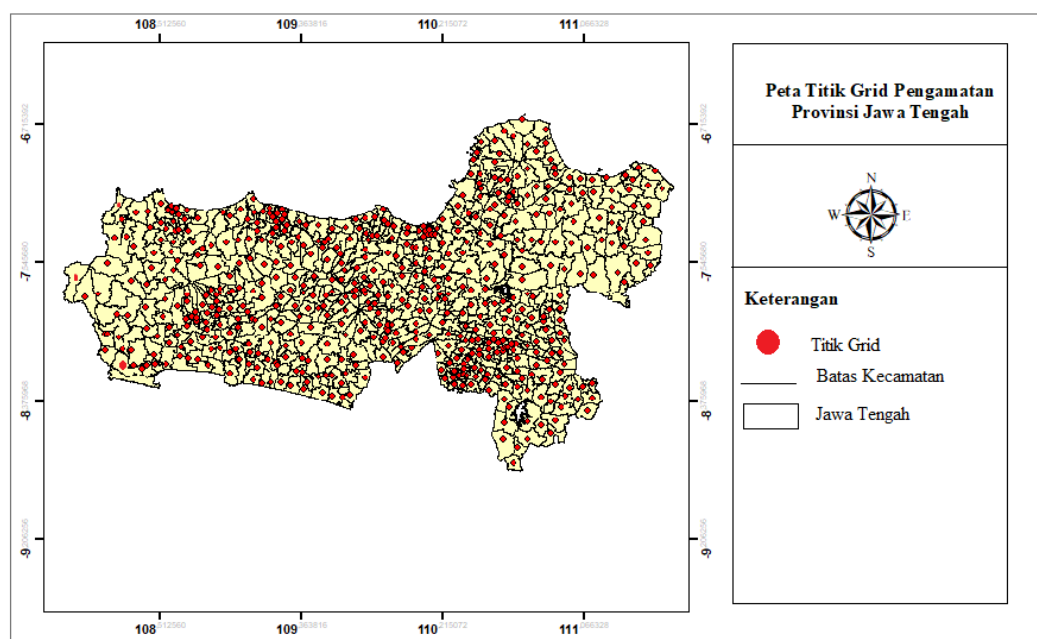
Parameter latitude dan longitude gempa bumi dalam Tabel 4.1 dapat menunjukkan posisi gempa bumi di wilayah penelitian. Posisi gempa bumi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Posisi Gempa di wilayah penelitian

Tahapan kedua yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menentukan grid (titik pengamatan). Grid tersebut digunakan untuk menghitung jarak antara episenter gempa dengan titik dimana wilayah daerah penelitian (pengamatan) dilakukan. Titik Grid ditentukan pada setiap titik kecamatan di Provinsi Jawa

Tengah. Sebelum membuat grid, ditentukan lintang dan bujur setiap kecamatan di Provinsi Jawa Tengah. Lintang dan bujur titik kecamatan di Jawa tengah didapatkan dari aplikasi *Google Earth Pro*. Lintang dan bujur tersebut kemudian dikonversi dari satuan derajat menjadi bentuk desimal. Cara mengkonversi koordinat dari derajat ke dalam bentuk desimal dapat diakses pada halaman <http://www.yogantara.info/>. Langkah selanjutnya yaitu pembuatan grid penelitian menggunakan software Arc GIS 10.4. Untuk membuat grid, lintang bujur tersebut dimasukkan ke dalam Arc Gis dalam bentuk file 97-2003 Workbook Excel. Hasil grid penelitian dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini. Pada gambar tersebut terdapat 573 titik pengamatan.



Gambar 4.2 Titik Grid Penelitian di Provinsi Jawa Tengah

Tahapan ketiga dalam penelitian ini yaitu melakukan perhitungan. Perhitungan data dilakukan menggunakan Ms. Excel 2016. Langkah yang pertama yaitu menghitung jarak episenter dan hiposenter pada setiap grid yang sudah ditentukan. Perhitungan episenter dan hiposenter yaitu:

- Menghitung jarak episenter ke masing - masing grid dengan:

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

Dimana:

Δ = 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 sumber gempa (satuan derajat)

- Menghitung Jarak hiposenter ke masing - masing grid dengan:

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

Dimana:

R = Jarak hiposenter (satuan derajat)

Δ = Jarak episenter (satuan derajat)

h = Kedalaman gempa (km)

Tahapan selanjutnya yaitu dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di setiap tempat titik penelitian. Perhitungan nilai PGA menggunakan rumus (fungsi atenuasi) oleh Crouse (1991), Fukushima-Tanaka (1992), dan Donovan (1973). Berikut rumus/ fungsi atenuasi perhitungan nilai PGA:

- a) Bentuk fungsi Fukushima-Tanaka (1992):

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

Dimana:

M_w = Magnitudo Momen

R = Episenter (Km)

b) Bentuk fungsi Crouse (1991):

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

Dimana:

PGA = Percepatan tanah puncak (PGA)

M_w = Magnitudo momen

R = Episenter (km)

H = Hiposenter (km)

c) Bentuk fungsi Donovan (1973):

$$\alpha = 1080 \cdot \exp^{0,5 M_s} \cdot (R + 25)^{-1,32}$$

Dimana:

α = Percepatan tanah pada permukaan

M_s = Magnitudo surface (permukaan)

R = Jarak Hiposenter

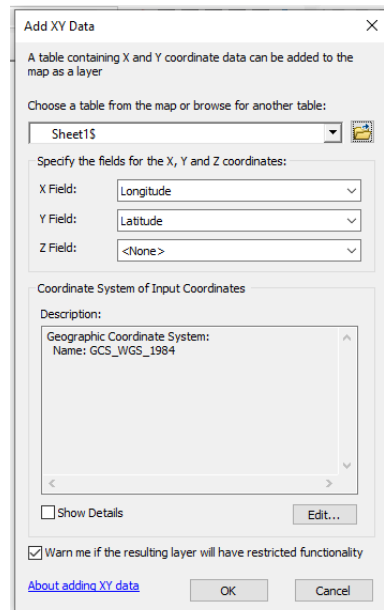
Tahapan Keempat dalam penelitian ini yaitu Pemetaan. Pemetaan dilakukan untuk membuat peta percepatan tanah maksimum dan peta risiko gempa bumi. Penyusunan komponen peta risiko gempa bumi ini adalah intensitas maksimum, indeks kepadatan penduduk, dan indeks kapasitas. Pemetaan risiko gempa bumi dan peta percepatan tanah maksimum menggunakan software Arc GIS 10.4.

Terdapat 2 tahapan pemetaan dalam penelitian ini yaitu:

a) Tahapan pembuatan peta percepatan tanah maksimum (PGA) yaitu:

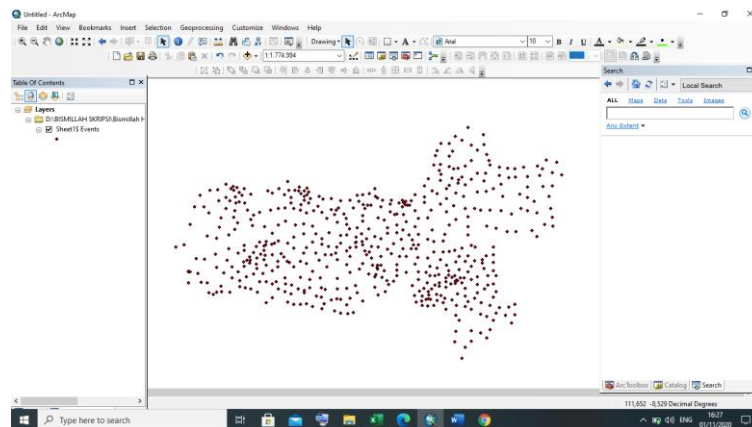
3. Buka Arc GIS 10.4. Klik New Maps
4. Masukkan Data nilai PGA (bentuk xyz dalam format excel 97-2003 workbook) dengan cara klik File – Add Data – Add XY Data. Kemudian

akan tampil seperti tampilan di bawah ini. Pada Description pilih edit kemudian pilih Coordinat System-World-WGS 1984.



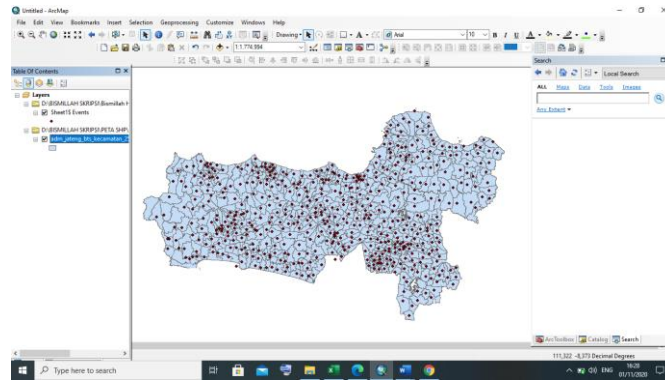
Gambar 4.3 Tampilan dalam Arc GIS untuk membuka file dalam bentuk nilai (XYZ Data)

5. Kemudian tampilan nilai PGA adalah grid data seperti di bawah ini



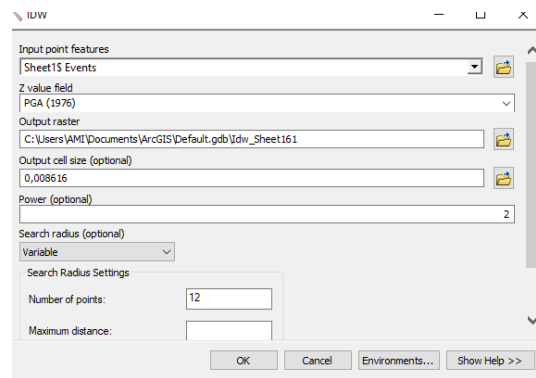
Gambar 4.4 Tampilan grid data dalam Arc GIS

6. Langkah selanjutnya adalah memasukkan peta SHP batas kecamatan Provinsi Jawa Tengah dengan cara klik add data – pilih file SHP batas kecamatan Jawa Tengah yang telah di download – Ok. Peta SHP akan tampil seperti gambar di bawah ini.



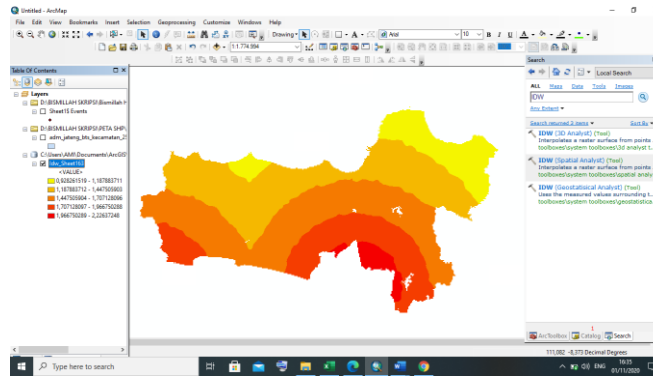
Gambar 4.5 Tampilan grid data dengan peta SHP Jawa Tengah dalam Arc GIS 10.4

7. Kemudian dilakukan tahap interpolasi dengan cara klik IDW di laman pencarian (search) – pilih IDW (3D Analyst) (tool).
8. Tampilan IDW akan tampak seperti gambar 4.6. Kemudian masukkan nilai PGA pada *Z value field* – klik *enviroments* – *Raster Analysis* – *Mask* (Masukkan peta SHP batas kecamatan Provinsi Jawa Tengah).



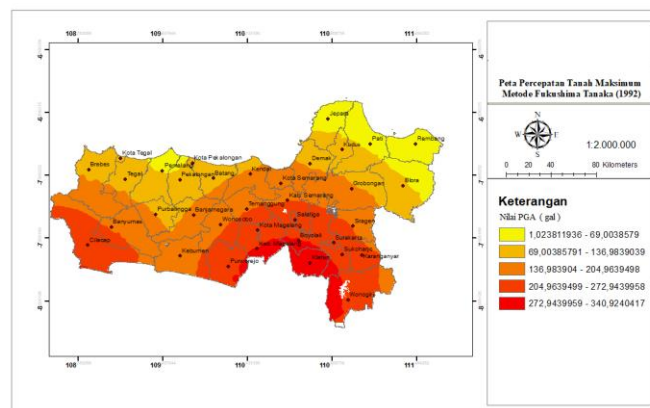
Gambar 4.6 Tampilan Tahap Interpolasi dengan IDW

2. Klik Ok – Tunggu IDW memproses data, Kemudian akan tampil interpolasi nilai PGA seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.7 Tampilan dalam Arc GIS Hasil Interpolasi

3. Lakukan editing (batas lintang-bujur, label, keterangan) – Selesai.



Gambar 4.8 Hasil Editing

b) Tahapan Pembuatan Peta Risiko Gempa bumi

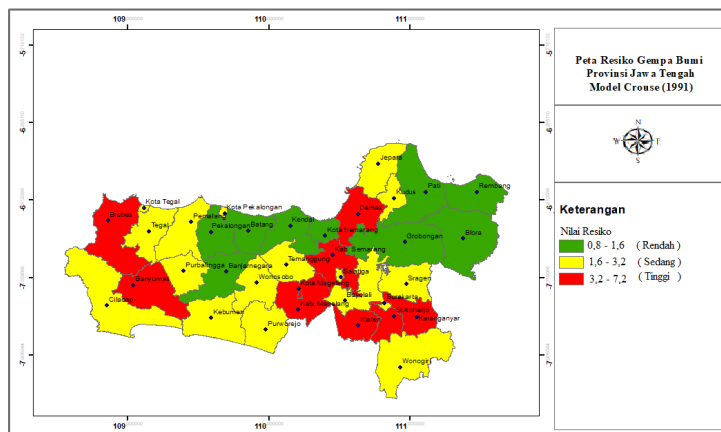
Langkah – langkah yang dilakukan untuk pemetaan risiko gempa bumi yaitu :

- 1) Mencari data kepadatan penduduk dan data indeks pembangunan manusia pada laman bps yaitu (<https://jateng.bps.go.id/>)
- 2) Melakukan scoring pada kompoenen penyusun peta risiko yaitu dengan melihat tabel 2.6.
- 3) Melakukan perhitungan risiko bencana gempa bumi yaitu :

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

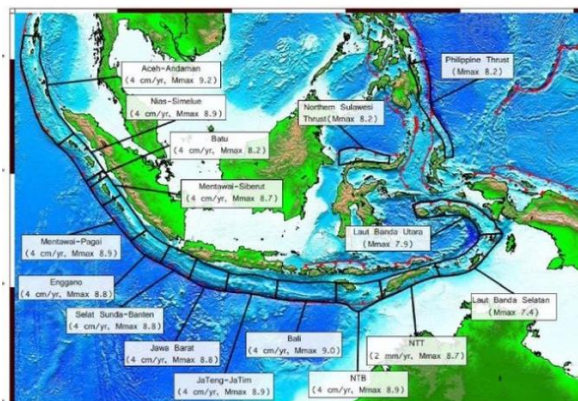
Dengan R adalah risiko (*risk*); H adalah bahaya (*hazard*) didapatkan dari nilai intensitas maksimum, V adalah kerentanan (*vulnerability*) didapatkan dari indeks kepadatan penduduk, dan C adalah kapasitas didapatkan dari indeks pembangunan manusia.

- 4) Membuat peta risiko menggunakan software Arc GIS 10.4. Pembuatan Peta tersebut dilakukan dengan mengklasifikasi warna risiko/bahaya. Gambar 4.9 di bawah ini merupakan hasil klasifikasi warna dengan memasukkan data risiko/bahaya yang telah dihitung pada Arc GIS 10.4



Gambar 4.9 Hasil Peta Risiko

4.2 Analisis Data dan Pembahasan



Gambar 4.10 Segmen Subduksi di Indonesia (Sumber : Kompas.com)

Pulau Jawa dapat dibagi menjadi dua lajur seismotektonik, yakni lajur seismotektonik tunjaman selatan Jawa dan lajur seismotektonik sesar-sesar aktif daratan Jawa. Karakteristik lajur seismotektonik tunjaman selatan Jawa merupakan bagian dari lempeng tektonik Samudra Hindia-Australia yang menunjam di bawah bagian lempeng tektonik Benua Asia-Eropa. Akibat tunjaman tersebut terbentuk struktur-struktur geologi regional di wilayah daratan Jawa. Struktur tersebut dapat diamati khususnya di daerah Jawa Tengah-Yogyakarta, diantaranya Sesar Bumiayu, Sesar kebumen, Sesar Semarang Jepara, Sesar Lasem, Sesar Rawapening, dan Sesar Opak (Soehaimi, 2008).

Menurut Daryono,dkk (2015) Zona Selatan Jawa merupakan lajur pertemuan lempeng yang bersifat konvergen, dimana Lempeng-Indo-Australia, menyusup ke bawah Lempeng Eurasia dengan kecepatan 50-70 mm/tahun. Pada batas pertemuan lempeng ini ditandai dengan adanya palung samudra. Sistem subduksi ini menunjam ke bawah di sepanjang palung laut dalam. Palung ini biasa disebut patahan anjak besar atau *Megathrust*. *Megathrust* merupakan gempa bermagnitudo besar yang memicu terjadinya tsunami.

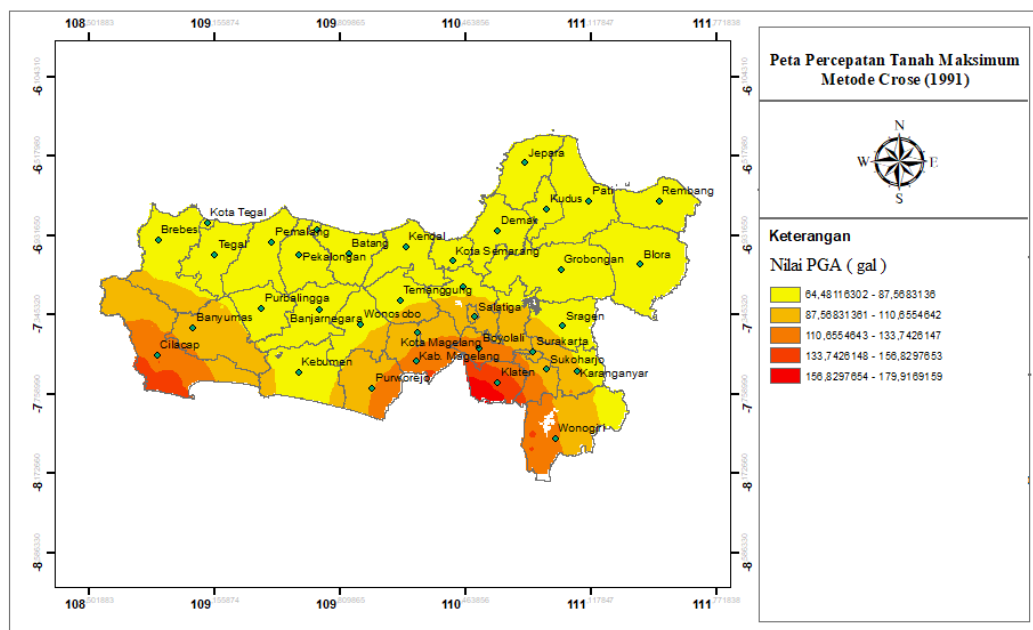
Wilayah Jawa Tengah termasuk salah satu wilayah rawan gempa bumi khususnya pada bagian zona selatan Jawa Tengah. Historis gempa bumi di Jawa Tengah telah merekam terjadinya gempa bumi yang dapat dirasakan getarannya. Gempa bumi tersebut bersifat merusak. Kerusakan akibat gempa bumi berkekuatan besar mengakibatkan ribuan rumah, fasilitas umum, dan bangunan-bangunan lainnya roboh. Banyak korban jiwa yang tertimpa bangunan tersebut. Melihat kejadian ini perlu diperlukan banyak penelitian di wilayah yang sering terjadi gempa bumi khususnya di zona selatan Jawa Tengah.

4.2.1 Analisis Peta Percepatan Tanah Maksimum

Dalam penelitian ini digunakan 3 metode atau fungsi atenuasi untuk menghitung percepatan tanah maksimum (PGA). Metode tersebut yaitu Crouse (1991), Fukusima-Tanaka (1992), dan Donovan (1973). Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan ketiga metode tersebut. Hasil nilai dari PGA ini kemudian dikonversi ke dalam bentuk intensitas gempa dalam skala MMI. Nilai intensitas gempa tersebut dapat digunakan untuk melihat tingkat kerusakan bangunan di suatu daerah.

Hasil pemetaan dengan Metode Crouse (1991) dapat dilihat pada gambar 4.11. Hasil nilai PGA tersebut kemudian dikonversi ke dalam skala MMI. Nilai konversi PGA dapat dilihat pada tabel 2.4. Nilai (PGA) tertinggi dalam Metode Crouse dengan kisaran nilai (PGA) 180 gal. Wilayah tersebut yaitu Klaten yang berada pada skala VII MMI. Kemudian wilayah yang diperkirakan berada pada tingkat sedang berkisar pada nilai (PGA) 92-180 gal berada pada wilayah Cilacap, Banyumas, Kebumen, Purworejo, Kab. Magelang, Kota Magelang,

Boyolali, Wonosobo, Sukoharjo, Wonogiri, Karanganyar, Surakarta, Kab. Semarang, Temanggung, Brebes, Salatiga, dan Sragen. Wilayah tersebut berada pada skala VI MMI. Adapun wilayah pada tingkat rendah dengan kisaran nilai 64-87 gal berada pada Wilayah Purbalingga, Banjarnegara, Grobongan, Blora, Rembang, Pati, Kudus, Jepara, Demak, Kendal, Batang, Pekalongan, Pemalang, Kab. Tegal, Kota Tegal, Kota Semarang, dan Kota Pekalongan. Wilayah tersebut berada pada tingkat skala V MMI.

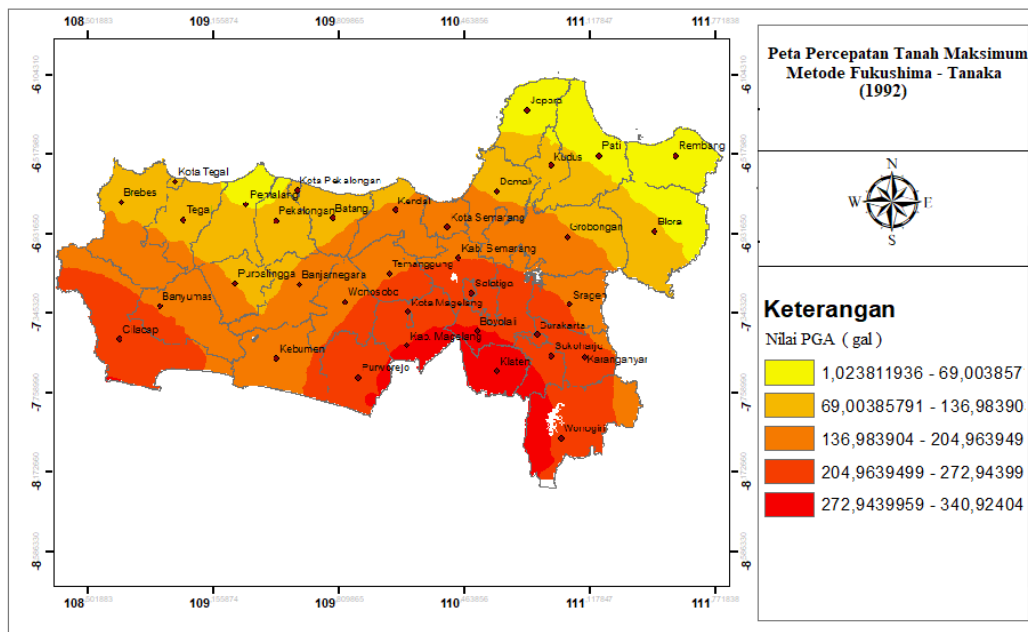


Gambar 4.11 Peta Percepatan Tanah Maksimum Metode Crouse

Tabel 4.2 Hasil Nilai PGA Menggunakan Model Crouse (1990)

No.	Nama Kabupaten	PGA (gal)	Skala MMI
1.	Cilacap	142	VI
2.	Banyumas	110	VI
3.	Purbalingga	87	V
4.	Banjarnegara	85	V
5.	Kebumen	93	VI
6.	Purworejo	128	VI
7.	Wonosobo	140	VI
8.	Kab. Magelang	142	VI
9.	Boyolali	129	VI
10.	Klaten	180	VI-VII
11.	Sukoharjo	127	VI
12.	Wonogiri	136	VI
13.	Karanganyar	112	VI
14.	Sragen	93	VI
15.	Grobongan	80	V
16.	Blora	76	V
17.	Rembang	81	V
18.	Pati	71	V
19.	Kudus	67	V
20.	Jepara	69	V
21.	Demak	81	V
22.	Kab. Semarang	109	VI
23.	Temanggung	93	VI
24.	Kendal	80	V
25.	Batang	69	V
26.	Pekalongan	72	V
27.	Pemalang	79	V
28.	Kab. Tegal	83	V
29.	Brebes	94	VI
30.	Kota Magelang	108	VI
31.	Surakarta	107	VI
32.	Salatiga	105	VI
33.	Kota Semarang	74	V
34.	Kota Pekalongan	72	V
35.	Kota Tegal	72	V

Hasil pemetaan dengan Metode Fukusuhima-Tanaka (1992) dapat dilihat pada gambar 4.12. Nilai tertinggi (PGA) yaitu dengan kisaran nilai 204-304 gal berada pada skala VII MMI. Wilayah tersebut yaitu Cilacap, Banyumas, Banjarnegara, Kebumen, Purworejo, Wonosobo, Kab. Magelang, Boyolali, Klaten, Sukoharjo, Wonogiri, Karanganyar, Sragen, Grobongan, Kab. Semarang, Temanggung, Kendal, Pekalongan, Surakarta, dan Salatiga. Kemudian wilayah yang diperkirakan berada pada tingkat sedang berkisar pada nilai 120-180 gal. Wilayah tersebut berada pada skala VI MMI meliputi Purbalingga, Banjarnegara, Blora, Kudus, Demak, Batang, Kab. Tegal, Brebes, Kota Magelang, dan Kota Semarang. Adapun wilayah pada tingkat rendah dengan kisaran (PGA) 62-92 gal berada pada skala V MMI meliputi Rembang, Pati, Jepara, Pemalang, Kota Tegal dan Kota Pekalongan.



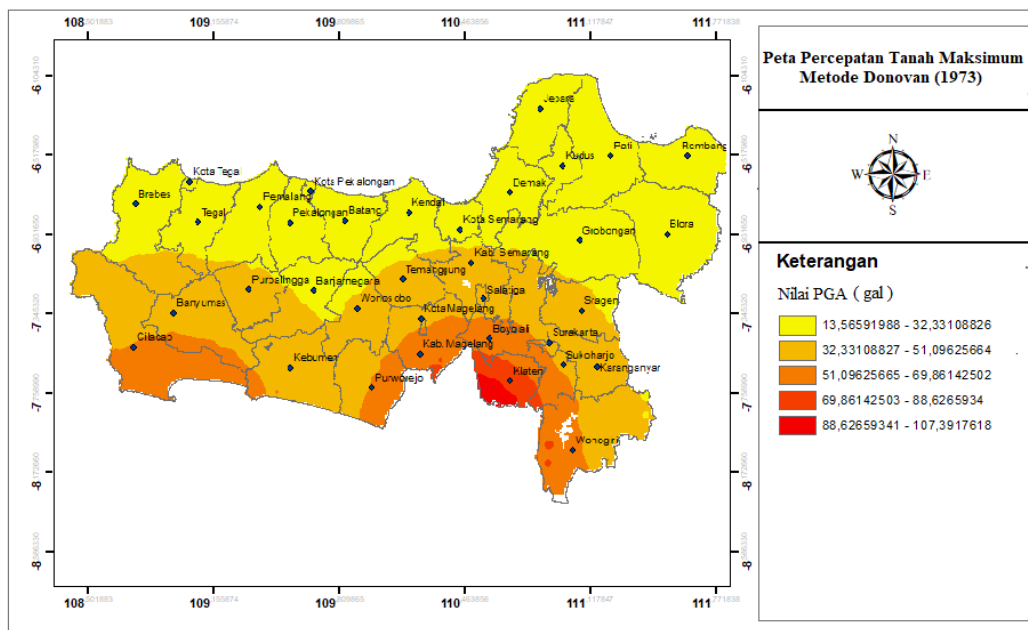
Gambar 4.12 Peta Percepatan Tanah Maksimum Metode Fukushima-Tanaka

Tabel 4.3 Hasil Nilai PGA Menggunakan Metode Fukushima – Tanaka

No.	Nama Kabupaten	PGA (gal)	Skala MMI
1.	Cilacap	313	VII
2.	Banyumas	223	VII
3.	Purbalingga	131	VI
4.	Banjarnegara	166	VI
5.	Kebumen	223	VII
6.	Purworejo	280	VII
7.	Wonosobo	198	VII
8.	Kab. Magelang	304	VII
9.	Boyolali	323	VII
10.	Klaten	341	VII
11.	Sukoharjo	273	VII
12.	Wonogiri	266	VII
13.	Karanganyar	288	VII
14.	Sragen	199	VII
15.	Grobongan	256	VII
16.	Blora	129	VI
17.	Rembang	70	V
18.	Pati	69	V
19.	Kudus	180	VI
20.	Jepara	77	V
21.	Demak	148	VI
22.	Kab. Semarang	199	VII
23.	Temanggung	200	VII
24.	Kendal	198	VII
25.	Batang	178	VI
26.	Pekalongan	200	VII
27.	Pemalang	62	V
28.	Kab. Tegal	180	VI
29.	Brebes	166	VI
30.	Kota Magelang	129	VI
31.	Surakarta	256	VII
32.	Salatiga	232	VII
33.	Kota Semarang	180	VI
34.	Kota Pekalongan	92	V
35.	Kota Tegal	90	V

Hasil pemetaan dengan Metode Donovan (1973) dapat dilihat pada gambar 4.13. Nilai tertinggi percepatan tanah maksimum dengan Metode Donovan (1973) yaitu dengan kisaran nilai 107 gal. Wilayah tersebut yaitu Klaten berada pada skala

VI MMI. Kemudian wilayah yang diperkirakan berada pada tingkat sedang berkisar pada nilai 44-84 gal. Wilayah tersebut berada pada skala V MMI meliputi Cilacap, Banyumas, Purbalingga, Banjarnegara, Kebumen, Purworejo, Wonosobo, Kab. Magelang, Boyolali, Sukoharjo, Wonogiri, Karanganyar, Sragen, Kab. Semarang, Temanggung, Brebes, Kota Magelang, Surakarta, Salatiga, Kota Semarang. Adapun wilayah pada tingkat rendah dengan kisaran nilai 30-36 (PGA) gal berada pada skala IV MMI meliputi Grobongan, Blora, Rembang, Pati, Kudus, Jepara, Demak, Kendal, Batang, Pekalongan, Pemalang, Kab. Tegal, Kota Pekalongan, dan Kota Tegal.



Gambar 4.13 Peta Percepatan Tanah Maksimum Metode Donovan

Tabel 4.4 Hasil Nilai PGA Menggunakan Model Donovan

No.	Nama Kabupaten	PGA (gal)	Skala MMI
1.	Cilacap	67	V
2.	Banyumas	55	V
3.	Purbalingga	43	V
4.	Banjarnegara	43	V
5.	Kebumen	56	V
6.	Purworejo	65	V
7.	Wonosobo	75	V
8.	Kab. Magelang	76	V
9.	Boyolali	67	V
10.	Klaten	107	VI
11.	Sukoharjo	65	V
12.	Wonogiri	71	V
13.	Karanganyar	51	V
14.	Sragen	42	V
15.	Grobongan	33	IV
16.	Blora	22	IV
17.	Rembang	17	IV
18.	Pati	23	IV
19.	Kudus	22	IV
20.	Jepara	20	IV
21.	Demak	33	IV
22.	Kab. Semarang	52	V
23.	Temanggung	42	V
24.	Kendal	33	IV
25.	Batang	26	IV
26.	Pekalongan	27	IV
27.	Pemalang	31	IV
28.	Kab. Tegal	33	IV
29.	Brebes	91	V
30.	Kota Magelang	52	V
31.	Surakarta	51	V
32.	Salatiga	50	V
33.	Kota Semarang	66	V
34.	Kota Pekalongan	35	IV
35.	Kota Tegal	24	IV

Hasil percepatan tanah maksimum dari ketiga metode di atas memiliki perbedaan sekaligus kesamaan. Perbedaan dari ketiga metode tersebut dapat dilihat dari warna dan nilai percepatan tanah maksimum. Pada Metode Fukushima-Tanaka

memiliki nilai PGA lebih tinggi jika dibandingkan dengan Metode Crouse dan Donovan. Hal ini disebabkan adanya perbedaan parameter dalam tiap metode atau fungsi atenuasi. Parameter dalam metode Crouse yaitu magnitudo, episenter, hiposenter. Parameter yang terdapat dalam formula Fukushima-Tanaka yaitu magnitudo dan episenter. Kemudian dalam Metode Donovan terdapat parameter magnitudo dan hiposenter. Semakin banyak komponen yang digunakan maka hasil yang didapatkan lebih akurat. Perlu diperhatikan juga mengenai jenis gempa yang digunakan dengan metode / fungsi atenuasi yang akan digunakan. Adapun kesamaan dari ketiga metode tersebut juga dapat dilihat dalam peta yaitu semakin jauh jarak dari pusat gempa maka semakin kecil nilai PGA. Hal ini disebabkan karena energi gempa meluruh terhadap jarak. Ketiga metode tersebut menunjukkan nilai PGA tertinggi berada di Zona Selatan Jawa Tengah di dalam peta ditandai dengan warna merah. Daerah tersebut antara lain Cilacap, Kebumen, Purworejo, Banyumas, Wonosobo, Kab. Magelang, Klanten, Wonogiri, dan Karanganyar. Tingginya nilai percepatan tanah maksimum di daerah tersebut sangat dipengaruhi oleh event gempa yang merusak terjadi pada 27 Mei 2006 yang mengguncang wilayah Yogyakarta dan Jawa Tengah.

Selain nilai percepatan tanah maksimum, terdapat nilai intensitas maksimum. Intensitas maksimum merupakan salah satu komponen untuk menentukan tingkat risiko gempa bumi pada suatu wilayah. Pada penelitian ini nilai percepatan tanah maksimum (PGA) sebanding dengan nilai intensitas maksimum. Intensitas maksimum yang didapatkan dari ketiga metode yaitu pada skala VI-VII MMI. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Soehaimi (2008) yaitu

Intensitas maksimum gempa bumi yang merusak umumnya di Jawa berskala VI, VII, VIII dan IX.

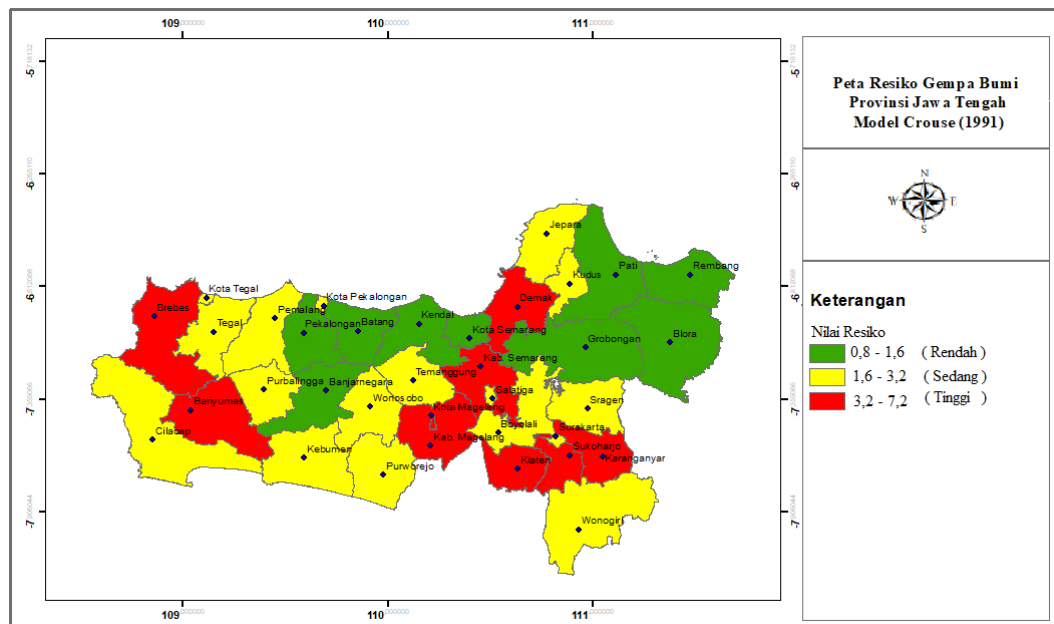
4.2.2 Analisis Peta Risiko Akibat Gempa bumi

Pemetaan risiko gempa sangat dipengaruhi oleh komponen penyusunnya. Komponen penyusun peta risiko gempa dalam penelitian ini yaitu komponen bahaya yang didapatkan dari intensitas maksimum, Kemudian komponen kerentanan didapatkan dari indeks kepadatan penduduk, Sedangkan komponen kapasitas didapatkan dari indeks pembangunan manusia. Komponen-komponen tersebut dihitung menggunakan rumus 2.7, Hasil perhitungan tersebut kemudian diklasifikasikan menggunakan software Arc GIS 10.4 sehingga menjadi peta risiko gempa bumi.

Pemetaan risiko gempa bumi diklasifikasikan menjadi 3 kelas yakni tinggi, sedang, dan rendah. Menurut BNPB (2018) klasifikasi tingkat risiko bencana dapat dilakukan dengan skoring. Tabel skoring tersebut dapat dilihat dalam tabel 2.6. Komponen bahaya gempa bumi dalam penelitian ini menggunakan nilai intensitas maksimum yang didapatkan dari konversi nilai PGA ke dalam intensitas. Nilai intensitas bernilai rendah menggunakan skor 4, sedangkan nilai intensitas bernilai sedang menggunakan skor 8, dan nilai intensitas bernilai tinggi menggunakan skor 12. Terdapat juga komponen kerentanan dan komponen kapasitas yang perlu untuk dilakukan skoring. Komponen kerentanan didapatkan dari data kepadatan penduduk tahun 2019 yang berasal dari Badan Pusat Statistik (BPS), dimana rentang nilai <500 jiwa yang berisiko/km² memiliki skor 0,4, nilai 500 – 1000 jiwa yang berisiko/km² memiliki skor 0,8, dan nilai >1000 jiwa yang berisiko/km²

memiliki skor 1,2. Kemudian komponen kapasitas didapatkan dari indeks pembangunan manusia tahun 2019 berasal dari BPS, dimana nilai <55 kapasitas memiliki skor 1, nilai pada rentang 55-85 memiliki skor 2. Dan pada nilai >85 memiliki skor 3.

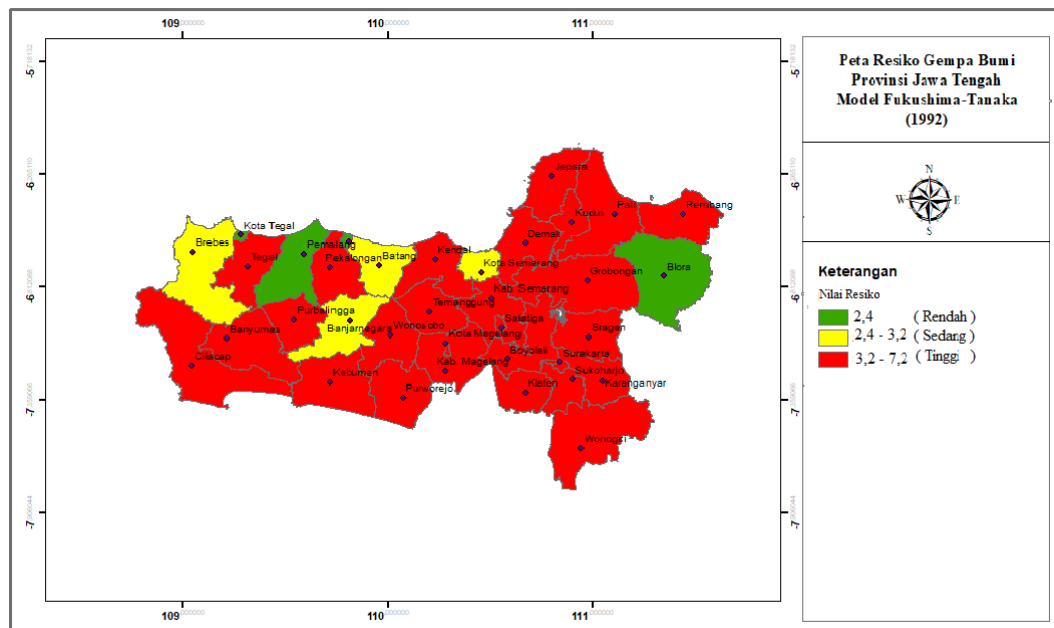
Terdapat 3 model peta risiko gempa bumi. Yaitu Model Crouse (1991), Fukushima – Tanaka (1992), dan Donovan (1973). Adapun ketiga model peta risiko akibat gempa bumi di Wilayah Jawa Tengah dapat dilihat pada gambar 4.12, 4.15, dan 4.16.



Gambar 4.14 Peta Risiko Gempa Bumi Model Crouse

Diperkirakan wilayah yang memiliki risiko paling tinggi akibat gempa bumi pada peta risiko Model Crouse (1991) adalah wilayah yang berwarna merah. Wilayah tersebut yaitu Banyumas, Brebes, Kab. Magelang, Kota Magelang, Klaten, Kab. Semarang, Demak, Sukoharjo, dan Karanganyar. Risiko tinggi disini dipengaruhi oleh intensitas gempa yang tinggi yaitu VI-VII MMI. Getaran gempa tersebut dapat dirasakan oleh semua orang di dalam maupun di luar ruangan. Getaran gempa tersebut dapat mengakibatkan barang-barang pecah dan berjatuhan,

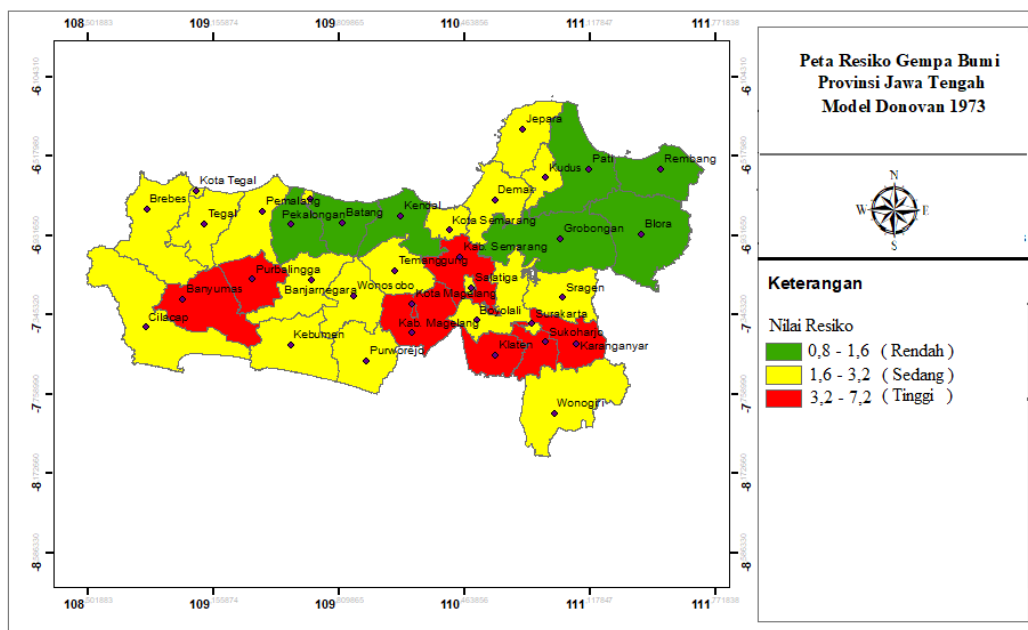
bangunan tua dan bangunan yang tidak dibangun standar gempa roboh dan rusak, terjadi likuifaksi, retakan tanah, longsor, sumur penduduk keruh, selokan dan saluran irigasi rusak, dan bagian atas bangunan rusak. Kemudian wilayah yang diperkirakan terdampak risiko sedang ditandai dengan warna kuning dengan VI MMI yaitu Cilacap, Kebumen, Purworejo, Wonogiri, Kab. Tegal, Kota Tegal, Pemalang, Purbalingga, Temanggung, Kota Pekalongan, Wonosobo, Banjarnegara, Temanggung, Salatiga, Boyolali, Sragen, Kudus, dan Jepara. Getaran gempa tersebut dapat dirasakan oleh semua di luar ruangan dan di dalam ruangan. Getaran gempa tersebut dapat mengakibatkan piring, kaca jendela, dan gelas pecah, dinding retak. Adapun Wilayah yang diperkirakan berisiko ringan ditandai dengan warna hijau pada skala V MMI yaitu Kab.Pekalongan, Batang, Kendal, Banjarnegara, Kota Semarang, Grobongan, Blora, Pati, dan Rembang. Getaran gempa tersebut terasa di luar ruangan. Orang di dalam rumah yang tidur terbangun, pintu berayun, pigura – pigura dinding bergerak, dan jam pendulum berhenti atau mulai berubah kecepatannya.



Gambar 4.15 Peta Risiko Gempa Bumi Model Fukushima-Tanaka (1992)

Hasil peta risiko gempa bumi pada model Fukushima-Tanaka yaitu diperkirakan daerah yang memiliki risiko tinggi ditandai dengan warna merah pada skala VII MMI yaitu Cilacap, Banyumas, Purbalingga, Tegal, Pekalongan, Kebumen, Purworejo, Purbalingga, Wonosobo, Kab. Magelang, Kota Magelang, Temanggung, Kendal, Kab. Semarang, Salatiga, Boyolali, Surakarta, Sukoharjo, Karanganyar, Wonogiri, Sragen, Grobongan, Demak, Kudus, Pati, Jepara, dan Rembang. Getaran gempa tersebut dirasakan oleh semua orang di dalam maupun di luar ruangan. Getaran gempa tersebut dapat mengakibatkan barang-barang pecah dan berjatuhan, bangunan tua dan bangunan yang tidak dibangun standar gempa roboh dan rusak, terjadi likuifaksi, retakan tanah, longsor, sumur penduduk keruh, selokan dan saluran irigasi rusak, dan bagian atas bangunan rusak. Sedangkan daerah yang diperkirakan berada dalam risiko sedang ditandai dengan warna kuning pada VI MMI yaitu Brebes, Banjarnegara, Batang, dan Kota Semarang. Getaran gempa tersebut dapat dirasakan oleh semua di luar ruangan dan

di dalam ruangan. Getaran gempa tersebut mengakibatkan piring, kaca jendela, dan gelas pecah, dinding retak. Adapun Wilayah yang diperkirakan berisiko ringan ditandai dengan warna hijau pada skala V MMI yaitu Kota Tegal, Pemalang, Kota Pekalongan, dan Blora. Getaran gempa tersebut terasa di luar ruangan. Orang di dalam rumah yang tidur terbangun, pintu berayun, pigura – pigura dinding bergerak, dan jam pendulum berhenti atau mulai berubah kecepatannya.



Gambar 4.16 Peta Risiko Gempa Bumi Model Donovan (1973)

Diperkirakan wilayah yang memiliki risiko paling tinggi akibat gempa bumi pada peta risiko Model Donovan (1973) adalah wilayah yang berwarna merah pada VI MMI. Getaran gempa tersebut dapat dirasakan oleh semua di luar ruangan dan di dalam ruangan. Getaran tersebut mengakibatkan piring, kaca jendela, dan gelas pecah, dinding retak. Wilayah yang berada pada tingkat risiko tinggi yaitu Banyumas, Purbalingga, Kab. Magelang, Kota Magelang, Kab. Semarang, Klaten, Sukoharjo, dan Karanganyar. Kemudian wilayah yang diperkirakan terdampak

risiko sedang ditandai dengan warna Kuning pada skala V MMI yaitu Cilacap, Kebumen, Temanggung, Purworejo, Wonogiri, Brebes, Kab. Tegal, Kota Tegal, Pemalang, Kota Pekalongan, Wonosobo, Banjarnegara, Temanggung, Salatiga, Boyolali, Sragen, Kota Semarang, Demak, Kudus, dan Jepara. Daerah tersebut merasakan getaran gempa yang terasa di luar ruangan. Orang di dalam rumah yang tidur terbangun, pintu berayun, pigura – pigura dinding bergerak, dan jam pendulum berhenti atau mulai berubah kecepatannya. Adapun Wilayah yang diperkirakan berisiko ringan ditandai dengan warna hijau pada skala IV MMI yaitu Kab. Pekalongan, Batang, Kendal, Grobongan, Blora, Pati, dan Rembang. Daerah tersebut merasakan gempa di dalam rumah, Getaran terasa seperti dilewati truk-truk besar atau seperti peluru menghantam dinding. Getaran tersebut mengakibatkan pintu dan jendela berayun, dan gelas berdenting.

Hasil pemetaan risiko gempa bumi dengan menggunakan ketiga metode diatas yang paling sesuai dengan hasil survey dilapangan dan historis gempa bumi merusak yaitu Metode Crouse (1991). Wilayah yang berisiko tinggi tersebut yaitu Klaten, Banyumas, Brebes, Kab. Magelang, Kota Magelang, Kab. Semarang, Demak, Sukoharjo, dan Karanganyar. Wilayah berisiko tinggi tersebut memiliki nilai yang tinggi terhadap intensitas gempa dan kepadatan penduduk. Semakin padat penduduk di daerah tersebut maka semakin tinggi kerentanan jiwa yang rentan terpapar gempa bumi.

Berdasarkan data historis gempa bumi merusak yaitu:

1. Tahun 1981 dirasakan getaran gempa bumi sebesar VI MMI di Karanganyar yang menyebabkan beberapa kerusakan bangunan rumah.

2. Tahun 1992 dirasakan getaran gempa bumi sebesar V-VI MMI di Brebes yang menyebabkan 1 orang luka-luka, 800 rumah hancur dan 700 rumah rusak sehingga 1500 keluarga di Brebes kehilangan tempat tinggal
3. Tahun 2006 gempa Yogyakarta:
Daerah yang merasakan yaitu Yogyakarta, Klaten, Salatiga, Surakarta menyebabkan:
 - Korban meninggal 4.772 jiwa (Yogyakarta), 1.010 (Jawa Tengah)
 - Korban luka-luka 17.772 jiwa (Yogyakarta), 18.527 (Jawa Tengah)
 - Kerusakan: 204.831 rumah rusak (Yogyakarta), 185.246 (Jawa Tengah)
4. Tahun 2013 Gempa di Brebes menyebabkan 9 unit bangunan rumah rusak.
5. Tahun 2014 Gempa kebumen (menyebabkan Beberapa rumah rusak di Kebumen dan Purworejo juga menyebabkan 125 rumah rusak di Banyumas)

Dari data historis gempa bumi diatas, gempa bumi paling merusak yaitu gempa bumi di Yogyakarta pada tahun 2006. Daerah di Jawa Tengah yang juga merasakan gempa dengan skala tinggi yaitu Klaten. Berdasarkan pengamatan dilapangan oleh Badan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) terhadap respon obyek akibat guncangan gempa bumi di Yogyakarta dapat diidentifikasi bahwa efek guncangan tanah di Kabupaten Klaten mencapai skala VII MMI. Hal ini dicirikan oleh guncangan yang terasa oleh semua orang, termasuk yang berada di dalam kendaraan, barang-barang pecah dan berjatuhan, bangunan tua dan bangunan yang tidak dibangun standar gempa roboh dan rusak, terjadi likuifaksi, retakan tanah, longsor, sumur penduduk keruh, selokan dan saluran irigasi rusak, dan bagian atas bangunan rusak.



Gambar 4.17 Kerusakan rumah penduduk akibat proses likuifaksi di Bayat, Klaten, Jawa Tengah (Supartoyo dalam 2016)

Rekomendasi untuk wilayah atau daerah yang berisiko tinggi akibat gempa bumi yaitu membangun bangunan tahan gempa sesuai dengan standar bangunan tahan gempa, menggunakan tata guna lahan dengan baik pada wilayah yang berisiko tinggi akibat gempa bumi, menghindari membangun rumah di daerah pesisir pantai, lereng/tebing, dan lembah ber dinding terjal. Jika membangun rumah di daerah - daerah tersebut tersebut akan mengakibatkan terjadi potensi bencana lain saat terjadi gempa bumi misalnya tsunami, tanah longsor, maupun likuifaksi.

4.3 Gempa bumi Dalam Pandangan Al-Qur'an

Menurut pandangan Al-Qur'an sebagian besar dampak dari terjadinya gempa bumi yaitu terkait dengan manusia. Dampak bagi tersebut manusia yaitu banyaknya korban jiwa yang meninggal dunia atau menderita kesakitan. Dampak – dampak yang terkait dengan manusia dapat dijumpai dalam Al-Qur'an yaitu (Abha,2013):

a) Surah Al-A'raf ayat 78:

فَأَخَذْتَهُمُ الرِّجْفَةَ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جُثَمِينَ

Artinya: *Lalu datanglah gempa menimpa mereka, dan mereka pun mati bergelimpangan di dalam reruntuhan rumah mereka.*

Pada surah Al-A'raf ayat 78 menceritakan kisah nabi Saleh dan kaumnya. Allah memerintahkan Nabi Saleh untuk mengajak kaum Tsamud kembali ke jalan Allah. Mereka meyembah berhala dan berbuat kerusakan di bumi. Nabi Saleh memerintahkan kepada kaum Tsamud agar meminta ampunan Allah dan bertaubat kepadaNya atas segala dosa dan kejahatan yang telah mereka lakukan. Namun telinga, mata dan hati mereka tertutup terhadap perintah Allah. Mereka mengingkari kenabian Nabi Saleh. Kemudian, Allah menurunkan azab yaitu gempa bumi yang menghancurkan istana-istana mereka dan mereka mati bergelimpangan di dalam reruntuhan mereka.

b) Surah Al-A'raf ayat 91:

فَأَخَذْتَهُمُ الرِّجْفَةَ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جُثَمِينَ

Artinya: *Lalu datanglah gempa menimpa mereka, dan mereka pun mati bergelimpangan di dalam reruntuhan rumah mereka.*

Pada Surah Al- A'raf ayat 91 merupakan ayat pengulangan dari Surah Al-A'raf ayat 78. Payat 91 menceritakan kisah nabi Syua'ib dan kaumnya (penduduk Madyan). Kaum Nabi Syu'aib yang mendustakan ayat-ayat Allah juga tertimpa azab gempa bumi seperti kaum Tsamud.

c) Surah Al-Ankabut: 36-37

وَإِلَىٰ مَدْيَنَ أَخَاهُمْ شُعَيْبًا فَقَالَ يٰقَوْمِ اعْبُدُوا اللَّهَ وَارْجُوا الْيَوْمَ الْآخِرَ وَلَا تَعْتَوْا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ فَكَذَّبُوهُ
فَأَخَذْتَهُمُ الرِّجْفَةَ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جُثَمِينَ

Artinya: *Dan (Kami telah mengutus) kepada penduduk Madyan, saudara mereka (yaitu) Syu'aib. Maka ia berkata, "Hai kaumku, sembahlah olehmu Allah, harapkanlah (pahala) hari akhir, dan jangan kamu berkeliaran di muka bumi berbuat kerusakan." Maka mereka mendustakan Syu'aib, lalu*

mereka ditimpa gempa yang dahsyat dan jadilah mereka mayat-mayat yang bergelimpangan di tempat-tempat tinggal mereka.

4.4 Hikmah Di Balik Terjadinya Gempa Bumi

Jika gempa bumi telah terjadi maka itu adalah ketetapan yang tidak bisa dihindari. Namun dari semua itu tentu ada hikmah dan pelajaran berharga yang harusnya bisa dipahami dari tanda-tanda itu. Hanya orang-orang yang bisa membaca dari semua kejadian dan belajar dari kejadian itulah yang mendapatkan hikmah dan manfaat yang besar. Berikut adalah di antara hikmah yang bisa diambil dari terjadinya gempa bumi (Abha, 2013):

- a) Gempa bumi dan semua jenis bencana alam yang terjadi di atas bumi ini tidaklah terjadi begitu saja dengan sendirinya melainkan sesuai dengan kehendak dan ketentuan Allah SWT, sehingga manusia tidak perlu terlalu jatuh dalam kesedihan dan kesusahan yang mengantarkan pada kurang produktifnya mereka di masa setelah terjadinya gempa bumi. Sebaliknya, dengan adanya gempa bumi dan bencana-bencana yang lain, manusia harus termotivasi untuk memperbaiki sistem keimanan dan sistem kehidupan lingkungan agar berjalan seiring dan searah.
- b) Gempa bumi adalah peringatan Tuhan yang paling nyata, bahwa manusia itu memang sangat tidak berdaya. Untuk itu tidak ada pelindung selain Allah Tuhan Yang Maha Perkasa.
- c) Dengan terjadinya gempa bumi, manusia sebenarnya sedang diingatkan secara dini bahwa gempa adalah baru sebagian yang sangat kecil dari proses maha dahsyat yang memang akan terjadi yaitu kiamat, yang bukan hanya bersifat lokal tapi kehancuran tata surya dan alam semesta.

- d) Sistem Allah terkait dengan balasan pahala dan siksa bukan hanya terjadi di akhirat saja, melainkan sudah Allah terapkan sejak di dunia. Setiap kebaikan yang dibangun atas iman kepada Allah SWT dan ketaatan pada Rasul-Nya akan berakibat pada keberkahan hidup di dunia dan keselamatan di akhirat. Sebaliknya, setiap pelanggaran yang dilakukan manusia terhadap sistem yang telah ditetapkan oleh Allah akan berakibat pada tindakan Allah melalui berbagai bencana yang Allah timpakan kepada manusia termasuk gempa bumi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Nilai percepatan tanah maksimum (PGA) tertinggi dengan Metode Crose (1991) yaitu dengan kisaran nilai (PGA) 92–180 gal berada pada skala VI – VII MMI. Sedangkan nilai tertinggi (PGA) pada Metode Fukushima – Tanaka yaitu dengan kisaran nilai 204 – 304 gal berada pada skala VII MMI. Kemudian Nilai PGA tertinggi dengan Metode Donovan (1973) yaitu dengan kisaran nilai 92 – 107 gal berada pada skala VI MMI.
2. Wilayah yang diperkirakan mempunyai tingkat kerusakan tinggi akibat gempa bumi Wilayah Jawa tengah yaitu Klaten, Banyumas, Brebes, Kab. Magelang, Kota Magelang, Kab. Semarang, Demak, Sukoharjo, dan Karanganyar

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian berkelanjutan di Provinsi Jawa Tengah mengenai pemetaan risiko gempabumi dengan parameter kerentanan yang berbeda misalnya kemiringan tanah, tata penggunaan lahan pada tiap wilayah penelitian, jenis litologi agar hasil peta risiko gempabumi yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abha, Muhammad Makmun. 2013. *Gempa bumi dalam Tafsir Al-Qur'an (Tafsir Tematik)*. Esensia Vol. XIV No. 1
- Allan, Ludman. 1982. *Physical Geology*. United States of America: McGraw-Hill, Inc.
- Al-Qur'an. 2019. *Al-Qur'an Mushaf Per kata Tajwid*. Bandung : Penerbit Jabal.
- Annisha, Wahyu. 2017. *Mengenal Bencana Alam di Indonesia*. Erlangga : Jakarta.
- Bronto, Suintikno. 2007. *Genesis endapan aluvium Dataran Purworejo Jawa Tengah; Implikasinya terhadap sumber daya geologi*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 4.
- BPBD JATENG. 2016. *Dokumen Kajian Risiko Bencana Jawa Tengah 2016.-2020*. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah.
- Daryono, dkk, 2015. *Gempa Bumi Cilacap 25 Juli 2015 Dipicu Aktivitas Subduksi Lempeng*. Artikel BMKG Pusat : Jakarta.
- Fitri, dkk. 2018. *Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Gempa Kota Padang Menggunakan Rumusan Fukushima Tanaka*. Padang : Jurnal Fisika Unand Vol 7, No. 4.
- GEOMAGZ (Majalah Geologi Populer). 2016. *10 Tahun Gempa Yogyakarta*. Jakarta : Badan Geologi (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral).
- Geomagz 2016. (<http://geomagzgeologi.esdm.go.id/mengenal-sesar-aktif/>). Diakses pada tanggal 10 Juli 2020.
- Hartuti, Evi Rine. 2009. *Buku Pintar Gempa*. Yogyakarta : DIVA Press.
- <https://www.kompas.comenjelasan-soal-potensi-gempa-megathrust>. Diakses 15 Oktober 2020.
- <https://www.slideshare.net/tedieka/212809794gerakdansifatinteraksilempenglitosferpptx>. Diakses pada tanggal 20 Oktober 2020.
- Irsyam, M., dkk. (2010). *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia*. Bandung.
- Konversi Koordinat Online (<http://www.yogantara.info/>) Diakses pada tanggal 10 September 2020.
- Makrup. 2013. *Seismic Hazard Untuk Indonesia*. Yogyakarta : Graha Ilmu.

- Muhaimin, dkk. 2016. *Analisis Risiko GEMPA BUMI Di Cilacap Provinsi Jawa Tengah*. IPB: Jurnal Ilmu tanah dan Lingkungan Vol. 18 No. 1
- Muhaimin. 2013. *Relevansi Sais Dengan Makna Zalzalah Dalam Al-Qur'an (Kajian Tafsir Tematik)*. Skripsi UIN Sultan Syarif Kasim Riau.
- Munadi,Suprajitno. 2002.*Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi*.Depok: Modul Buku FMIPA : Universitas Indonesia.
- Murianto, Hendro. 2007. *Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera Barat Dan Sekitarnya*. Jurnal Geografi : PIPS UPI
- Niko & Adjie. 2014. Penentuan Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Tektonik di Kabupaten Malang Wilayah Selatan. Jurnal Teknik Pomits Vol. 3, No. 2., ITS
- Noor, Djauhari. 2014. *Pengantar Geologi*. Yogyakarta : Deepublish.
- Nugraha,dkk. 2014. *Analisis Hazard Gempa Dan Isoseismal Untuk Wilayah Jawa – Bali – NTB*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 15 No. 1 tahun 2014 : 1-11.
- Nurdiyanto,dkk.2011. *Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Jakarta : Puslitbang BMKG.
- Parwanto, Wendi, 2019. Teologi Bencana Prespektif Hadis: Mendiskusikan antara yang menghujat dan yang Moderat. Yogyakarta : UIN Yogyakarta.(Jurnal Vol. 2, No. 1)
- Prawirodikromo. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H.M.D., 1977. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1:100.000*. Direktorat Geologi, Bandung.
- Rahman,dkk. 2015. Analisis Sistem Instrumen Meter P-Alert dan data hasil Pengukurannya. Pillar of Physics. Vol. 5.
- Sari, Meita Aulia. 2017. *Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum Dan Intensitas Gempa bumi Di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta*. Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta: Jurnal Fisika Volume 6, No. 2.
- Sehah, 2012. *Pemanfaatan Data Seismitas Untu2 Memetakan Tingkat Risiko Bencana Gempa bumi Di Kawasan Eks-Karesidenan Banyumas Jawa Tengah*. Purwokerto : Prosiding Seminar Nasional Unsoed.

- Shakuntala, Bambang. 2008. *Mengenal Bencana Alam : Gempa Bumi*. Yogyakarta : Kanisius.
- Sili, Petrus Demon. 2013. *Penentuan Seismisitas dan Tingkat Risiko Gempa Bumi*. Malang : UB Press.
- Soehaimi. 2008. *Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa*. Badan Geologi : Bandung (Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 3 No. 4
- Sunarjo, dkk. 2012. *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta : BMKG Pusat
- Tim Penyusun Kajian Resiko Bencana. 2018. *Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta : BNPB
- Tim Penyusun RBI. 2015. *RBI (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.
- Utoyo, 2007. *Geografi Untuk membuka Cakrawala Dunia*. Bandung : PT. Setia Purna Inves.
- 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.
- Wibowo dan Juwita. 2017. *Analisis Seismisitas dan Energi Gempa bumi di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo Yogyakarta*. BMKG Yogyakarta : Indonesian Journal of Applied Physics Vol. 7 No. 2 halaman 82.
- Yahya, Andy. 2017. *Bumi Dan Lingkungan*(<https://anakbertanya.com/mengapa-bisa-ada-emas/>). Diakses pada tanggal 20 Oktober 2020.

LAMPIRAN

Lampiran I
Hasil Nilai PGA dengan Metode Crouse

Longitude	Latitude	PGA
109,364	-7,302	80,9482
109,414	-7,501	85,9469
109,455	-7,474	83,1665
109,528	-7,43	79,0269
109,546	-7,441	78,6549
109,58	-7,473	78,1862
109,58	-7,247	75,0021
109,58	-7,329	73,2833
109,628	-7,43	75,6813
109,652	-7,22	73,7917
109,652	-7,367	71,1958
109,675	-7,325	74,5975
109,675	-7,448	72,4676
109,723	-7,282	70,7174
109,745	-7,369	73,2185
109,747	-7,219	69,3728
109,771	-7,423	76,2942
109,794	-7,299	72,6083
109,794	-7,258	71,124
109,848	-7,21	71,0662
108,98	-7,375	100,819
108,985	-7,479	110,258
109,04	-7,521	110,623
109,069	-7,421	100,145
109,079	-7,333	93,3972
109,104	-7,557	108,922
109,104	-7,474	102,194
109,152	-7,369	101,934
109,152	-7,513	92,4708
109,193	-7,434	94,3133
109,196	-7,309	87,3353
109,199	-7,346	96,1329
109,199	-7,47	89,115
109,216	-7,548	99,8155
109,217	-7,423	92,4294
109,238	-7,399	90,1206
109,241	-7,442	92,2138
109,244	-7,424	91,116

Longitude	Latitude	PGA
109,129	-6,935	73,98747
109,129	-6,935	73,98747
109,136	-6,983	75,38092
109,149	-7,135	80,74587
109,158	-6,974	74,75448
109,158	-6,902	72,66809
109,182	-6,922	72,89741
109,199	-6,875	71,4712
109,203	-6,982	74,28984
109,223	-7,037	75,62183
109,247	-6,914	71,81529
109,247	-6,914	71,81529
110,765	-7,535	107,0708
110,843	-7,495	97,06893
110,885	-7,559	99,00698
110,914	-7,512	93,18828
110,938	-7,572	95,4209
110,962	-7,714	101,8094
110,986	-7,672	97,03641
110,986	-7,607	93,48073
110,986	-7,549	90,19076
111,016	-7,747	112,4503
111,04	-7,644	90,75201
111,063	-7,612	87,50798
111,063	-7,54	84,34054
111,105	-7,707	87,73621
111,105	-7,605	84,17725
111,129	-7,54	84,54466
111,129	-7,665	80,22914
109,414	-7,708	93,07809
109,443	-7,587	87,35249
109,461	-7,643	88,07807
109,509	-7,662	85,91095
109,509	-7,559	83,20856
109,515	-7,605	84,13803
109,533	-7,743	86,44847
109,556	-7,68	83,86259
109,562	-7,613	82,09348

109,271	-7,528	95,0318
109,271	-7,364	86,9503
109,289	-7,45	90,1245
109,295	-7,485	91,4724
109,295	-7,404	87,7102
109,318	-7,588	94,9497
109,342	-7,525	90,6591
109,366	-7,586	91,7812
109,414	-7,604	89,563
109,704	-6,951	66,6699
109,765	-7,0095	66,6283
109,771	-6,932	65,8224
109,794	-7,054	66,7518
109,803	-6,952	65,7076
109,83	-7,103	66,8822
109,866	-7,035	65,8073
109,866	-6,949	65,1507
109,89	-7,07	67,1172
109,902	-7,0392	66,3396
109,913	-7,13	69,7898
109,919	-7,023	66,1308
109,937	-6,966	64,7308
109,961	-7,067	68,4775
110,009	-6,963	65,6308
111,1773	-6,933	69,4577
111,248	-7,069	69,6656
111,278	-7,204	69,398
111,308	-6,914	71,6086
111,32	-7,025	71,0537
111,367	-7,0431	71,7239
111,367	-6,942	72,4164
111,403	-7,193	71,4496
111,418	-6,969	73,1375
111,439	-7,059	71,9197
111,439	-7,242	73,1106
111,499	-7,148	74,2339
111,534	-6,934	76,6978
111,546	-7,024	76,3709
111,558	-7,094	76,2446
111,564	-7,16	76,3234
110,438	-7,515	120,736
110,509	-7,45	109,55
110,533	-7,51	129,952

109,58	-7,762	84,21608
109,61	-7,642	80,54817
109,628	-7,553	81,74227
109,628	-7,759	78,10038
109,657	-7,656	78,82029
109,66	-7,67	78,92531
109,675	-7,757	80,56397
109,699	-7,632	79,2791
109,699	-7,57	79,2791
109,699	-7,632	77,52824
109,723	-7,775	84,3727
109,723	-7,508	76,9019
109,753	-7,697	84,76891
109,788	-7,633	87,75466
109,788	-7,705	85,2844
109,794	-7,793	90,75179
109,812	-7,756	91,42328
109,979	-7,102	70,22643
109,985	-7,147	72,28389
110,033	-7,023	68,14805
110,062	-6,925	65,08172
110,076	-6,97	66,8203
110,104	-6,918	71,84704
110,104	-7,081	65,33755
110,11	-6,994	68,19766
110,122	-7,024	69,60014
110,146	-7,002	69,00598
110,158	-6,91	65,6213
110,17	-7,001	69,26738
110,199	-6,873	64,70708
110,202	-6,931	66,79358
110,221	-6,944	67,4627
110,223	-7,096	74,54339
110,247	-7,013	70,65202
110,256	-6,96	68,4016
110,271	-7,114	76,1911
110,295	-7,174	80,29675
110,485	-7,615	141,4356
110,503	-7,691	161,8439
110,515	-7,742	178,1921
110,539	-7,658	149,6122
110,557	-7,735	169,9936
110,563	-7,77	180,3932

110,533	-7,572	118,399
110,593	-7,517	116,967
110,622	-7,542	119,244
110,652	-7,361	94,6567
110,652	-7,28	87,2812
110,658	-7,54	116,353
110,676	-7,483	107,315
110,687	-7,534	113,282
110,694	-7,596	121,605
110,7	-7,42	98,7259
110,724	-7,276	91,6494
110,724	-7,358	84,956
110,748	-7,459	100,124
110,765	-7,504	103,687
110,771	-7,356	89,4887
108,057	-7,291	87,8716
108,783	-7,148	88,7208
108,819	-7,013	80,8092
108,843	-7,828	190,571
108,861	-6,925	76,6969
108,867	-7,868	194,481
108,8908	-7,0108	79,9432
108,914	-7,235	92,2096
108,926	-7,0606	81,7835
108,938	-6,886	74,6334
108,985	-7,253	91,4576
108,994	-6,883	73,9969
109,004	-6,965	76,6619
109,009	-7,169	85,7561
109,057	-6,84	75,1695
109,057	-6,942	72,1215
109,0809	-7,228	87,0308
108,676	-7,32	104,252
108,736	-7,304	101,863
108,771	-7,509	126,702
108,771	-7,595	142,272
108,772	-7,506	126,177
108,783	-7,509	126,135
108,831	-7,409	110,547
108,843	-7,524	125,081
108,867	-7,591	133,875
108,893	-7,4133	108,415
108,914	-7,596	130,349

110,563	-7,698	158,1
110,575	-7,636	141,0713
110,59	-7,7206	160,4786
110,599	-7,594	130,1609
110,604	-7,773	172,2164
110,61	-7,716	155,9826
110,61	-7,665	143,9035
110,613	-7,688	148,7662
110,627	-7,722	154,5037
110,634	-7,643	136,3643
110,652	-7,7702	160,3024
110,658	-7,612	127,9471
110,67	-7,683	139,2826
110,676	-7,729	146,9669
110,694	-7,62	125,3062
110,706	-7,691	135,1271
110,724	-7,747	140,7855
110,736	-7,715	133,9047
110,742	-7,798	144,0275
110,742	-7,628	120,8321
110,217	-7,479	106,8712
110,22	-7,492	108,7146
110,222	-7,459	104,6877
109,098	-6,874	72,61842
109,113	-6,855	71,94458
109,119	-6,886	72,70761
109,143	-6,864	71,8468
110,789	-6,791	65,84054
110,819	-6,906	65,54275
110,837	-6,718	66,07041
110,837	-6,83	66,70313
110,841	-6,807	66,22976
110,867	-6,783	66,61746
110,891	-6,701	66,52743
110,891	-6,842	67,37686
110,938	-6,8	67,26545
110,01	-6,676	63,39726
110,8791	-6,9344	65,94498
110,938	-6,538	68,20693
110,938	-6,659	69,15715
110,986	-6,576	67,22294
110,986	-6,899	68,09662
110,986	-6,757	69,46059

108,926	-7,671	140,911
108,962	-7,686	138,523
108,985	-7,669	133,073
109,021	-7,62	122,779
109,026	-7,664	127,401
109,089	-7,667	120,393
109,164	-7,624	109,135
109,166	-7,578	105,578
109,205	-7,633	106,107
109,247	-7,643	103,118
109,301	-7,668	99,9894
109,366	-7,749	98,0938
110,509	-7,042	73,0266
110,509	-6,92	67,4099
110,533	-7,102	76,2809
110,58	-6,854	64,7278
110,581	-6,978	69,5646
110,581	-6,937	67,818
110,607	-6,799	64,4721
110,637	-6,892	65,7602
110,676	-6,913	66,2419
110,7	-6,993	69,1842
110,7	-6,809	65,0417
110,735	-7,225	81,0471
110,748	-6,95	66,9247
110,748	-6,873	65,1193
110,771	-6,848	65,4099
110,349	-7,07	74,3765
110,604	-7,0991	75,5182
110,628	-7,037	71,9658
110,64	-7,189	80,6715
110,748	-7,051	71,1242
110,771	-7,152	75,7777
110,801	-7,003	68,2839
110,819	-7,109	72,5614
110,89	-7,025	67,6907
110,913	-7,087	69,6224
110,914	-7,166	75,8566
110,914	-7,227	72,9547
110,962	-7,027	66,4647
111,01	-7,039	66,7681
111,057	-7,159	68,8579
111,081	-7,036	67,597

111,032	-6,458	71,17563
111,034	-6,534	68,29587
111,034	-6,816	70,48593
111,047	-6,754	68,88564
111,053	-6,896	68,03133
111,057	-6,613	70,11923
111,075	-6,657	70,00778
111,081	-6,692	69,81162
111,105	-6,873	68,8441
111,153	-6,707	70,24344
111,153	-6,77	70,74004
111,165	-6,84	69,90579
111,216	-6,716	71,64937
111,224	-6,787	71,199
109,509	-7,0205	70,22568
109,516	-7,123	72,11181
109,556	-6,983	68,89391
109,556	-6,941	68,24787
109,578	-7,026	69,26824
109,586	-6,884	67,12042
109,592	-7,154	71,23162
109,617	-6,891	66,88735
109,622	-6,862	66,49917
109,628	-7,04	68,75242
109,634	-6,913	68,01754
109,634	-6,994	66,9757
109,652	-7,142	69,92566
109,657	-6,932	67,33194
109,657	-6,963	66,95661
109,658	-6,892	66,48955
109,675	-7,059	68,34871
109,681	-6,921	66,57991
109,681	-6,87	66,04354
109,693	-6,982	67,14304
109,693	-6,9	66,23868
109,723	-7,159	68,97396
109,729	-7,041	67,39939
109,247	-7,11	77,52522
109,263	-7,158	78,81767
109,271	-7,076	75,90449
109,318	-7,054	74,32893
109,354	-7,165	76,76728
109,38	-6,889	69,55787

111,129	-7,176	67,5155
111,165	-7,042	68,6401
111,212	-7,202	68,4706
110,652	-6,691	65,2467
110,664	-6,618	65,7345
110,678	-6,58	66,08
110,694	-6,735	65,3437
110,7	-6,689	65,6298
110,704	-6,527	66,6629
110,706	-6,765	65,2892
110,771	-6,626	66,1452
110,771	-6,706	66,6349
110,771	-6,525	67,337
110,795	-6,584	67,1575
110,801	-6,72	66,3414
110,817	-6,471	68,2607
110,867	-6,501	68,5932
110,911	-6,406	69,9956
110,0807	-7,489	98,8204
110,104	-7,449	96,675
110,152	-7,528	108,317
110,175	-7,404	96,2658
110,181	-7,46	102,476
110,199	-7,629	126,85
110,199	-7,547	114,595
110,209	-7,531	113,176
110,247	-7,392	106,376
110,247	-7,462	98,1325
110,254	-7,554	120,03
110,271	-7,502	113,138
110,277	-7,661	142,399
110,291	-7,58	127,346
110,303	-7,609	133,982
110,325	-7,371	98,1917
110,342	-7,581	130,93
110,366	-7,539	123,795
110,366	-7,457	116,605
110,366	-7,498	110,223
110,39	-7,394	102,099
109,021	-7,097	81,8637
109,057	-7,024	78,108
109,086	-6,966	75,5705

109,402	-7,04	72,42151
109,414	-6,907	69,47025
109,459	-7,027	71,15818
109,461	-7,15	73,85988
109,466	-6,873	68,26695
109,505	-6,92	68,55442
109,533	-6,82	66,8293
109,538	-6,886	67,66046
109,289	-7,317	84,18279
109,318	-7,283	81,80932
109,324	-7,377	85,28693
109,348	-7,345	85,87183
109,348	-7,417	83,07743
109,348	-7,313	81,89164
109,358	-7,386	84,23554
109,36	-7,385	84,11561
109,366	-7,277	86,82142
109,366	-7,462	80,02498
109,408	-7,301	79,45993
109,414	-7,378	81,74004
109,414	-7,214	76,67216
109,431	-7,29	78,39729
109,455	-7,432	81,86411
109,461	-7,273	77,01943
109,479	-7,37	79,1452
109,503	-7,399	79,10622
109,533	-7,29	75,42381
109,818	-7,647	88,10049
109,866	-7,727	95,61269
109,89	-7,809	101,2721
109,908	-7,72	99,68442
109,913	-7,5608	96,1312
109,913	-7,643	91,40376
109,937	-7,724	107,8948
109,937	-7,827	103,1514
109,985	-7,763	111,5147
109,985	-7,639	103,0424
109,991	-7,83	116,0013
110,009	-7,712	111,3263
110,033	-7,822	122,6222
110,05	-7,616	108,0564
110,062	-7,672	114,8347

Longitude	Latitude	PGA
109,116	-7,093	79,7527
109,128	-7,185	83,4962
109,128	-7,041	77,5123
111,341	-6,709	73,8644
111,367	-6,861	73,0328
111,367	-6,78	73,7069
111,444	-6,698	76,2786
111,481	-6,72	77,0463
111,487	-6,855	76,0377
111,511	-6,653	78,7277
111,558	-6,852	78,2863
111,558	-6,751	79,3755
111,591	-6,672	81,2202
111,63	-6,768	81,251
110,479	-7,334	95,3496
110,494	-7,305	92,2642
110,515	-7,332	94,8265
110,824	-7,575	105,959
110,295	-7,215	83,2347
110,318	-7,051	73,1428
110,318	-6,99	70,1494
110,324	-6,964	69,0231
110,342	-7,294	90,584
110,366	-7,069	83,8436
110,366	-7,15	79,3669
110,366	-7,212	74,4147
110,384	-6,982	70,0773
110,403	-7,262	88,2608
110,408	-7,011	71,5172
110,408	-6,96	69,1423
110,414	-7,332	95,1413
110,414	-7,189	82,3631
110,42	-7,072	74,7635
110,42	-6,9805	70,0827
110,429	-6,997	70,8668
110,429	-6,018	68,5212
110,435	-6,972	69,7073
110,438	-7,392	102,187
110,438	-7,127	78,1085
110,448	-6,998	70,9218
110,461	-7,227	85,3716
110,461	-6,044	68,55

Longitude	Latitude	PGA
110,832	-7,681	115,4446
110,867	-7,596	103,7042
110,891	-7,697	109,1774
110,891	-7,636	104,5107
110,914	-7,737	108,9701
111,748	-7,787	77,98954
110,789	-7,554	107,0628
110,813	-7,542	103,7294
110,816	-7,581	107,3258
110,824	-7,575	105,9593
110,834	-7,58	105,4805
110,852	-7,558	101,8115
109,985	-7,229	76,18032
110,003	-7,182	74,38272
110,05	-7,287	81,69511
110,056	-7,32	84,07402
110,056	-7,246	79,39983
110,065	-7,174	75,62868
110,098	-7,219	79,05751
110,1002	-7,28	83,03328
110,104	-7,121	84,91275
110,104	-7,305	73,78749
110,122	-7,351	89,1275
110,134	-7,258	92,18107
110,134	-7,381	82,62786
110,152	-7,181	78,13877
110,158	-7,359	91,32388
110,175	-7,316	88,32344
110,199	-7,24	83,15771
110,223	-7,32	90,24158
110,247	-7,258	85,66185
110,295	-7,337	93,85952
110,813	-8,047	134,6516
110,819	-7,968	135,5283
110,819	-7,845	131,6461
110,843	-7,884	128,7523
110,867	-8,172	116,4281
110,891	-7,779	117,8053
110,891	-8,088	114,8057
110,938	-7,797	111,9385
110,938	-7,962	113,017
110,938	-8,044	109,0036

110,467	-6,998	70,9109
110,479	-6,967	69,4605
110,485	-7,267	88,7293
110,509	-7,164	80,4271
110,527	-7,403	102,847
110,533	-7,306	91,9677
110,533	-7,224	84,726
110,604	-7,404	100,956
110,604	-7,262	86,8373
110,622	-7,47	108,641
110,622	-7,4705	108,574
110,01	-7,324	82,4183
110,057	-7,281	81,5729
110,813	-7,348	87,0234
110,819	-7,435	93,569
110,843	-7,394	88,9943
110,867	-7,331	83,497
110,891	-7,431	89,0057
110,914	-7,389	84,9724
110,938	-7,307	88,7301
110,938	-7,47	79,1344
110,962	-7,428	84,7472
110,968	-7,321	78,6388
111,022	-7,443	82,2145
111,022	-7,419	81,0325
111,034	-7,486	83,6388
111,052	-7,388	78,1106
111,105	-7,441	80,1759
111,105	-7,319	77,7619
111,105	-7,502	75,3852
111,105	-7,38	73,0864
110,742	-7,587	115,428
110,742	-7,556	111,527

111,01	-7,835	102,795
111,01	-7,978	101,0875
111,057	-7,853	96,91474
111,057	-8,017	96,1513
111,081	-7,769	94,58714
111,081	-7,954	91,70857
111,107	-7,882	91,48304
111,1295	-7,828	88,61896
111,153	-7,786	85,85121
111,201	-7,845	83,02618
111,224	-7,783	80,74644
111,248	-7,904	80,58371
111,272	-7,841	78,77858
111,272	-7,76	77,92312
111,762	-7,889	78,26764
109,782	-7,556	81,98502
109,818	-7,38	76,75785
109,83	-7,472	81,34906
109,842	-7,317	75,1322
109,866	-7,378	78,87057
109,898	-7,368	79,8767
109,908	-7,319	77,87871
109,913	-7,417	83,19913
109,937	-7,293	77,7383
109,938	-7,231	74,7646
109,985	-7,352	89,62871
109,985	-7,454	83,03012
110,009	-7,392	95,72269
110,009	-7,515	86,76789
110,223	-7,689	140,5647
110,783	-7,604	113,1843
110,789	-7,728	126,6803
110,814	-7,599	109,3542

Lampiran II
Hasil Nilai PGA dengan Metode Fukushima – Tanaka

Longitude	Latitude	PGA
108,057	-7,291	167
108,676	-7,32	211
108,736	-7,304	205
108,771	-7,595	269
108,771	-7,509	249
108,772	-7,506	248
108,783	-7,148	169
108,783	-7,509	248
108,819	-7,013	138
108,831	-7,409	223
108,843	-7,524	247
108,843	-7,828	311
108,861	-6,925	117
108,867	-7,591	259
108,867	-7,868	314
108,8908	-7,0108	134
108,893	-7,4133	219
108,914	-7,235	180
108,914	-7,596	254
108,926	-7,0606	143
108,926	-7,671	267
108,938	-6,886	104
108,962	-7,686	264
108,98	-7,375	203
108,985	-7,253	178
108,985	-7,479	223
108,985	-7,669	258
108,994	-6,883	100
109,004	-6,965	117
109,009	-7,169	159
109,021	-7,097	143
109,021	-7,62	244
109,026	-7,664	250
109,04	-7,521	223
109,057	-6,942	108
109,057	-6,84	86
109,057	-7,024	125
109,069	-7,421	201

Longitude	Latitude	PGA
110,223	-7,32	221
110,223	-7,689	303
110,247	-7,258	209
110,247	-7,013	154
110,247	-7,392	239
110,247	-7,462	255
110,254	-7,554	277
110,256	-6,96	143
110,271	-7,114	178
110,271	-7,502	266
110,277	-7,661	305
110,291	-7,58	287
110,295	-7,174	193
110,295	-7,215	202
110,295	-7,337	230
110,303	-7,609	295
110,318	-7,051	166
110,318	-6,99	152
110,324	-6,964	146
110,325	-7,371	239
110,342	-7,294	222
110,342	-7,581	291
110,349	-7,07	171
110,366	-7,212	204
110,366	-7,15	190
110,366	-7,069	171
110,366	-7,539	282
110,366	-7,498	272
110,366	-7,457	261
110,384	-6,982	152
110,39	-7,394	247
110,403	-7,262	216
110,408	-7,011	158
110,408	-6,96	147
110,414	-7,332	233
110,414	-7,189	199
110,42	-7,072	172
110,42	-6,9805	152

109,079	-7,333	184
109,0809	-7,228	164
109,086	-6,966	110
109,089	-7,667	240
109,098	-6,874	90
109,104	-7,557	220
109,104	-7,474	206
109,113	-6,855	84
109,116	-7,093	133
109,119	-6,886	90
109,128	-7,185	150
109,128	-7,041	122
109,129	-6,935	100
109,129	-6,935	100
109,136	-6,983	109
109,143	-6,864	83
109,149	-7,135	138
109,152	-7,513	206
109,152	-7,369	181
109,158	-6,974	105
109,158	-6,902	90
109,164	-7,624	221
109,166	-7,578	213
109,182	-6,922	92
109,193	-7,434	186
109,196	-7,309	165
109,199	-7,346	171
109,199	-6,875	80
109,199	-7,47	191
109,203	-6,982	102
109,205	-7,633	215
109,216	-7,548	201
109,217	-7,423	181
109,223	-7,037	111
109,238	-7,399	174
109,241	-7,442	180
109,244	-7,424	177
109,247	-6,914	83
109,247	-7,11	122
109,247	-6,914	83
109,247	-7,643	208
109,263	-7,158	129
109,271	-7,364	163

110,429	-6,997	155
110,435	-6,972	150
110,438	-7,392	247
110,438	-7,515	278
110,438	-7,127	185
110,448	-6,998	156
110,461	-7,227	208
110,467	-6,998	156
110,479	-7,334	233
110,479	-6,967	148
110,485	-7,267	217
110,485	-7,615	304
110,494	-7,305	226
110,503	-7,691	325
110,509	-7,164	193
110,509	-7,45	260
110,509	-7,042	165
110,509	-6,92	137
110,515	-7,332	232
110,515	-7,742	339
110,527	-7,403	248
110,533	-7,51	274
110,533	-7,306	225
110,533	-7,572	290
110,533	-7,102	178
110,533	-7,224	206
110,539	-7,658	313
110,557	-7,735	332
110,563	-7,77	341
110,563	-7,698	321
110,575	-7,636	303
110,58	-6,854	121
110,581	-6,978	149
110,581	-6,937	140
110,59	-7,7206	323
110,593	-7,517	272
110,599	-7,594	290
110,604	-7,0991	175
110,604	-7,404	245
110,604	-7,773	334
110,604	-7,262	212
110,607	-6,799	107
110,61	-7,716	319

109,271	-7,076	112
109,271	-7,528	188
109,289	-7,317	153
109,289	-7,45	174
109,295	-7,485	178
109,295	-7,404	166
109,301	-7,668	201
109,318	-7,054	102
109,318	-7,283	143
109,318	-7,588	188
109,324	-7,377	157
109,342	-7,525	176
109,348	-7,417	159
109,348	-7,345	148
109,348	-7,313	143
109,354	-7,165	118
109,36	-7,385	153
109,364	-7,302	139
109,366	-7,277	135
109,366	-7,462	163
109,366	-7,749	199
109,366	-7,586	179
109,38	-6,889	62
109,402	-7,04	88
109,408	-7,301	132
109,414	-6,907	61
109,414	-7,214	117
109,414	-7,378	143
109,414	-7,501	160
109,414	-7,708	183
109,414	-7,604	172
109,431	-7,29	127
109,443	-7,587	165
109,455	-7,432	143
109,455	-7,474	149
109,459	-7,027	78
109,461	-7,15	99
109,461	-7,273	119
109,461	-7,643	167
109,466	-6,873	47
109,479	-7,37	130
109,503	-7,399	130
109,505	-6,92	52

110,61	-7,665	307
110,613	-7,688	312
110,622	-7,542	276
110,622	-7,4705	259
110,622	-7,47	259
110,627	-7,722	318
110,628	-7,037	161
110,634	-7,643	298
110,637	-6,892	127
110,64	-7,189	194
110,652	-7,7702	323
110,652	-7,361	231
110,652	-6,691	80
110,652	-7,28	213
110,658	-7,54	271
110,658	-7,612	288
110,664	-6,618	62
110,67	-7,683	301
110,676	-7,729	310
110,676	-6,913	130
110,676	-7,483	256
110,678	-6,58	53
110,687	-7,534	266
110,694	-7,62	284
110,694	-7,596	279
110,694	-6,735	89
110,7	-6,993	147
110,7	-7,42	240
110,7	-6,689	78
110,7	-6,809	106
110,704	-6,527	39
110,706	-7,691	297
110,706	-6,765	95
110,724	-7,747	303
110,724	-7,276	207
110,724	-7,358	224
110,735	-7,225	195
110,736	-7,715	295
110,742	-7,798	307
110,742	-7,628	278
110,742	-7,587	270
110,748	-7,051	157
110,748	-7,459	243

109,509	-7,559	149
109,509	-7,0205	70
109,509	-7,662	160
109,515	-7,605	153
109,516	-7,123	89
109,528	-7,43	133
109,533	-6,82	37
109,533	-7,29	116
109,533	-7,743	162
109,538	-6,886	51
109,546	-7,441	138
109,556	-6,941	64
109,556	-7,68	162
109,556	-6,983	72
109,562	-7,613	159
109,578	-7,026	83
109,58	-7,473	149
109,58	-7,329	131
109,58	-7,247	119
109,58	-7,762	173
109,586	-6,884	58
109,592	-7,154	107
109,61	-7,642	171
109,617	-6,891	64
109,622	-6,862	59
109,628	-7,04	93
109,628	-7,553	167
109,628	-7,43	153
109,628	-7,759	183
109,634	-6,994	86
109,634	-6,913	71
109,652	-7,22	127
109,652	-7,142	115
109,652	-7,367	149
109,657	-6,932	78
109,657	-7,656	182
109,657	-6,963	84
109,658	-6,892	70
109,66	-7,67	184
109,675	-7,325	147
109,675	-7,059	104
109,675	-7,448	164
109,675	-7,757	194

110,748	-6,95	135
110,748	-6,873	117
110,765	-7,504	250
110,765	-7,535	256
110,771	-6,706	78
110,771	-6,525	35
110,771	-6,848	110
110,771	-7,152	176
110,771	-7,356	219
110,771	-6,626	59
110,783	-7,604	266
110,789	-6,791	96
110,789	-7,728	286
110,789	-7,554	256
110,795	-6,584	48
110,801	-7,003	142
110,801	-6,72	79
110,813	-7,348	213
110,813	-7,542	250
110,813	-8,047	296
110,814	-7,599	260
110,816	-7,581	257
110,817	-6,471	19
110,819	-7,435	229
110,819	-7,109	163
110,819	-7,845	292
110,819	-7,968	297
110,819	-6,906	120
110,824	-7,575	254
110,824	-7,575	254
110,825	-7,767	283
110,832	-7,681	270
110,834	-7,58	253
110,837	-6,718	76
110,837	-6,83	102
110,841	-6,807	96
110,843	-7,884	289
110,843	-7,495	237
110,843	-7,394	218
110,852	-7,558	246
110,867	-7,331	203
110,867	-7,596	250
110,867	-8,172	271

109,681	-6,921	79
109,681	-6,87	69
109,693	-6,982	93
109,693	-6,9	77
109,699	-7,632	189
109,699	-7,632	189
109,699	-7,57	183
109,704	-6,951	88
109,723	-7,159	129
109,723	-7,508	181
109,723	-7,282	149
109,723	-7,775	205
109,729	-7,041	109
109,745	-7,369	166
109,747	-7,219	143
109,753	-7,697	206
109,765	-7,0095	108
109,771	-6,932	94
109,771	-7,423	178
109,782	-7,556	198
109,788	-7,705	215
109,788	-7,633	208
109,794	-7,258	157
109,794	-7,054	120
109,794	-7,299	163
109,794	-7,793	222
109,803	-6,952	102
109,812	-7,756	224
109,818	-7,38	180
109,818	-7,647	216
109,83	-7,103	134
109,83	-7,472	196
109,842	-7,317	174
109,848	-7,21	156
109,866	-7,035	126
109,866	-6,949	109
109,866	-7,378	188
109,866	-7,727	234
109,89	-7,07	136
109,89	-7,809	245
109,898	-7,368	191
109,902	-7,0392	131
109,908	-7,319	184

110,867	-6,783	89
110,867	-6,501	23
110,8791	-6,9344	121
110,885	-7,559	241
110,89	-7,025	139
110,891	-6,842	100
110,891	-6,701	68
110,891	-7,636	251
110,891	-7,431	218
110,891	-7,697	260
110,891	-8,088	273
110,891	-7,779	269
110,911	-6,406	4
110,913	-7,087	149
110,914	-7,512	228
110,914	-7,389	207
110,914	-7,227	177
110,914	-7,166	165
110,914	-7,737	259
110,938	-6,8	86
110,938	-7,307	189
110,938	-7,572	233
110,938	-7,47	217
110,938	-8,044	264
110,938	-7,797	259
110,938	-6,538	26
110,938	-6,659	55
110,938	-7,962	266
110,962	-7,714	246
110,962	-7,428	206
110,962	-7,027	132
110,968	-7,321	187
110,986	-7,607	229
110,986	-7,549	221
110,986	-6,899	103
110,986	-7,672	237
110,986	-6,757	72
110,986	-6,576	31
111,01	-7,978	248
111,01	-7,835	245
111,01	-7,039	129
111,016	-7,747	238
111,022	-7,443	199

109,908	-7,72	242
109,913	-7,13	150
109,913	-7,5608	224
109,913	-7,417	202
109,913	-7,643	235
109,919	-7,023	130
109,937	-6,966	120
109,937	-7,724	249
109,937	-7,293	184
109,937	-7,827	258
109,938	-7,231	172
109,961	-7,067	143
109,979	-7,102	152
109,985	-7,147	162
109,985	-7,352	201
109,985	-7,229	178
109,985	-7,454	219
109,985	-7,763	264
109,985	-7,639	249
109,991	-7,83	271
110,003	-7,182	171
110,009	-6,963	127
110,009	-7,392	212
110,009	-7,712	263
110,009	-7,515	234
110,01	-6,676	63
110,01	-7,324	199
110,033	-7,023	141
110,033	-7,822	280
110,05	-7,287	197
110,05	-7,616	258
110,056	-7,32	204
110,056	-7,246	190
110,057	-7,281	197
110,062	-6,925	123
110,062	-7,672	269
110,065	-7,174	176
110,076	-6,97	134
110,0807	-7,489	240
110,098	-7,219	188
110,1002	-7,28	201
110,104	-6,918	125
110,104	-7,121	168

111,022	-7,419	195
111,032	-6,458	2
111,034	-7,486	203
111,034	-6,816	80
111,034	-6,534	17
111,04	-7,644	222
111,047	-6,754	65
111,052	-7,388	185
111,053	-6,896	95
111,057	-7,853	235
111,057	-8,017	236
111,057	-7,159	145
111,057	-6,613	33
111,063	-7,612	214
111,063	-7,54	205
111,075	-6,657	41
111,081	-7,769	225
111,081	-6,692	48
111,081	-7,954	231
111,081	-7,036	119
111,105	-7,441	184
111,105	-7,38	175
111,105	-7,502	192
111,105	-7,707	215
111,105	-7,605	205
111,105	-7,319	165
111,105	-6,873	84
111,107	-7,882	224
111,129	-7,665	206
111,129	-7,176	138
111,129	-7,54	192
111,1295	-7,828	217
111,153	-6,707	43
111,153	-7,786	209
111,153	-6,77	56
111,165	-6,84	69
111,165	-7,042	109
111,1773	-6,933	86
111,201	-7,845	201
111,212	-7,202	129
111,216	-6,716	37
111,224	-6,787	51
111,224	-7,783	193

110,104	-7,081	160
110,104	-7,305	207
110,104	-7,736	287
110,104	-7,449	236
110,11	-6,994	142
110,122	-7,024	149
110,122	-7,351	218
110,134	-7,381	226
110,134	-7,258	200
110,146	-7,002	146
110,152	-7,181	185
110,152	-7,528	258
110,158	-6,91	127
110,158	-7,359	224
110,17	-7,001	147
110,175	-7,316	216
110,175	-7,404	235
110,181	-7,46	248
110,199	-7,24	202
110,199	-6,873	121
110,199	-7,547	269
110,199	-7,629	286
110,202	-6,931	134
110,209	-7,531	266
110,217	-7,479	256
110,22	-7,492	259
110,221	-6,944	138
110,222	-7,459	252
110,223	-7,096	172
110,223	-7,32	221

111,248	-7,069	101
111,248	-7,904	192
111,272	-6,72	30
111,272	-7,841	185
111,272	-7,76	181
111,275	-6,785	43
111,278	-7,204	118
111,308	-6,914	63
111,32	-7,025	82
111,341	-6,709	18
111,367	-7,0431	77
111,367	-6,942	59
111,367	-6,78	28
111,367	-6,861	44
111,403	-7,193	94
111,418	-6,969	55
111,439	-7,242	95
111,439	-7,059	67
111,444	-6,698	1
111,463	-6,77	11
111,481	-6,72	2
111,487	-6,855	23
111,499	-7,148	70
111,511	-6,653	21
111,534	-6,934	29
111,546	-7,024	42
111,558	-7,094	50
111,558	-6,751	10
111,558	-6,852	10
111,564	-7,16	59

Lampiran III
Hasil Nilai PGA dengan Metode Donovan

Bujur	Lintang	PGA MAX
109,364	-7,302	35,681851
109,414	-7,501	43,843438
109,455	-7,474	41,259163
109,528	-7,43	37,352711
109,546	-7,441	37,288822
109,58	-7,473	37,511824
109,58	-7,329	32,658269
109,58	-7,247	30,25545
109,628	-7,43	34,709459
109,652	-7,367	32,235109
109,652	-7,22	28,372062
109,675	-7,448	34,009395
109,675	-7,325	30,599321
109,723	-7,282	28,616721
109,745	-7,369	30,221792
109,747	-7,219	26,821807
109,771	-7,423	30,908777
109,794	-7,299	28,351821
109,794	-7,258	27,370203
109,848	-7,21	27,331898
108,98	-7,375	42,161241
108,985	-7,479	48,958184
109,04	-7,521	52,458845
109,069	-7,421	45,091513
109,079	-7,333	39,953824
109,104	-7,557	55,31589
109,104	-7,474	48,571676
109,152	-7,513	51,039321
109,152	-7,369	41,531505
109,193	-7,434	44,940264
109,196	-7,309	38,081504
109,199	-7,47	47,200985
109,199	-7,346	39,878933
109,216	-7,548	52,636437
109,217	-7,423	43,929845
109,238	-7,399	42,234489
109,241	-7,442	44,695934
109,244	-7,424	43,568933
109,271	-7,528	49,729679

Bujur	Lintang	PGA MAX
110,247	-7,013	27,057006
110,256	-6,96	25,554068
110,271	-7,114	30,705957
110,295	-7,174	33,391095
110,485	-7,615	76,165892
110,503	-7,691	92,304134
110,515	-7,742	105,91517
110,539	-7,658	82,511715
110,557	-7,735	99,019067
110,563	-7,77	107,78867
110,563	-7,698	89,269479
110,575	-7,636	75,886933
110,59	-7,7206	91,193729
110,599	-7,594	67,682423
110,604	-7,773	100,87534
110,61	-7,716	87,56764
110,61	-7,665	78,064038
110,613	-7,688	81,847543
110,627	-7,722	86,385258
110,634	-7,643	72,311886
110,652	-7,7702	91,050778
110,658	-7,612	66,052696
110,67	-7,683	74,522003
110,676	-7,729	80,44087
110,694	-7,62	64,12378
110,706	-7,691	71,381169
110,724	-7,747	75,668313
110,736	-7,715	70,465211
110,742	-7,798	78,159814
110,742	-7,628	60,892965
110,217	-7,479	51,097425
110,22	-7,492	52,367292
110,222	-7,459	49,601867
109,098	-6,874	24,233597
109,113	-6,855	23,805195
109,119	-6,886	24,476069
109,143	-6,864	23,955541
110,789	-6,791	20,789753
110,819	-6,906	22,958443

109,271	-7,364	39,895276
109,289	-7,45	44,25127
109,295	-7,485	46,241988
109,295	-7,404	41,564474
109,318	-7,588	52,624433
109,342	-7,525	47,471595
109,366	-7,586	50,625008
109,414	-7,604	49,796225
109,704	-6,951	22,31158
109,765	-7,0095	22,678051
109,771	-6,932	21,389056
109,794	-7,054	23,096544
109,803	-6,952	21,390217
109,83	-7,103	24,528031
109,866	-7,035	23,595317
109,866	-6,949	21,885301
109,89	-7,07	24,687461
109,902	-7,0392	24,158793
109,913	-7,13	26,48315
109,919	-7,023	24,016218
109,937	-6,966	22,990639
109,961	-7,067	25,605055
110,009	-6,963	23,673858
111,1773	-6,933	19,979027
111,248	-7,069	21,135322
111,278	-7,204	22,675027
111,308	-6,914	18,260938
111,32	-7,025	19,507311
111,367	-7,0431	19,138267
111,367	-6,942	17,945686
111,403	-7,193	20,389177
111,418	-6,969	17,664414
111,439	-7,242	20,370264
111,439	-7,059	18,357066
111,499	-7,148	18,447358
111,534	-6,934	16,083966
111,546	-7,024	16,729487
111,558	-7,094	17,190116
111,564	-7,16	17,630345
110,438	-7,515	60,824138
110,509	-7,45	52,944887
110,533	-7,572	67,528437
110,533	-7,51	59,155418

110,837	-6,83	21,245696
110,837	-6,718	19,237254
110,841	-6,807	20,780067
110,867	-6,783	20,17693
110,891	-6,842	21,091038
110,891	-6,701	18,677009
110,938	-6,8	19,990752
110,01	-6,676	18,342584
110,8791	-6,9344	23,071678
110,938	-6,659	17,801403
110,938	-6,538	16,21753
110,986	-6,899	21,354841
110,986	-6,757	18,955324
110,986	-6,576	16,465824
111,032	-6,458	14,934508
111,034	-6,816	19,515724
111,034	-6,534	15,745895
111,047	-6,754	18,480404
111,053	-6,896	20,659709
111,057	-6,613	16,552349
111,075	-6,657	16,990721
111,081	-6,692	17,399496
111,105	-6,873	19,787666
111,153	-6,77	17,904923
111,153	-6,707	17,105585
111,165	-6,84	18,751304
111,216	-6,716	16,764384
111,224	-6,787	17,53697
109,509	-7,0205	25,487131
109,516	-7,123	27,855157
109,556	-6,983	24,262529
109,556	-6,941	23,436464
109,578	-7,026	24,937209
109,586	-6,884	22,16268
109,592	-7,154	27,658875
109,617	-6,891	22,044989
109,622	-6,862	21,523473
109,628	-7,04	24,704083
109,634	-6,994	23,744518
109,634	-6,913	22,283894
109,652	-7,142	26,568149
109,657	-6,963	22,956096
109,657	-6,932	22,414217

110,593	-7,517	58,138988
110,622	-7,542	59,757448
110,652	-7,361	42,841031
110,652	-7,28	37,964658
110,658	-7,54	57,704471
110,676	-7,483	51,402317
110,687	-7,534	55,543536
110,694	-7,596	61,44792
110,7	-7,42	45,563262
110,724	-7,358	40,844701
110,724	-7,276	36,438988
110,748	-7,459	46,504388
110,765	-7,504	48,919717
110,771	-7,356	39,417538
108,057	-7,291	26,897624
108,783	-7,148	30,811071
108,819	-7,013	27,107875
108,843	-7,828	82,613183
108,861	-6,925	25,112632
108,867	-7,868	91,343779
108,8908	-7,0108	27,369295
108,914	-7,235	34,977436
108,926	-7,0606	28,905064
108,938	-6,886	24,429158
108,985	-7,253	36,059731
108,994	-6,883	24,43905
109,004	-6,965	26,411728
109,009	-7,169	32,716697
109,057	-6,942	25,847282
109,057	-6,84	23,526357
109,0809	-7,228	35,035409
108,676	-7,32	35,635801
108,736	-7,304	35,977665
108,771	-7,509	47,244626
108,771	-7,595	53,267491
108,772	-7,506	47,080505
108,783	-7,509	47,573166
108,831	-7,409	42,529567
108,843	-7,524	50,149706
108,867	-7,591	56,195251
108,893	-7,4133	43,673023
108,914	-7,596	57,8712
108,926	-7,671	66,174519

109,658	-6,892	21,735204
109,675	-7,059	24,559486
109,681	-6,921	22,019733
109,681	-6,87	21,200029
109,693	-6,982	22,946603
109,693	-6,9	21,57618
109,723	-7,159	25,944216
109,729	-7,041	23,612364
109,247	-7,11	30,010229
109,263	-7,158	31,465682
109,271	-7,076	28,83083
109,318	-7,054	27,898107
109,354	-7,165	30,880324
109,38	-6,889	23,618394
109,402	-7,04	26,890897
109,414	-6,907	23,787572
109,459	-7,027	26,088476
109,461	-7,15	29,234407
109,466	-6,873	22,79571
109,505	-6,92	23,428883
109,533	-6,82	21,43598
109,538	-6,886	22,550588
109,289	-7,317	37,411611
109,318	-7,283	35,569532
109,324	-7,377	39,668332
109,348	-7,417	41,1844
109,348	-7,345	37,761258
109,348	-7,313	36,381512
109,358	-7,386	39,456853
109,36	-7,385	39,369933
109,366	-7,462	43,11632
109,366	-7,277	34,667926
109,408	-7,301	34,934571
109,414	-7,378	37,94656
109,414	-7,214	31,768431
109,431	-7,29	34,141647
109,455	-7,432	39,345648
109,461	-7,273	33,046371
109,479	-7,37	36,220315
109,503	-7,399	36,787656
109,533	-7,29	32,351361
109,818	-7,647	38,503304
109,866	-7,727	43,478261

108,962	-7,686	68,990422
108,985	-7,669	67,276159
109,021	-7,62	61,886922
109,026	-7,664	67,059904
109,089	-7,667	67,192614
109,164	-7,624	60,84774
109,166	-7,578	56,316326
109,205	-7,633	60,601247
109,247	-7,643	60,068234
109,301	-7,668	59,983134
109,366	-7,749	63,296582
110,509	-7,042	28,627647
110,509	-6,92	24,88559
110,533	-7,102	30,764768
110,58	-6,854	23,051176
110,581	-6,978	26,332874
110,581	-6,937	25,161204
110,607	-6,799	21,74127
110,637	-6,892	23,76264
110,676	-6,913	24,09211
110,7	-6,993	26,078698
110,7	-6,809	21,601186
110,735	-7,225	33,881512
110,748	-6,95	24,556862
110,748	-6,873	22,721366
110,771	-6,848	22,036866
110,349	-7,07	29,515749
110,604	-7,0991	30,264975
110,628	-7,037	27,927541
110,64	-7,189	33,636047
110,748	-7,051	27,370354
110,771	-7,152	30,435104
110,801	-7,003	25,474925
110,819	-7,109	28,320899
110,89	-7,025	25,075335
110,913	-7,087	26,371492
110,914	-7,227	30,486798
110,914	-7,166	28,580257
110,962	-7,027	24,244029
111,01	-7,039	23,891208
111,057	-7,159	25,860266
111,081	-7,036	22,888127
111,129	-7,176	24,950123

109,89	-7,809	47,28034
109,908	-7,72	46,208346
109,913	-7,643	43,824468
109,913	-7,5608	40,682195
109,937	-7,827	51,801743
109,937	-7,724	48,555021
109,985	-7,763	54,309484
109,985	-7,639	48,480876
109,991	-7,83	57,455819
110,009	-7,712	54,178269
110,033	-7,822	62,180116
110,05	-7,616	51,913138
110,062	-7,672	56,633536
110,104	-7,736	65,899467
111,272	-6,72	16,36368
111,275	-6,785	17,055547
111,341	-6,709	15,720297
111,367	-6,861	17,044745
111,367	-6,78	16,196341
111,444	-6,698	14,829783
111,463	-6,77	15,306722
111,481	-6,72	14,742993
111,487	-6,855	15,843032
111,511	-6,653	13,987907
111,558	-6,852	15,164385
111,558	-6,751	14,370901
111,591	-6,672	13,564172
111,63	-6,768	13,963979
110,479	-7,334	43,302753
110,494	-7,305	41,251885
110,515	-7,332	42,954068
110,824	-7,575	50,471665
110,295	-7,215	35,312025
110,318	-7,051	28,704201
110,318	-6,99	26,722742
110,324	-6,964	25,97091
110,342	-7,294	40,140332
110,366	-7,212	35,710461
110,366	-7,15	32,783374
110,366	-7,069	29,54084
110,384	-6,982	26,674758
110,403	-7,262	38,608769
110,408	-7,011	27,630774

111,165	-7,042	21,876211
111,212	-7,202	23,953964
110,652	-6,691	19,525608
110,664	-6,618	18,285039
110,678	-6,58	17,673932
110,694	-6,735	20,179525
110,7	-6,689	19,340424
110,704	-6,527	16,862879
110,706	-6,765	20,697056
110,771	-6,706	19,352891
110,771	-6,626	18,074871
110,771	-6,525	16,655124
110,795	-6,584	17,377324
110,801	-6,72	19,451635
110,817	-6,471	15,842641
110,867	-6,501	16,041822
110,911	-6,406	14,826015
110,0807	-7,489	45,626783
110,104	-7,449	44,187995
110,152	-7,528	52,092971
110,175	-7,404	43,914397
110,181	-7,46	48,096072
110,199	-7,629	65,249155
110,199	-7,547	56,464733
110,209	-7,531	55,469536
110,247	-7,462	50,757343
110,247	-7,392	45,164636
110,254	-7,554	60,318912
110,271	-7,502	55,442989
110,277	-7,661	76,905272
110,291	-7,58	65,612237
110,303	-7,609	70,522747
110,325	-7,371	45,204361
110,342	-7,581	68,251212
110,366	-7,539	63,027558
110,366	-7,498	57,882239
110,366	-7,457	53,41132
110,39	-7,394	47,840255
109,021	-7,097	30,230264
109,057	-7,024	28,019276
109,086	-6,966	26,433779
109,116	-7,093	30,026745
109,128	-7,185	33,198785

110,408	-6,96	26,05066
110,414	-7,332	43,163866
110,414	-7,189	34,741839
110,42	-7,072	29,769919
110,42	-6,9805	26,678337
110,429	-6,997	27,199627
110,429	-6,018	11,927098
110,435	-6,972	26,428165
110,438	-7,392	47,900131
110,438	-7,127	31,960701
110,448	-6,998	27,236122
110,461	-7,227	36,7114
110,461	-6,044	12,124432
110,467	-6,998	27,228902
110,479	-6,967	26,263394
110,485	-7,267	38,917179
110,509	-7,164	33,476272
110,527	-7,403	48,348114
110,533	-7,306	41,055444
110,533	-7,224	36,288312
110,604	-7,404	47,066538
110,604	-7,262	37,673036
110,622	-7,4705	52,316724
110,622	-7,47	52,269954
110,01	-7,324	34,777937
110,057	-7,281	34,225195
110,813	-7,348	37,795274
110,819	-7,435	42,117568
110,843	-7,394	39,091721
110,867	-7,331	35,483629
110,891	-7,431	39,099207
110,914	-7,389	36,449777
110,938	-7,47	38,917692
110,938	-7,307	32,631427
110,962	-7,428	36,302244
110,968	-7,321	32,307428
111,022	-7,443	34,644688
111,022	-7,419	33,871989
111,034	-7,486	35,576452
111,052	-7,388	31,96209
111,105	-7,502	33,31213
111,105	-7,441	31,734061
111,105	-7,38	30,177781

109,128	-7,041	28,416051
109,129	-6,935	25,602619
109,129	-6,935	25,602619
109,136	-6,983	26,798785
109,149	-7,135	31,321177
109,158	-6,974	26,514028
109,158	-6,902	24,770256
109,182	-6,922	25,175323
109,199	-6,875	24,071034
109,203	-6,982	26,582381
109,223	-7,037	27,97553
109,247	-6,914	24,780476
109,247	-6,914	24,780476
110,765	-7,535	51,234602
110,843	-7,495	44,451629
110,885	-7,559	45,752252
110,914	-7,512	41,864725
110,938	-7,572	43,350309
110,962	-7,714	47,644103
110,986	-7,672	44,429858
110,986	-7,607	42,058923
110,986	-7,549	39,880659
111,04	-7,644	40,251304
111,063	-7,612	38,113687
111,063	-7,54	36,035854
111,105	-7,707	38,263725
111,105	-7,605	35,928925
111,129	-7,665	36,169534
111,129	-7,54	33,346913
111,016	-7,747	39,586734
109,414	-7,708	56,807811
109,443	-7,587	47,546383
109,461	-7,643	49,971501
109,509	-7,662	48,599656
109,509	-7,559	43,467881
109,515	-7,605	45,433461
109,533	-7,743	51,414704
109,556	-7,68	47,059504
109,562	-7,613	43,768488
109,58	-7,762	49,374426
109,61	-7,642	42,856621
109,628	-7,759	46,411235
109,628	-7,553	38,838167

111,105	-7,319	28,667029
110,742	-7,587	57,051421
110,742	-7,556	54,318368
110,783	-7,604	55,475253
110,789	-7,728	65,125404
110,814	-7,599	52,809495
110,825	-7,767	63,545765
110,832	-7,681	57,063053
110,867	-7,596	48,931155
110,891	-7,697	52,687207
110,891	-7,636	49,481046
110,914	-7,737	52,543857
111,748	-7,787	18,50109
110,789	-7,554	51,229106
110,813	-7,542	48,948325
110,816	-7,581	51,409956
110,824	-7,575	50,471665
110,834	-7,58	50,143815
110,852	-7,558	47,64558
109,985	-7,229	30,698899
110,003	-7,182	29,519838
110,05	-7,287	34,305105
110,056	-7,32	35,861336
110,056	-7,246	32,804898
110,065	-7,174	30,337422
110,098	-7,219	32,581149
110,1002	-7,28	35,180215
110,104	-7,305	36,410678
110,104	-7,121	29,128573
110,122	-7,351	39,179457
110,134	-7,381	41,196782
110,134	-7,258	34,915023
110,152	-7,181	31,980514
110,158	-7,359	40,629359
110,175	-7,316	38,649998
110,199	-7,24	35,261625
110,223	-7,32	39,914203
110,247	-7,258	36,901709
110,295	-7,337	42,310624
110,813	-8,047	71,02448
110,819	-7,968	71,68258
110,819	-7,845	68,782382
110,843	-7,884	66,644178

109,657	-7,656	41,293123
109,66	-7,67	41,637566
109,675	-7,757	43,773183
109,699	-7,632	38,775468
109,699	-7,632	38,775468
109,699	-7,57	36,90373
109,723	-7,775	41,832717
109,723	-7,508	34,35621
109,753	-7,697	38,408977
109,788	-7,705	38,27586
109,788	-7,633	36,654246
109,794	-7,793	40,251164
109,812	-7,756	40,69511
109,979	-7,102	26,774036
109,985	-7,147	28,137693
110,033	-7,023	25,383568
110,062	-6,925	23,295921
110,076	-6,97	24,48597
110,104	-7,081	27,849002
110,104	-6,918	23,472267
110,11	-6,994	25,416954
110,122	-7,024	26,356627
110,146	-7,002	25,959429
110,158	-6,91	23,667324
110,17	-7,001	26,134332
110,199	-6,873	23,036825
110,202	-6,931	24,46782
110,221	-6,944	24,921306
110,223	-7,096	29,625368
109,937	-7,293	31,71861
109,938	-7,231	29,77061
109,985	-7,454	39,509841

110,867	-8,172	57,757417
110,891	-8,088	58,733254
110,891	-7,779	56,61313
110,938	-8,044	54,604804
110,938	-7,962	55,358208
110,938	-7,797	52,567046
111,01	-7,978	48,312775
111,01	-7,835	47,155463
111,057	-8,017	44,348413
111,057	-7,853	43,837899
111,081	-7,954	42,794693
111,081	-7,769	40,883892
111,107	-7,882	40,734641
111,1295	-7,828	38,844517
111,153	-7,786	37,025896
111,201	-7,845	35,175573
111,224	-7,783	33,476804
111,248	-7,904	33,138588
111,272	-7,841	31,745388
111,272	-7,76	31,081243
111,762	-7,889	18,718858
109,782	-7,556	34,49465
109,818	-7,38	31,077074
109,83	-7,472	34,078891
109,842	-7,317	30,011842
109,866	-7,378	32,458955
109,898	-7,368	33,116571
109,908	-7,319	31,810446
109,913	-7,417	35,288725
109,985	-7,352	35,178148
110,009	-7,515	43,55168
110,009	-7,392	37,627474

Lampiran IV
Hasil Scoring Peta Risiko Model Crouse

NO	Kabupaten	Bahaya	Kerentanan	Kapasitas	Resiko
1	Cilacap	8	0,8	2	3,2
2	Banyumas	8	1,2	2	4,8
3	Purbalingga	4	1,2	2	2,4
4	Banjarnegara	4	0,8	2	1,6
5	Kebumen	8	0,8	2	3,2
6	Purworejo	8	0,8	2	3,2
7	Wonosobo	8	0,8	2	3,2
8	Magelang	8	1,2	2	4,8
9	Boyolali	8	0,8	2	3,2
10	Klaten	12	1,2	2	7,2
11	Sukoharjo	8	1,2	2	4,8
12	Wonogiri	8	0,8	2	3,2
13	Karanganyar	8	1,2	2	4,8
14	Sragen	8	0,8	2	3,2
15	Grobogan	4	0,8	2	1,6
16	Blora	4	0,4	2	0,8
17	Rembang	4	0,8	2	1,6
18	Pati	4	0,8	2	1,6
19	Kudus	4	1,2	2	2,4
20	Jepara	4	1,2	2	2,4
21	Demak	8	1,2	2	4,8
22	Semarang	8	1,2	2	4,8
23	Temanggung	8	0,8	2	3,2
24	Kendal	4	0,8	2	1,6
25	Batang	4	0,8	2	1,6
26	Pekalongan	4	0,8	2	1,6
27	Pemalang	4	1,2	2	2,4
28	Tegal	4	1,2	2	2,4
29	Brebes	12	0,8	2	4,8
30	Kota Magelang	8	1,2	2	4,8
31	Kota Surakarta	8	1,2	3	3,2
32	Kota Salatiga	8	1,2	3	3,2
33	Kota Semarang	4	1,2	3	1,6
34	Kota Pekalongan	4	1,2	2	2,4
35	Kota Tegal	4	1,2	2	2,4

Lampiran V
Hasil Scoring Peta Risiko Model Fukushima – Tanaka

NO	Kabupaten	Intensitas	Kepadatan	Kapasitas	Resiko
1	Cilacap	12	0,8	2	4,8
2	Banyumas	12	1,2	2	7,2
3	Purbalingga	8	1,2	2	4,8
4	Banjarnegara	8	0,8	2	3,2
5	Kebumen	12	0,8	2	4,8
6	Purworejo	12	0,8	2	4,8
7	Wonosobo	12	0,8	2	4,8
8	Magelang	12	1,2	2	7,2
9	Boyolali	12	0,8	2	4,8
10	Klaten	12	1,2	2	7,2
11	Sukoharjo	12	1,2	2	7,2
12	Wonogiri	12	0,8	2	4,8
13	Karanganyar	12	1,2	2	7,2
14	Sragen	12	0,8	2	4,8
15	Grobogan	12	0,8	2	4,8
16	Blora	12	0,4	2	2,4
17	Rembang	12	0,8	2	4,8
18	Pati	12	0,8	2	4,8
19	Kudus	12	1,2	2	7,2
20	Jepara	12	1,2	2	7,2
21	Demak	12	1,2	2	7,2
22	Semarang	12	1,2	2	7,2
23	Temanggung	12	0,8	2	4,8
24	Kendal	12	0,8	2	4,8
25	Batang	8	0,8	2	3,2
26	Pekalongan	12	0,8	2	4,8
27	Pemalang	4	1,2	2	2,4
28	Tegal	8	1,2	2	4,8
29	Brebes	8	0,8	2	3,2
30	Kota Magelang	8	1,2	2	4,8
31	Kota Surakarta	12	1,2	3	4,8
32	Kota Salatiga	12	1,2	3	4,8
33	Kota Semarang	8	1,2	3	3,2
34	Kota Pekalongan	4	1,2	2	2,4
35	Kota Tegal	4	1,2	2	2,4

Lampiran VI
Hasil Scoring Model Donovan

NO	Kabupaten	Intensitas	Kepadatan	Kapasitas	Resiko
1	Cilacap	8	0,8	2	3
2	Banyumas	8	1,2	2	5
3	Purbalingga	8	1,2	2	5
4	Banjarnegara	8	0,8	2	3
5	Kebumen	8	0,8	2	3
6	Purworejo	8	0,8	2	3
7	Wonosobo	8	0,8	2	3
8	Magelang	8	1,2	2	5
9	Boyolali	8	0,8	2	3
10	Klaten	12	1,2	2	7
11	Sukoharjo	8	1,2	2	5
12	Wonogiri	8	0,8	2	3
13	Karanganyar	8	1,2	2	5
14	Sragen	8	0,8	2	3
15	Grobogan	4	0,8	2	2
16	Blora	4	0,4	2	1
17	Rembang	4	0,8	2	2
18	Pati	4	0,8	2	2
19	Kudus	4	1,2	2	2
20	Jepara	4	1,2	2	2
21	Demak	4	1,2	2	2
22	Semarang	8	1,2	2	5
23	Temanggung	8	0,8	2	3
24	Kendal	4	0,8	2	2
25	Batang	4	0,8	2	2
26	Pekalongan	4	0,8	2	2
27	Pemalang	4	1,2	2	2
28	Tegal	4	1,2	2	2
29	Brebes	8	0,8	2	3
30	Kota Magelang	8	1,2	2	5
31	Kota Surakarta	8	1,2	3	3
32	Kota Salatiga	8	1,2	3	3
33	Kota Semarang	8	1,2	3	3
34	Kota Pekalongan	4	1,2	2	2
35	Kota Tegal	4	1,2	2	2



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

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

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Amalia Hidayati
NIM : 16640048
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
**Judul Skripsi : Analisis Percepatan Tanah Maksimum Untuk
Pemetaan Risiko Gempa bumi di Provinsi Jawa
Tengah**
Pembimbing I : Drs. Abdul Basid, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M. Pd

No	Tanggal	Materi Konsultasi	Tanda Tangan
1	25 Juni 2020	Konsultasi BAB I, II, III	
2	5 Juli 2020	ACC BAB I, II, III	
3	20 Oktober 2020	Konsultasi Data Hasil	
4	1 November 2020	Kosultasi BAB VI	
5	4 November 2020	Konsultasi Kajian Agama	
6	8 November 2020	Kosultasi BAB VI dan ACC	
7	29 November 2020	Kosultasi Revisi BAB VI, dan V	
8	30 November 2020	Konsultasi Kajian Agama	
9	16 Desember 2020	Konsultasi Semua BAB dan ACC	

Malang, 23 Desember 2020
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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