

SKRIPSI GEOFISIKA

**Analisis Pendekatan Empiris PGA (Peak Ground Acceleration)
Untuk Zonasi Kerawanan Seismik Pada Wilayah Jawa Timur**

Disusun dan Diajukan Oleh:

MUH. ALI AKBAR

H061171501



**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS PENDEKATAN EMPIRIS PGA (PEAK GROUND
ACCELERATION) UNTUK ZONASI KERAWANAN SEISMIK
PADA WILAYAH JAWA TIMUR**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

OLEH:

MUH. ALI AKBAR

H061171501

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PENDEKATAN EMPIRIS PGA (PEAK GROUND
ACCELERATION) UNTUK ZONASI KERAWANAN SEISMIK PADA
WILAYAH JAWA TIMUR**

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. ALI AKBAR

H061 17 1501

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin


Pada tanggal 12 November 2021


Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pertama,


Dr. Muh. Hamzah, S.Si., MT
NIP. 196912311997021002


Muh. Fawzy Ismullah, S.Si., MT
NIP. 199111092019031010

Ketua Departemen Geofisika,


Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Ali Akbar
NIM : H061171501
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“ANALISIS PENDEKATAN EMPIRIS PGA (PEAK GROUND
ACCELERATION) UNTUK ZONASI KERAWANAN SEISMIK PADA
WILAYAH JAWA TIMUR”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 12 November 2021

Yang menyatakan

MUH. ALI AKBAR

ABSTRAK

Provinsi Jawa Timur masuk dalam jalur pertemuan antara Lempeng Eurasia dengan Lempeng Indo-Australia yang menjadikan wilayah ini rawan akan gempa bumi. Penelitian ini digunakan untuk menentukan wilayah yang memiliki potensi kerusakan dari bencana gempa bumi berdasarkan persebaran nilai PGA (Peak Ground Acceleration) yang ada di wilayah Jawa Timur. Nilai PGA umumnya didapatkan dari hasil observasi rekaman akselerograf, namun karena keterbatasan alat akselerograf pada suatu wilayah, maka perhitungan PGA dilakukan dengan metode pendekatan empiris. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis rumus empiris Donovan, Esteva, Mc. Guirre, Fukushima serta Lin dan Wu terhadap kecocokan nilai PGA Provinsi Jawa Timur berdasarkan peta guncangan tanah, baik berupa *Shakemap* maupun peta *Seismic Hazard* Provinsi Jawa Timur. Penelitian menggunakan data sekunder gempa bumi dari katalog BMKG pada rentang waktu Januari 2016 hingga Juni 2021. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan dengan empat metode empiris lainnya, metode empiris Fukushima adalah pendekatan empiris paling baik yang dapat digunakan untuk menghitung nilai PGA di Provinsi Jawa Timur. Hasil perhitungan dengan menggunakan metode empiris Fukushima didapatkan nilai di Jawa Timur dengan rentang nilai dari 0,6 %g sampai dengan 7,1 %g. Pada wilayah Jawa Timur terdapat sembilan kabupaten yang memiliki potensi kerusakan yang tinggi, yaitu Kabupaten Malang, Nganjuk, Madiun, Trenggalek, Blitar, Kediri, Jombang, Tulungagung dan Situbondo dengan nilai PGA diatas 6,2 %g.

Kata Kunci: *Gempabumi, metode empiris, PGA, Jawa Timur*

ABSTRACT

East Java Province is included in the meeting path between the Eurasian Plate and the Indo-Australian Plate which makes this region prone to earthquakes. This study is used to determine areas that have the potential for damage from an earthquake based on the distribution of PGA (Peak Ground Acceleration) values in the East Java region. PGA values are generally obtained from observations of accelerograph recordings, but due to the limitations of accelerograph equipment in an area, PGA calculations are carried out using an empirical approach. This study aims to analyze the empirical formula of Donovan, Esteva, Mc. Guirre, Fukushima, and Lin and Wu on the suitability of the East Java Province PGA value based on the ground shaking map, both in the form of a Shakemap and a Seismic Hazard map for East Java Province. This study uses secondary earthquake data from the BMKG catalog in the period January 2016 to June 2021. The results show that in comparison with four other empirical methods, the Fukushima empirical method is the best empirical approach that can be used to calculate PGA values in East Java Province. The results of calculations using the Fukushima empirical method obtained values in East Java with a range of values from 0.6% g to 7.1% g. In East Java, there are nine districts with high potential for damage, namely Malang, Nganjuk, Madiun, Trenggalek, Blitar, Kediri, Jombang, Tulungagung and Situbondo districts with PGA values above 6.2% g.

Keywords: *Earthquake, empirical method, PGA, East Java*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah Rabbil Alamin, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul: “**Analisis Pendekatan Empiris PGA (Peak Ground Acceleration) Untuk Zonasi Kerawanan Seismik Pada Wilayah Jawa Timur**”, yang merupakan tugas akhir untuk melengkapi persyaratan mencapai gelar Sarjana Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Dalam tulisan ini, penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, izinkan penulis menghanturkan ucapan terima kasih yang tak terhingga khususnya kepada kedua orang tua penulis, almarhum **Bapak MD. Nuhung dan Ibunda Sinapati**, terima kasih untuk setiap perjuangan dan keringat yang kalian keluarkan dalam menyekolahkan penulis, segala pencapaian penulis sampai hari ini tidak lepas dari doa yang bapak dan ibu panjatkan untuk penulis. Tak lupa juga untuk **seluruh saudara dan keluarga** yang telah memberikan kasih sayang, motivasi, dukungan dan do’a yang tak henti-hentinya, semoga Allah SWT senantiasa membalas semua kebaikan hati kalian.

Penulis juga ingin menyampaikan penghormatan, rasa terima kasih yang tulus serta penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. **Bapak Dr. Muh. Hamzah, MT** selaku Pembimbing Utama. Terimakasih

atas segala waktu, ilmu, nasehat dan segala hal yang diluangkan untuk penulis hingga hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.

2. **Bapak Muh. Fawzy Ismullah M., S.Si, MT** selaku Pembimbing Pertama. Terima kasih atas bimbingan dan saran-saran yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini.
3. **Mba Emi Ulfiana, S.Tr** selaku pembimbing eksternal di BMKG Sanglah, Denpasar, Bali yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya serta memberi motivasi, masukan dan arahnya dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih untuk segala waktu yang diluangkan untuk penulis sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini.
4. **Bapak Ir. Bambang Harimei, M.Si** dan **Ibu Makhrani, S.Si, M.Si** selaku dosen penguji. Terimakasih atas kritik dan saran yang akhirnya membantu lahirnya segala tulisan yang ada dalam skripsi ini.
5. **Bapak Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT., Surv** selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis. Terima kasih untuk semua saran dan bimbingan mulai sejak penulis menjadi mahasiswa baru hingga penulis menyelesaikan skripsi ini.
6. **Bapak dan Ibu Dosen Departemen Geofisika** yang telah mendedikasikan waktunya sebagai pengajar. Terima kasih atas ilmu yang kalian ajarkan, semoga menjadi amal jariyah untuk kehidupan akhirat.
7. **Seluruh Dosen Departemen Geofisika, Staf Departemen Geofisika, Staf FMIPA UNHAS, Staf Laboratorium, serta Staf Perpustakaan FMIPA UNHAS dan Staf Perpustakaan Umum** atas semua ilmu yang

telah diajarkan, serta bantuan dan arahan yang bermanfaat bagi penulis.

8. **Mba Melani Putri, S.Tr** yang selalu membantu penulis dan memberikan semangat selama melaksanakan penelitian di BMKG Sanglah, Denpasar Bali.
9. **Gebrina Rezki, S.Si (Buaji)** partner karaoke kala stress melanda dan **Nur Darmayanti, S.Si (Dantuy)** yang sering penulis susahkan selama kuliah. Terima kasih untuk banyak momen tangis tawa yang dilewati bersama, terima kasih atas semua bantuannya, mulai dari kerja tugas, print tugas, makan-makan dan masih banyak lagi. Sukses untuk perjalanan karir berikutnya.
10. **Adhe Pratiwi** teman sejak masa mahasiswa baru, ngelab sama-sama, berorganisasi sama-sama, sering jalan sama-sama. Terima kasih khusus dari hati penulis. Penulis doakan semoga bisa mendapat jodoh yang bisa membuatmu lupa bahwa kau pernah sakit hati. Penulis hanya ingin mengungkapkan betapa penulis menghargai setiap pemberian dan dukunganmu. Terima kasih sudah ada untuk penulis, untuk cerita yang telah dilalui, untuk waktu yang berharga, untuk satu hal yang baru, untuk tawa dan julid yang tak pernah habis, dan semangat dikala hari buruk.
11. **Faishal Saini, S.Si** kawan yang paling sering penulis susahkan, teman ngelab sejak maba, yang paling sering membantu dikala ada masalah dan juga sering jadi sumber masalah, teman baku marah tapi tidak pernah meninggalkan (meskipun akhirnya ditinggal wisuda). Terima kasih telah banyak membantu penulis dan mengajarkan tentang hidup kepada penulis.

Semoga sukses ditempat yang sekarang.

12. **Zhafaat Rahimi Zainal**, termasuk dalam daftar teman yang paling sering penulis susahkan, partner makan, partner jalan, dan partner ibadah. Terima kasih telah sabar dan tabah menjadi teman penulis. Terima kasih sudah mempercayai penulis untuk berbagi kesulitan yang dihadapi. Terima kasih untuk telinga dan lengan yang selalu ada. Kebaikan, ketulusan dan kesabaranmu semoga bisa menular kepada penulis. Terima kasih untuk kebersamaan yang akan dihargai seumur hidup. Di antara semua, terima kasih telah menjadi pembeda. Di antara yang terlihat luar biasa, terima kasih telah menjadi apa adanya.
13. **Muh. Syarial G**, partner penulis sejak zaman lab fisdas sampai saat ini dan semoga bisa sampai seterusnya. Terima kasih sudah menjadi pengingat akan kebaikan, sudah menjadi teman berbagi, teman yang selalu memberi bantuan dikala susah. Penulis tidak berpikir akan bisa sejauh ini tanpa dukungan, kebaikan, ketulusan dan kemurahan hati, dan setiap hal kecil atau besar yang diberikan. Terima kasih yang tak terhingga.
14. **Khusnul Khatimah**, terima kasih sudah menjadi sosok teman yang baik tanpa memandang keburukan penulis. Tetap semangat dalam mengarungi pasang surut perskripsian. Penulis hanya ingin menyampaikan bahwa jangan lupa berterima kasih untuk dirimu sendiri, sudah mau mengambil banyak bagian dan peran, jatuh bangun, patah tumbuh, semua itu jadi pelajaran. Jangan lupa menjadi manusia, kamu hebat dan penulis mengakui itu!

15. **Rifnaldo Karangan, Sry Kurnia Rapang dan Indra Fermanto**, terima kasih yang banyak telah membantu penulis dalam segala hal, terima kasih telah kebersamai kebulidan selama berkuliah, jadi warna untuk hari-hari berat perkuliahan.
16. **Aulia Puji Astuti (Ekyjibs)** yang menjadi tempat bertanya penulis dikala buntu, yang juga berkat idenya penulis bisa sampai ditahap ini. Terima kasih banyak blogger absurd.
17. **Muh. Farid Wajedy, S.Si**, yang selalu mengajari penulis dengan sabar, yang selalu membantu dalam mengerjakan tugas selama kuliah. Terima kasih yang tak terhingga.
18. **Riyadi (WotWot)** teman yang selalu penulis mintai bantuan, terima kasih untuk segala ketulusan dan kebaikan hati, sukses untuk setiap langkahnya, maaf untuk hal-hal yang tidak baik yang ada pada diri penulis dan terima kasih sekali lagi untuk bahu yang selalu bisa diandalkan.
19. **St. Syakira** partner Tugas Akhir selama sebulan setengah di Bali. Terima kasih sudah menjadi teman penulis untuk *survive* selama sebulan setengah di Bali, teman berjelajah kemanapun, teman makan, mulai dari makan enak sampai makan nasi kerupuk saja, teman berbelanja, dan teman menghadapi kerasnya hantaman selama mengerjakan skripsi. Tetap menjadi orang baik seperti yang penulis kenal.
20. **Faqih Raihan** yang sering membantu dalam masalah laptop, download software dan install. Teman jalan dan mukbang pada masanya dan sekarang sudah tidak pernah lagi.

21. **Riyadi Wotu dan Illa** partner KP penulis. Terima kasih untuk semua cerita KP Pasirnya.
22. **Teman-teman angkatan Geofisika 2017, Gupa, Ucha, Titien, Danthy, Reza, Rina, Yusrin, Farid, Wide, unia, Jefri, Illa, Desya, Aldo, Riri, Melsi, Ekijibs, Wotu, Karmil, Ano, Aul, Inung, Aya, Angga, Nea, Sindy, Ajeng, Adhe, Pesal, Mimif, Cakip, Dandung, Rapang, Zahari, Cunnul, Fajar, Syakira, Bintang, Gabe, Esi, Daya, Cimmah, Andika, Epi, Firman, Mirna, Khalis, Albar, Indra, Faqih.** Terima kasih sudah menjadi kawan penulis selama ini, dan juga maaf karena penulis sadar sering membuat kalian susah. Terima kasih untuk kebersamaan mulai dari penulis maba hingga selesai. Semoga semua dari kita sukses dan bahagia di jalan yang kita pilih masing-masing.
23. **Teman-teman Fisika 2017, Aat, Rial, Callu, Ardi, Time, Fadlan, Roni, Rahma, Ola, Ate, Gita, Uci, Asni, Egi, Zain, Puat, Agung, Ebiet, Owel, Evita, Suci, Mbayes, Sabran, Fahri, Madan.** Terima kasih penulis ucapkan untuk kebersamaan dan cerita yang tercipta.
24. **Khalis, Angga, Dandung, Dicky, Tsaqif dan Fajar, Ucha** terima kasih untuk tangan yang selalu membantu, selalu ada saat dibutuhkan, selalu bisa diandalkan, yang banyak neko-nekonya tapi sebenarnya tulus. Terima kasih sudah menjadi bagian dari cerita penulis dalam menyelesaikan studi ini.
25. **Teman-teman dan kakak Lab Material dan Energi, terkhusus kepada Rial, Roni, Ardi, Fahri, Rahma, Ola serta Kakak Naya Kakak Fitria dkk** yang sering membantu penulis dan terima kasih telah menampung

penulis di lab kalian saat masih menjadi butiran debu. Terima kasih untuk segala bantuan yang diberikan kepada penulis. Semoga kalian selalu menjadi orang yang taat beribadah dan tak lelah dalam mengajak kepada kebaikan.

26. **Tampan Maks'17**, surganya para Pacalla-calla, pagosip, dan buaya. Terima kasih untuk selalu kebersamai penulis dalam keadaan suka maupun duka, terkhusus kepada **Angga, Dicky, Fajar, Faishal, Faqih, Agung, Ardi, Ebiet, Fadlan, Puad, Rial, Albar, Ano, Bintang, Reza, Riyadi, Qoil, Aldo, Dandung, Callu, Aat, Roni, Sabran, Khalis, Tsaqif, Ucha, Madan Zahari, Indra, Zain, Jefri, Wahyu** yang selalu mendukung dan membantu penulis selama ini. Setiap hidup adalah cerita, terima kasih telah menjadi bagian dari cerita penulis.
27. **Rial, Ardi dan Rahma** selaku teman seperjuangan penulis dalam mengurus berkas sidang hingga wisuda. Terima kasih banyak untuk kebersamai penulis sampai saat ini.
28. **Teman-teman SMA 21 Makassar, Palli, Asjar, Agung, Faad, Dian, Time, Dokter Muda Sasa, Rinal, Rifky, Isra.** Terima kasih untuk semangat dan waktu yang diluangkan untuk penulis.
29. **Teman-teman Kampus Mengajar Angkatan 2** penempatan SD Al-Qur'an Wahdah Islamiyah 02, kepada Us Ical, Arfan, Madan, Ryan dan Nuning. Terima kasih banyak untuk setiap moment kebersamaan yang dilalui.
30. **Muhammad Fa'iq** teman seperjuangan penulis dari masa jahiliyah sampai

saat ini. Terima kasih banyak untuk selalu kebersamai penulis meskipun akhirnya sibuk dengan urusan masing-masing. Semoga pertemanan ini bisa berlanjut sampai seterusnya.

31. Teman-teman penghuni **Lab Geofisika Padat** terkhusus kepada **Ibu lab Titien dan Karmila** yang selalu jadi pengingat untuk mengerjakan skripsi, tempat penulis bertanya, yang selalu membantu penulis. Terima kasih telah saling menguatkan dalam berjuang. Tak lupa juga untuk **Rapang, Aldo, Ucha, Angga, Adhe, Syakira, Hikmah, Dandung, Khalis, Wotu**, dan semua yang akan mengisi kursi-kursi lab geopadat nantinya.
32. **Teman-teman Kepengurusan SPE SC UNHAS 2020/2021** terkhusus kepada Khusnul, Aldo, Fhaika, Hasnan, Faisal, Dandung, Ekky, Ano, Danti, Farid, Illa, Rapang, Wotu, Titien, Ainul, Boncha, Dede, Fira, Fya, Muhe, Ipul, Yeni, Alif, Devi, Fausta, Habib, Haikal, Hesti, Jack, Lidah, Zakiah, Sarwan, Tsaqif, Sekar, Wilda, Jihan yang sudah memberikan dukungan kepada penulis.
33. **Kakak-kakak Kepengurusan SPE SC UNHAS 2019/2020**, terkhusus kepada Kak Cica, Kak Alam, Kak Leo, Kak Ani, Kak Khaeria, Kak Dinda, Kak Debby, Kak Fara, Kak Agung, Kak Devi. Terima kasih untuk ilmu yang diberikan kepada penulis.
34. **Kepada adik-adik Pengurus HMGF dan Himafi 2018** yang sudah membantu penulis dalam hal administrasi mengucapkan banyak terimakasih, terkhusus kepada Fira, Zevanya, Iis, Fya, Ipul, Yeni, Jojo, Dena, Syahrul, Sarwan, dan semuanya yang tidak sempat penulis sebutkan

satu persatu.

35. **Kepada adik-adik HMGF 2019** yaitu Nurul Maulidah, Mey, Ita, Akbar, Ismi, Suleha, Fatihah, Alif, Zakiyah, Devi, Afikah, Ashar, Asyifah, Aisyah, Cindy, Dahlia, Dian, Diky, Fausta, Habib, Haerul, Haikal, Hesti, Jack, Jinaan, Tiara, Muji, Mulki, Muli, Nanda, Nur, Haidir, Pipit, Sekar, William, Yuli, Reika, Sindy Yustin, Nismul, Arsyih, Ikki, Risda, Sarni, Nude, Fadillah, Riman, Indah, Azizah, Amirul.
36. **Teman-teman KKN Gel. 105 Tamalanrea 8**, terkhusus kepada Tiara, Gebrina, Aat, Danthy, Egi, Qoil, Roni, Illa, Hikmah, Wotu, Ippang, Ancis, Fandy, Ayu, Wide, Javid, Titien, Zain dan Maysarah. Terima kasih untuk kebersamaan yang tercipta.
37. **Teman-teman yang sejak dari awal seminar proposal, seminar hasil, sidang skripsi hingga wisuda yang telah memberi penulis banyak hadiah.** Semoga Tuhan memberikan rezeki yang berlipat ganda. Penulis ingin menyampaikan betapa penulis menghargai semua itu, terima kasih yang tak terhingga.
38. **Untuk Diri Sendiri.** Terima kasih untuk tidak menyerah dalam menjalani hidup, terima kasih diri yang selalu mengeluh tapi tetap mengerjakannya, terima kasih sudah mau meredakan ego, terima kasih sudah sabar dari segala hal yang mengejar. Terima kasih sudah mau menangis dan tetap menjadi manusia. Terima kasih sudah mau berjuang sampai detik ini dan mari kita berjuang sedikit lagi. Maaf jika selama ini terlalu memaksa untuk kuat,

berusaha tegar walau raga mau patah, berusaha tersenyum dibalik banyak sekali kesedihan. *You did it well!*

39. **Serta semua pihak** yang telah membantu selama penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak sempat penulis sebutkan satu-persatu.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Penulis telah mengerahkan segala kemampuan dalam proses penyusunan skripsi ini hingga selesai. Akhirnya, penulis berharap semoga Allah SWT memberikan imbalan yang setimpal pada mereka yang telah memberikan bantuan, kenangan dan kebersamaan kepada penulis yang tidak akan penulis lupa, serta dapat menjadikan semua ini sebagai ibadah. Aamiin.

Penulis,



Muh. Ali Akbar

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	2
I.1 Latar Belakang	2
I.2 Rumusan Masalah	5
I.3 Ruang Lingkup.....	5
I.4 Tujuan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1 Lempeng Tektonik.....	6
II.1.1 Batas Konvergen.....	7
II.1.2 Batas Divergen.....	8
II.1.3 Batas Transform.....	9
II.2 Geologi Regional	9
II. 3 Penjalaran Gelombang Seismik	14
II.3.1 Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>).....	15
II.3.2 Gelombang Permukaan	16
II.4 Gempabumi.....	17
II.5 Jenis-Jenis Magnitudo.....	19
II.5.1 Magnitudo Lokal (Ml).....	19
II.5.2 Magnitudo Body (Mb)	20
II.5.3 Magnitudo Permukaan (Ms)	20
II.5.4 Magnitudo Momen.....	21

II.5.5 Magnitudo Durasi.....	22
II.6 PGA (<i>Peak Ground Acceleration</i>).....	23
II.7 Persamaan Empiris PGA	26
II.8 Metode Interpolasi	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	30
III.2 Data Penelitian.....	30
III.3 Perangkat Lunak yang digunakan	31
III.4 Prosedur Penelitian.....	31
III.4.1 Prosedur Pengambilan Data.....	31
III.4.2 Prosedur Pengolahan Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
BAB V PENUTUP	48
V.1 Kesimpulan.....	48
V.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Lempeng-lempeng utama litosfer.....	6
Gambar II.2 Batas Konvergen.....	10
Gambar II.3 Batas Divergen	11
Gambar II.4 Batas <i>transform</i>	11
Gambar II.5 Pembagian fisiografi Jawa Timur.....	12
Gambar II.6 Arah gerak partikel dan arah penjalaran gelombang P dan S.....	12
Gambar II.7 Arah gerak partikel dan perambatan gelombang permukaan	13
Gambar III.1 Peta Lokasi Penelitian.....	35
Gambar IV.1 Peta <i>grid</i> Jawa Timur	40
Gambar IV.2 Peta guncangan tanah gempabumi Jawa Timur	41
Gambar IV.3 Peta sebaran PGA event gempa 10 April 2021	41
Gambar IV.4 Peta sebaran PGA metode empiris Donovan dan Esteva.....	42
Gambar IV.5 Peta sebaran PGA metode empiris Mc Guirre serta Lin dan Wu..	43
Gambar IV.6 Peta sebaran PGA metode empiris Fukushima	43
Gambar IV.7 Perbandingan peta sebaran PGA dengan peta PSHA.....	43

DAFTAR TABEL

Table II.1 Hubungan SIG dengan Percepatan Maksimum Tanah	17
Table II.2 Tingkat resiko gempabumi berdasarkan nilai PGA	25
Table IV.1 Perbandingan nilai PGA berdasarkan hasil perhitungan empiris	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tampilan data katalog gempabumi Jawa Timur tahun 2016 hingga tahun 2021.....	52
Lampiran 2 Perhitungan PGA menggunakan metode empiris Esteva	53
Lampiran 3 Perhitungan PGA menggunakan metode empiris Donovan	54
Lampiran 3 Perhitungan PGA menggunakan metode empiris Mc Guirre	55
Lampiran 3 Perhitungan PGA menggunakan metode empiris Lin dan Wu.....	56
Lampiran 3 Perhitungan PGA menggunakan metode empiris Fukushima	57

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pulau Jawa termasuk bagian busur sangat aktif (bagian barat Provinsi Jawa Barat) dan busur aktif (untuk keseluruhan Pulau Jawa) dalam satuan seismotektoniknya (Soehaimi, 2008). Tingkat aktivitas gempabumi yang tinggi di Pulau Jawa disebabkan karena letaknya berada pada zona pertemuan dua lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia (Natawidjaya, 1995). Menurut Desmonda dan Pamungkas (2014) wilayah Provinsi Jawa Timur masuk dalam jalur pertemuan antara Lempeng Eurasia dengan Lempeng Indo-Australia yang letaknya di 200 km ke arah selatan. Hal inilah yang menyebabkan wilayah selatan Jawa Timur memiliki potensi terjadinya bencana gempabumi tektonik. Sedangkan menurut Handewi (2014) terjadinya gempabumi tektonik pada wilayah Jawa Timur terjadi pada batas pembentukan lempeng samudra, pada batas pertemuan antara dua lempeng (daerah subduksi) dan pada daerah sesar yang aktif pada lempeng benua. Gempabumi merupakan peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi (BMKG, 2021). Saat terjadi gempabumi maka energi yang dilepaskan akan dijalarkan dalam bentuk gelombang dan akan merambat ke segala arah sehingga getarannya sampai di permukaan bumi. Getaran yang sampai di permukaan bumi menghasilkan nilai percepatan tanah yang berbeda-beda, hal ini bergantung dari beberapa parameter gempabumi diantaranya besar kecilnya magnitudo (M), kedalaman sumber (hiposenter) dan karakteristik batuan penyusun atau perlapisan di suatu tempat yang ditinjau.

Penilaian resiko gempabumi yang pernah dialami suatu daerah dapat dilakukan berdasarkan pemetaan nilai percepatan getaran tanah maksimum (Permatasari et al., 2016). PGA (*Peak Ground Acceleration*) ialah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah dialami suatu wilayah akibat dari gempabumi (Broptopuspito et al., 2006) dan merupakan salah satu parameter yang sering digunakan dalam mengestimasi tingkat kerusakan tanah akibat dari guncangan gempabumi. Wilayah atau daerah dengan nilai PGA yang besar memiliki resiko bahaya gempabumi yang semakin besar pula sehingga upaya mitigasi gempabumi perlu dilakukan untuk memperkecil dampak dari bencana tersebut. Salah satu upaya mitigasi adalah melakukan analisis dan pemetaan percepatan tanah maksimum di suatu wilayah (Pasau et al., 2015).

Salah satu hal penting dalam mitigasi gempabumi ialah mengetahui kerusakan akibat getaran dari gempabumi ke bangunan. Perlu adanya penyesuaian kekuatan bangunan yang akan dibangun di daerah tersebut (Edwiza dan Novita, 2008). Nilai percepatan maksimum tanah diperlukan untuk membuat desain bangunan tahan gempa dan dapat digunakan untuk menentukan besarnya tingkat kerentanan yang dialami oleh wilayah tersebut. Kerusakan bangunan dan fasilitas yang disebabkan oleh gempa ditentukan oleh parameter intensitas (MMI) yang berkorelasi dengan ketebalan sedimen (Borcherdt, 1976). Meskipun gempa bumi yang kuat tidak sering terjadi, gempa bumi sangat berbahaya kehidupan manusia (Sunarjo et al., 2012). Karenanya gempa bumi seringkali menimbulkan kerugian material dan kehidupan sosial (Ratna et al., 2018). Nilai percepatan tanah maksimum pada umumnya didapatkan dari hasil observasi rekaman akselerograf. Namun, akselerograf tidak

tersebar secara merata di seluruh wilayah Indonesia. Akibat keterbatasan tersebut, diperlukan sebuah metode pendekatan empiris untuk menghitung nilai PGA pada suatu wilayah. Beberapa metode pendekatan empiris yang telah dilakukan antara lain Mc. Guirre (1963), Donovan (1973), Esteva (1974), Fukushima (1988) serta Lin dan Wu (2010). Akan tetapi tidak semua metode ini dapat digunakan untuk menentukan nilai percepatan tanah maksimum di suatu wilayah (Ibrahim dan Subarjo, 2005).

Menurut Syamsuddin (2017) nilai percepatan tanah maksimum di Provinsi Jawa Timur menggunakan Metode Fukushima berdasarkan riwayat gempabumi dari tahun 1921 sampai pada tahun 2017 memiliki persebaran nilai dalam rentang 16,97 gal atau 1,73 %g sampai dengan 512,08 gal atau 52,36 %g. Kemudian terdapat enam daerah yang memiliki potensi kerusakan bangunan yang tinggi di wilayah Jawa Timur, yakni Kabupaten Malang, Kediri, Blitar, Bojonegoro, Tuban dan Nganjuk dengan nilai percepatan tanah di atas 400 gal atau 40,9%g. Sebelumnya Rika (2014) menggunakan Metode Mc. Guirre pada wilayah selatan Jawa Timur berdasarkan riwayat gempabumi dari tahun 1985 hingga tahun 2014 mendapatkan nilai percepatan tanah maksimum sebesar 11,185 sampai 37,5282 gal. Berdasarkan referensi tersebut, maka dilakukan penelitian kembali di wilayah yang sama untuk mengetahui persamaan empiris yang sesuai dalam mencari nilai percepatan tanah maksimum untuk menentukan daerah yang beresiko tinggi mengalami kerusakan bila terjadi gempabumi.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil sebaran nilai PGA di Jawa Timur menggunakan Metode Empiris Donovan (1973), Esteva (1974), Fukushima (1988), Mc. Guirre (1963) serta Lin dan Wu (2010)?
2. Persamaan empiris apa yang paling sesuai untuk wilayah Jawa Timur?
3. Daerah mana saja yang beresiko tinggi mengalami kerusakan bangunan berdasarkan nilai PGA wilayah Jawa Timur?

I.3 Ruang Lingkup

Ada pun ruang lingkup penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari katalog gempa bumi BMKG yang meliputi parameter waktu terjadinya gempa bumi, posisi hiposenter dan magnitudo dengan rentang waktu dari tahun 2016 hingga tahun 2021. Wilayah penelitian dibatasi berdasarkan kondisi geografis yaitu wilayah Jawa Timur yaitu $110,790081^{\circ}$ - $114,790597^{\circ}$ BT dan $6,677725^{\circ}$ - $8,777477^{\circ}$ LS.

I.4 Tujuan Penelitian

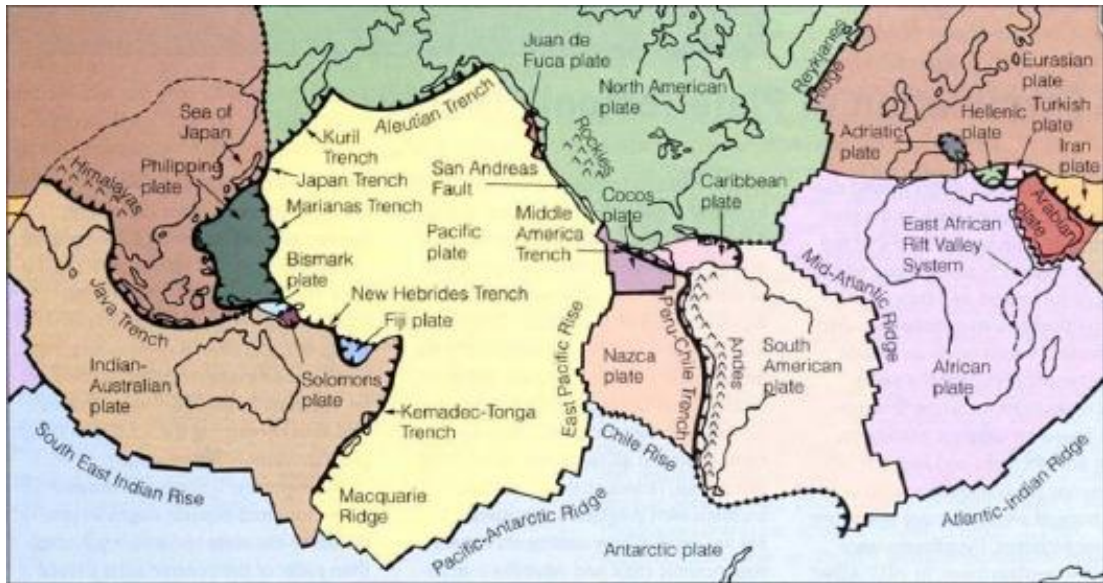
1. Menentukan sebaran nilai PGA untuk wilayah Jawa Timur menggunakan persamaan empiris Donovan (1973), Esteva (1974), Fukushima (1988), Mc. Guirre (1963) serta Lin dan Wu (2010).
2. Menentukan persamaan yang paling sesuai untuk wilayah Jawa Timur
3. Menentukan potensi daerah dengan resiko tinggi berdasarkan perhitungan PGA empiris yang lebih sesuai untuk wilayah Jawa Timur

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Lempeng Tektonik

Teori lempeng tektonik menjelaskan tentang sifat-sifat bumi yang saling bergerak yang disebabkan oleh adanya gaya endogen yang asalnya dari dalam bumi. Teori ini menyatakan bahwa pada litosfer ini dibagi menjadi 13 lempeng yang terdiri dari lempeng besar maupun lempeng kecil. Lempeng besar di antaranya Lempeng Pasifik (*Pacific plate*), Lempeng Eurasia (*Eurasian plate*), Lempeng India-Australia (*Indian-Australian plate*), Lempeng Afrika (*African plate*), Lempeng Amerika Utara (*North American plate*), Lempeng Amerika Selatan (*South American plate*), Lempeng Antartika (*Antartic plate*). Sementara untuk lempeng kecil terdiri dari Lempeng Nasca (*Nasca plate*), Lempeng Arab (*Arabian plate*), Lempeng Karibia (*Caribbean plate*), Lempeng Philippines (*Philippines plate*) dan Lempeng Scotia (*Scotia plate*) (Noor, 2009). Lempeng-lempeng tersebut dapat dilihat pada Gambar II.1. Teori lempeng tektonik muncul setelah Alfred Wegener mengemukakan bahwa benua yang padat itu sebenarnya terapung dan bergerak di atas massa yang relatif lembek (*continental drift*). Gravitasi dianggap sebagai penyebab utama dari semua pergerakan lempeng ini sebab gaya gravitasi mengakibatkan lempeng yang lebih tua dan berat tersubduksi. Kemudian karena tertarik, ada celah di tengah punggung samudera yang kemudian terisi material dari dalam mantel (Noor, 2009).

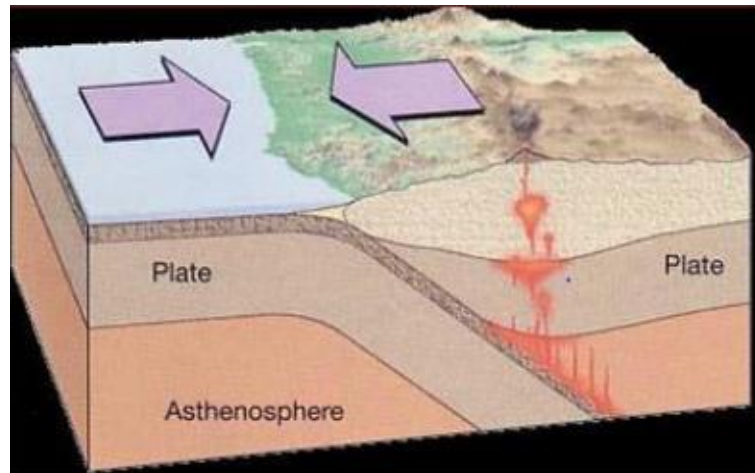


Gambar II.1 Lempeng-lempeng utama litosfer (Noor, 2009).

Batas-batas dari 13 lempeng pada gambar II.1 diatas kemudian dibedakan berdasarkan dari interaksi antara lempengnya sebagai berikut:

II.1.1 Batas Konvergen

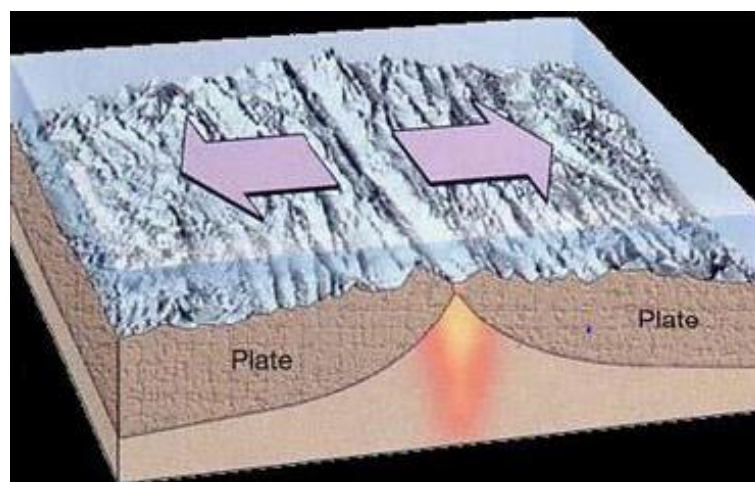
Batas konvergen merupakan batas lempeng yang saling bertumbukan, dapat berupa batas subduksi (*subduction*) dan obduksi (*obduction*). Batas subduksi merupakan peristiwa tumbukan batas lempeng yang salah satu dari lempeng tersebut akan menyusup ke perut bumi dan lempeng yang satunya akan mengalami pengangkatan ke permukaan bumi. Sementara obduksi adalah sebuah rangkaian pegunungan sebagai akibat dari tumbukan antar dua lempeng benua. Ada pun batas konvergen ini dapat dilihat pada Gambar II.2 (Noor, 2009).



Gambar II.2 Batas Konvergen (Noor, 2009)

II.1.2 Batas Divergen

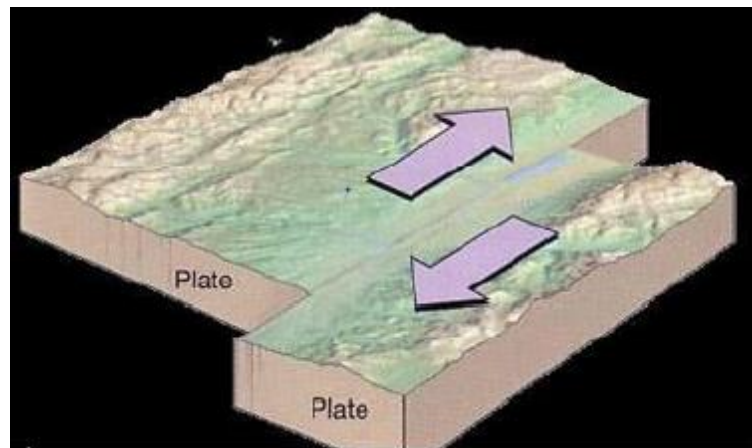
Batas divergen merupakan batas lempeng yang menjauh satu sama lain yang disebabkan karena adanya gaya tarik (*tensional force*) sehingga magma naik ke permukaan membentuk lava yang mengakibatkan lempeng saling menjauh. Berikut adalah batas divergen yang dapat dilihat pada Gambar II.3 di bawah (Noor, 2009).



Gambar II.3 Batas divergen (Noor, 2009).

II.1.3 Batas Transform

Batas transform merupakan terbentuknya suatu sesar mendatar jenis *Strike Slip Fault* akibat dari berpasannya batas antar lempeng dan saling bergeser satu dan lainnya. Berikut adalah gambar batas transform yang dapat dilihat pada gambar II.4 (Noor, 2009).



Gambar II.4 Batas transform (Noor, 2009).

II.2 Geologi Regional

Geologi Jawa timur dibagi atas beberapa zona. Menurut van Bemmelen (1949) wilayah Jawa Timur dibagi atas beberapa bagian antara lain:

1. Zona Pegunungan Utara, terdiri dari Gunung Muria yang tersusun atas batuan leusit, Gunung Lasem dan Gunung Butak dengan batuan penyusun andesitik. Gunung Muria pada Kala Holosen merupakan gunung yang berdiri sendiri tetapi sekarang dihubungkan dengan Pulau Jawa oleh dataran alluvial Semarang – Demak – Kedu – Pati – Rembang.
2. Zona Perbukitan Rembang - Madura, merupakan sebuah daerah antiklinorium Rembang Utara dan Cepu yang berada di bagian selatannya, dengan arah memanjang dari barat ke timur. Kedua antiklinorium ini dipisahkan oleh

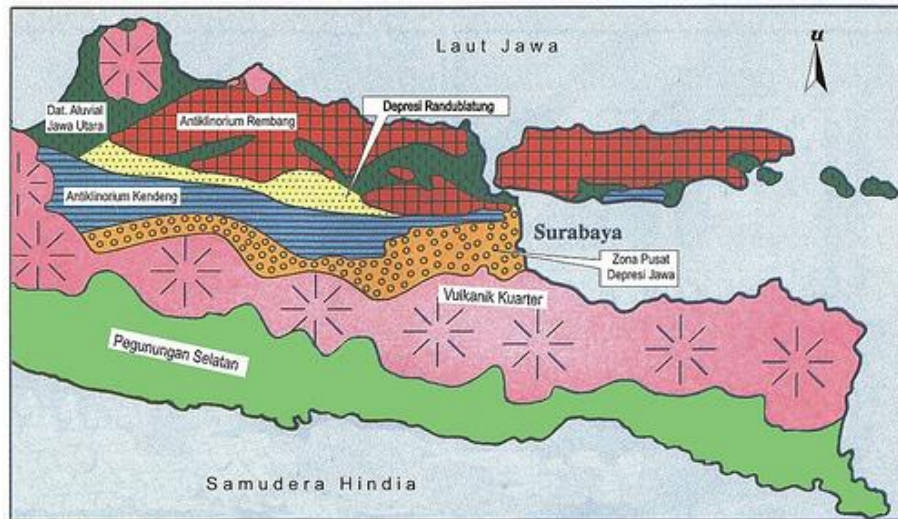
Depresi Blora-Kening. Antiklinorium ini merupakan hasil gejala tektonik Tersier Akhir yang dapat ditelusuri hingga Selat Madura. Zona ini sejajar dengan Zona Kendeng dan dipisahkan oleh Depresi Randublatung. Puncak tertinggi yaitu Gunung Gading (535 m). Zona ini tersusun atas endapan pasir dan kerikil.

3. Zona Depresi Randublatung, merupakan zona depresi fisiografi maupun tektonik yang membentang antara Zona Kendeng dan Rembang. Depresi ini terbentuk pada Kala Plistosen dengan arah barat-timur. Bagian tersempitnya berada di sekitar Cepu yang melebar ke arah timur hingga Selat Madura. Zona ini juga merupakan sinklinisasi yang tersusun atas berbagai batuan sedimen tebal.
4. Zona Kendeng, merupakan antiklinorium dengan panjang 250 kilometer, lebar kurang lebih 20 kilometer, dan ketinggiannya kurang lebih 500 meter. Zona ini membentang dari Gunung Ungaran ke arah timur sampai ke daerah Mojokerto, bahkan dapat ditelusuri hingga Madura. Di dekat Ngawi zona ini terpotong oleh Sungai Solo yang mengalir dari selatan ke utara. Di bagian timur terdapat Gunung Pandan yang menembus lapisan berumur Tersier. Pegunungan Kendeng merupakan tulang punggung dari zona ini. Mulai dari daerah ini, lebar dan ketinggiannya berangsur-angsur menurun dan antiklinnya menghilang di bawah endapan Delta Brantas di sekitar Mojokerto. Berdasarkan intensitas vulkanik dan variasi stratigrafinya, Zona Kendeng dibagi beberapa wilayah: Kendeng Barat mencakup daerah yang berbatasan dengan Gunung Ungaran di sebelah barat hingga daerah sekitar Purwodadi, Kendeng Tengah mencakup

daerah Purwodadi hingga Gunung Pandan, dan Kendeng Timur mencakup daerah Gunung Pandan hingga Mojokerto.

5. Zona Solo, merupakan suatu depresi yang secara tektonik dan fisiografi serupa dengan Zona Bandung Jawa Barat. Zona ini tersusun oleh beberapa gunungapi muda dan dapat dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:
 - a) Sub Zona Ngawi-merupakan sebuah depresi sinklin yang berbatasan dengan Zona Kendeng di sisi selatan. Batuan alluvial mengisi zona ini mulai dari Delta Brantas sampai Sragen dan Ngawi hingga Jombang.
 - b) Sub Zona Solo terbentuk oleh gunungapi-gunungapi kuarter dan dataran intermotan
 - c) Sub Zona Blitar berbatasan dengan zona pegunungan selatan di selatan Jawa Timur.
6. Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur, merupakan suatu blok yang telah terangkat dan tererosi dengan lebar 55 kilometer. Bagian timur terisi oleh batugamping, sedangkan bagian utara terisi oleh sedimen vulkanik. Dilihat dari letaknya, maka secara fisiografi daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Kendeng bagian timur.

Geologi Jawa Timur dibagi atas beberapa zona seperti yang terlihat pada Gambar II.5.



Gambar II.5 Pembagian fisiografi Jawa Timur (Bemmelen, 1949)

Satuan stratigrafi di daratan Jawa Timur terdiri atas (Panjaitan, 2010):

1. Pra-Ngimbang umur Eosen Bawah terdiri atas batupasir sisipan serpih, batulanau dan batubara tidak selaras dengan Formasi Ngimbang di atasnya.
2. Formasi Ngimbang umur Eosen Tengah ditandai dengan sedimen klastik yang terdiri dari perselingan batupasir, serpih dan batugamping kadang-kadang dijumpai batubara yang menunjukkan lingkungan laut dangkal di atasnya diendapkan Formasi Ngimbang secara tidak selaras.
3. Formasi Kujung tersusun oleh serpih dengan sisipan batugamping dan batupasir, batugamping bagian bawah merupakan batugamping Kranji, sisipan bagian atasnya serpih dan batugamping klastik disebut juga sebagai batugamping Prupuh. Pada daerah rendahan berkembang serpih Kujung dan pada daerah lebih tinggi berkembang terumbu karbonat dan Anggota Prupuh.
4. Formasi Tuban terdiri atas perlapisan batulempung beberapa sisipan batugamping dan serpih terbentuk pada Awal Miosen dan diendapkan pada lingkungan laut dalam.

5. Formasi Tawun tersusun oleh perselingan antara serpih karbonat pasiran dengan batupasir dan batugamping umur Miosen Awal hingga Miosen Tengah lingkungan paparan yang agak dalam.
6. Formasi Ngrayong terdiri atas batupasir, serpih, batulempung, batulanau dan sisipan batugamping umur Miosen Awal-Miosen Tengah tersingkap secara luas pada Lembar Rembang ketebalannya berkisar 950 meter.
7. Formasi Bulu Mempunyai penyebaran yang luas di antiklin Rembang Utara tersusun oleh batugamping berwarna putih kadang-kadang berlapis kalkarenit dengan sisipan napal dan batupasir umur MiosenTengah.
8. Formasi Wonocolo tersusun oleh napal dan lempung tidak berlapis di bagian bawah tersusun oleh batugamping pasiran dengan pengendapan transgresif ketebalan berkisar 500 meter umur Miosen Tengah-Atas pada lingkungan paparan luar.
9. Formasi Ledok mempunyai *stratotype* di antiklin Ledok Cepu tersusun oleh perselingan antara batupasir glaukonitik dengan sisipan napal umur Akhir Miosen.
10. Formasi Mundu tersusun oleh napal masif bagian atas formasi ini berubah menjadi batugamping pasiran umur Miosen Akhir Pliosen dengan pengendapan laut dalam ketebalan berkisar 700 meter.
11. Formasi Selorejo Tersusun oleh perselingan antara batugamping napalan hingga batugamping pasiran dianggap sebagai anggota Formasi Mundu tersingkap bagus di Sungai Gadu umur Pliosen Tengah-Akhir.

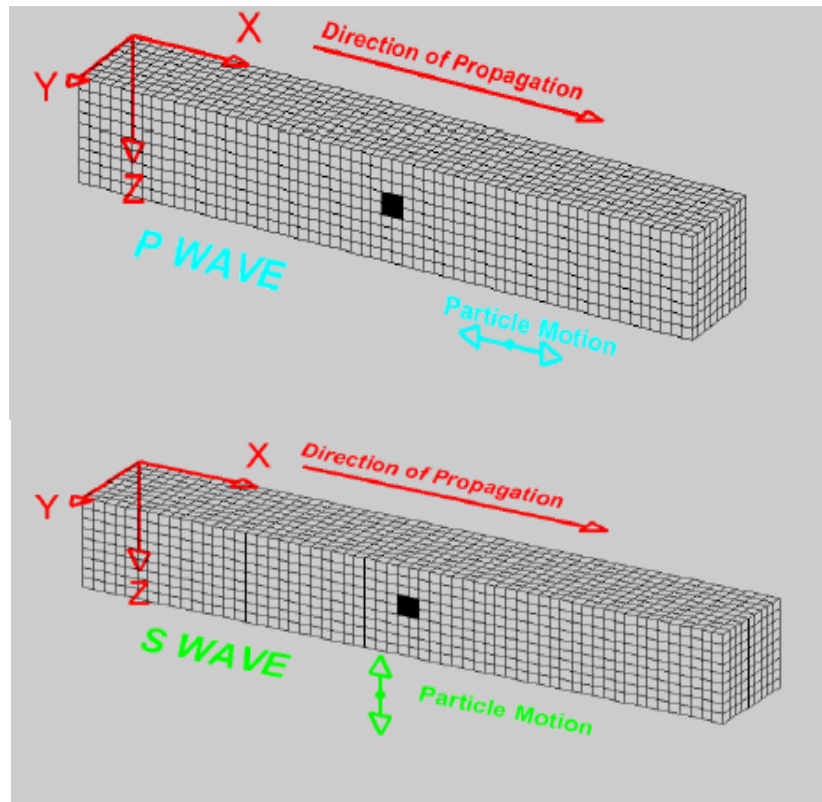
12. Formasi Lidah tersusun oleh batulempung hitam dan napal berlapis yang diselengi oleh batupasir umur Plio-Plistosen.
13. Formasi Paciran tersusun oleh batugamping masif umumnya merupakan batugamping terumbu tersebar di utara Zona Rembang dari wilayah Tuban, Lamongan dan Gresik umur Pliosen hingga Awal Plistosen.

II. 3 Penjalaran Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi dan melalui permukaan bumi, akibat adanya lapisan batuan yang patah secara tiba-tiba atau adanya suatu ledakan. Gelombang seismik dapat merambat melalui dua medium yang berbeda, bergantung dari sifat elastisitas yang dimiliki oleh batuan-batuan tertentu yang berada di permukaan atau bawah permukaan bumi. Gelombang utama gempa bumi terdiri dari dua tipe yaitu gelombang badan (*Body Wave*) dan gelombang permukaan (*Surface Wave*) (Ibrahim dan Subardjo, 2005). Gelombang badan merambat di dalam badan bumi, gelombang ini terbagi lagi menjadi gelombang P dan S. Sedangkan gelombang permukaan menjalar melalui luar bumi, dibagi menjadi dua yakni gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love* (Telford et al., 1990).

Gelombang seismik merambat dalam lapisan bumi sesuai dengan prinsip yang berlaku pada perambatan gelombang cahaya di antaranya pembiasan dengan koefisien bias, pemantulan dengan koefisien pantul, Hukum Fermat, Huygens, Snellius dan lain-lain (Ibrahim dan Subardjo, 2005).

II.3.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

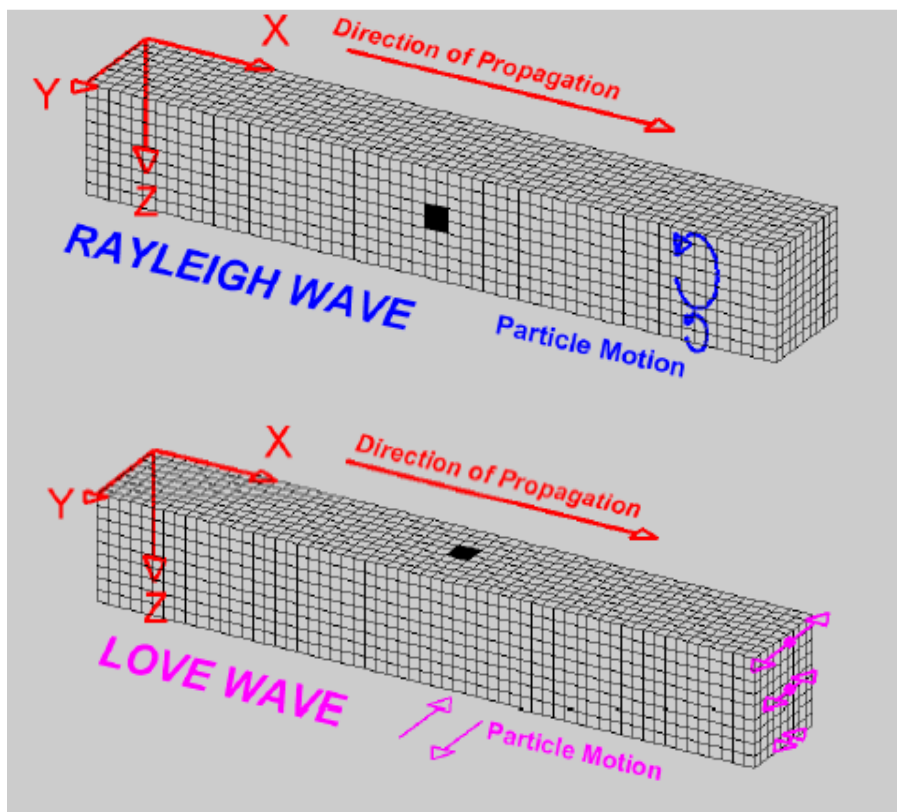


Gambar II.6 Arah Gerak Partikel dan Arah Penjalaran Gelombang P dan gelombang S (Wallace dan Thorne, 1995)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa gelombang badan terbagi menjadi dua, yakni gelombang P dan gelombang S. Gelombang P atau yang biasa dikenal sebagai gelombang longitudinal merupakan gelombang yang memiliki arah getar partikel yang searah dengan arah perambatannya. Karena gelombang ini juga terbentuk dari getaran yang menjalar dari satu tempat ke tempat yang lainnya, maka gelombang ini dapat juga disebut sebagai gelombang kompresi (*compressional wave*). Sedangkan gelombang S atau yang biasa disebut gelombang transversal merambat dengan regangan geser murni dengan arah tegak lurus terhadap arah perambatannya (Kearey, 2002). Gelombang ini hanya dapat menggeserkan deformasi dan tidak dapat mengubah volumenya serta tidak dapat merambat

melalui fluida, berbeda dengan gelombang P yang bisa merambat di semua medium (Wallace dan Thorne, 1995). Ilustrasi penjalaran gelombang P dan S dapat dilihat pada gambar II.6.

II.3.2 Gelombang Permukaan



Gambar II.7 Arah Gerak Partikel dan Perambatan Gelombang Rayleigh dan gelombang Love (Wallace dan Thorne, 1995)

Gelombang permukaan merambat hanya pada bagian kerak bumi dengan frekuensi yang lebih rendah dibandingkan gelombang badan. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua yakni gelombang Rayleigh dan gelombang Love seperti pada gambar II.7 di atas. Gelombang Rayleigh dihasilkan dari interaksi antara gelombang P dan S. Gelombang ini merambat sepanjang permukaan bebas atau sepanjang batas antara dua medium padat yang berbeda. Lintasan gerak partikel

gelombang ini menyerupai ellips. Sementara itu, gelombang love adalah gelombang geser yang terpolarisasi dengan gerakan partikel sejajar permukaan bebas dan tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang. Gelombang ini terpolarisasi secara horizontal serta tidak menghasilkan perpindahan vertikal (Kearey, 2002).

II.4 Gempabumi

Gempabumi merupakan peristiwa bergetarnya bumi karena ada pergerakan atau pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng tektonik (Sunarjo et al., 2010). Peristiwa pergeseran secara tiba-tiba ini disebabkan karena suatu tubuh batuan karena proses pelepasan dari akumulasi regangan (*strain*) energi yang melampaui batas elastis batuan. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi sebagai getaran atau guncangan tanah. Kebanyakan gempabumi disebabkan oleh pelepasan energi yang dihasilkan oleh tegangan dari lempeng yang bergerak. Semakin lama tegangan itu akan semakin membesar dan akhirnya sampai pada keadaan tegangan tersebut tidak mampu lagi ditahan oleh massa batuan. Gempabumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik disebut sebagai gempabumi tektonik. Posisi Indonesia yang berada pada batas pertemuan empat lempeng tektonik besar dunia yang sangat aktif, seperti Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik dan lempeng Indo-Australia serta satu lempeng mikro yaitu Lempeng mikro-Philipina. Dampak dari kondisi tektonik inilah yang menyebabkan Indonesia menjadi sangat rawan terhadap bencana gempabumi utamanya gempabumi tektonik (Kumala dan Wahyudi, 2016).

Setiap kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismik yang selanjutnya akan mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis yang nantinya akan menjadi parameter gempa bumi. Dalam pencatatan kejadian gempa bumi didapatkan beberapa informasi berupa *origin time* atau waktu terjadinya gempa bumi, lokasi episenter (lintang, bujur), kedalaman serta magnitudo.

Sebelum manusia dapat mengukur besarnya gempa bumi dengan alat, sebelumnya intensitas gempa bumi diketahui melalui observasi langsung efek gempa bumi terhadap manusia, struktur bangunan serta lingkungan pada suatu wilayah. Skala yang digunakan untuk menentukan intensitas gempa bumi biasanya disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*). Skala gempa bumi ini bersifat kualitatif dan bergantung pada lokasi terjadinya gempa bumi. BMKG menetapkan skala intensitas gempa bumi terbaru yang disesuaikan dengan wilayah Indonesia seperti dijelaskan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Hubungan Skala Intensitas Gempabumi (SIG) dengan Percepatan Maksimum Tanah (BMKG, 2021)

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN (<i>Not Felt</i>)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I-II	< 2,9
II	Hijau	DIRASAKAN (<i>Felt</i>)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.	III-V	2,9-88

III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN (<i>Slight Damage</i>)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	89-167
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG (<i>Moderate Damage</i>)	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar genteng bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII- VIII	168-564
V	Merah	KERUSAKAN BERAT (<i>Heavy Damage</i>)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX- XII	> 564

II.5 Jenis-Jenis Magnitudo

Magnitudo gempa bumi merupakan sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa bumi. Besaran ini akan berharga sama meskipun dihitung dari lokasi yang berbeda. Berikut ini adalah jenis-jenis magnitudo gempa bumi, di antaranya:

II.5.1 Magnitudo Lokal (MI)

Di awal tahun 1930 Richter memperkenalkan magnitudo lokal (ML) menggunakan data gempa bumi yang direkam oleh seismograf Woods-Anderson di wilayah California. Untuk mengetahui besarnya gempa bumi yang terjadi perlu diketahui

jarak episenter ke seismograf serta mengukur amplitudo maksimum dari sinyal yang tercatat di seismograf (USGS, 2002).

Rumus empiris magnitudo lokal dapat di lihat pada (Persamaan 2.1) sebagai berikut (Wallace and Thorne, 1955):

$$Ml = \log \alpha + 3 \log \Delta - 2,92 \quad (2.1)$$

Dengan α merupakan amplitudo getaran tanah (μm) dan Δ merupakan jarak dari stasiun ke sumber gempa bumi (Km).

II.5.2 Magnitudo Body (Mb)

Keterbatasan penggunaan magnitudo lokal pada jarak tertentu menjadi alasan pengembangan tipe magnitudo bodi (*Body-Wave Magnitude*). Magnitudo ini didasarkan pada catatan amplitudo dari gelombang P yang menjalar melalui bumi bagian dalam. Magnitudo ini secara umum dirumuskan dalam Persamaan 2.2 berikut (Wallace dan Thorne, 1995):

$$Mb = \log \frac{\alpha}{T} + Q(h, \Delta) \quad (2.2)$$

Dengan α adalah amplitudo getaran (μm), T adalah periode getaran (detik) serta Q (h, Δ) adalah koreksi jarak Δ dan h yang didapatkan dari pendekatan empiris.

II.5.3 Magnitudo Permukaan (Ms)

Magnitudo permukaan didapatkan dari hasil pengukuran terhadap gelombang permukaan. Pada gelombang ini biasanya memiliki periode sekitar 20 detik. Amplitudo gelombang permukaan sangat dipengaruhi oleh jarak Δ dan kedalaman sumber gempa h. Gempabumi dalam tidak akan menghasilkan sebuah gelombang

permukaan, karena itu persamaan M_s tidak memerlukan koreksi kedalaman. Rumus empiris dari magnitudo permukaan dapat dilihat pada Persamaan 2.3 berikut (Wallace dan Thorne, 1995)

$$M_s = \log \alpha + \alpha \log \Delta + \beta \quad (2.3)$$

Dengan α adalah amplitudo maksimum dari pergeseran tanah, Δ adalah jarak (Km), α dan β adalah koefisien dan konstanta yang didapatkan dengan pendekatan empiris.

Magnitudo gelombang permukaan (M_s) sering digunakan dalam melakukan perhitungan harga percepatan tanah. Namun ada juga data yang diperoleh menggunakan magnitudo gempa lokal (M_l) atau Magnitudo gelombang badan (M_b). Hubungan yang dapat ditarik dari ketiga skala ini telah ditemukan oleh Gutenberg, sehingga perhitungan mudah diperoleh. Dari hubungan tersebut dapat diperoleh sebagai berikut (Ulfiana et al., 2018):

$$M_b = 0,56 M_s + 2,9 \quad (2.4)$$

atau

$$M_b = 1,7 + 0,8 M_l - M_l^2 \quad (2.5)$$

II.5.4 Magnitudo Momen

Dalam Teori *Elastic Rebound* terdapat sebuah istilah momen seismik. Istilah ini dapat diestimasi dari dimensi pergeseran bidang sesar dari analisis karakteristik gelombang seismik yang terekam pada stasiun pencatat. Hubungan antara momen seismik dengan magnitudo permukaan dapat dirumuskan secara empiris oleh Persamaan 2.6 berikut (Wallace dan Thorne, 1995).

$$\log Mo = 1,5 Ms + 16,1 \quad (2.6)$$

Magnitudo yang berkaitan dengan momen seismik bergantung dari nilai magnitudo permukaan, dapat dilihat pada Persamaan (2.7) dibawah ini (Wallace dan Thorne, 1995):

$$Mw = (\log Mo 1,5) - 10,73 \quad (2.7)$$

Dengan Mw adalah magnitudo momen dan Mo adalah momen seismik.

Pengukuran magnitudo momen lebih kompleks jika dibandingkan dengan pengukuran magnitudo *Ml*, *Ms* dan *Mb*, tetapi lebih akurat dalam menyatakan jumlah energi yang dilepaskan dari sumber gempa bumi. Oleh karena itu penggunaan dari magnitudo momen ini lebih sedikit dibandingkan dengan ketiga magnitudo yang lain (Wallace dan Thorne, 1995).

II.5.5 Magnitudo Durasi

Magnitudo durasi merupakan fungsi dari total durasi sinyal seismik. Studi tentang kekuatan gempa bumi dapat dikembangkan pada penggunaan durasi sinyal gempa bumi untuk menghitung magnitudo pada kejadian gempa lokal. Rumus empiris magnitudo durasi seperti pada Persamaan (2.8) di bawah ini (Lee dan Steward, 1981):

$$Md = a_1 + a_2 \log \pi + a_3 \Delta + a_4 \quad (2.8)$$

Dengan Md adalah magnitudo durasi, π adalah durasi sinyal (detik), Δ adalah jarak episenter (Km), h adalah kedalaman hiposenter (Km), serta a_1, a_2, a_3 dan a_4 adalah konstanta empiris.

II.6 PGA (*Peak Ground Acceleration*)

Percepatan tanah maksimum atau yang biasa disebut PGA merupakan parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dalam keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah maksimum merupakan nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang disebabkan oleh gelombang gempabumi. Perhitungan nilai PGA didasarkan pada magnitudo dan jarak sumber gempa yang pernah terjadi terhadap titik perhitungan, serta nilai periode dominan tanah daerah tersebut (Fauzi et al., 2005).

Gempabumi yang terjadi di suatu wilayah akan menghasilkan nilai percepatan tanah pada suatu *site*. Nilai percepatan tanah yang dihitung berupa nilai percepatan tanah maksimum. Pergerakan tanah di suatu lokasi menggambarkan kekuatan serta lamanya waktu guncangan yang dipengaruhi oleh ukuran dan lokasi sumber gempabumi serta karakteristik *site* (Kramer, 1996).

Percepatan tanah maksimum merupakan salah satu parameter yang sering digunakan dalam pengukuran amplitudo percepatan tanah maksimum. Percepatan tanah maksimum yang terjadi pada daerah tertentu yang dihitung akibat adanya gempabumi selama kurun waktu tertentu (Brotospito, 2012). Besar kecilnya nilai percepatan tanah tersebut menunjukkan resiko gempabumi yang perlu diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam perencanaan bangunan tahan gempabumi.

Informasi tentang nilai percepatan tanah maksimum dan pola sebarannya merupakan sesuatu yang penting untuk diketahui dalam perencanaan serta pembangunan infrastruktur tahan gempa. Dengan mengetahui sebaran atau variasi

nilai percepatan tanah maksimum di suatu wilayah, maka lokasi-lokasi yang rawan mengalami kerusakan ketika terjadi gempa bumi dapat dipetakan.

Parameter PGA dipengaruhi oleh tiga hal, yakni sumber gempa bumi (magnitudo, jenis sesar dan hal lain yang berkaitan dengan sumber gempa bumi), *raypath* (jalur penjalaran gelombang termasuk di dalamnya jarak hiposenter), serta faktor lokal yang dapat berupa keadaan geologi atau karakteristik suatu wilayah (Ulfiana et al., 2018). PGA dapat diketahui melalui dua cara yaitu pengukuran dengan menggunakan alat *accelerograph* dan melalui pendekatan empiris (Linkimer, 2008). Pengukuran percepatan tanah dapat dihitung secara langsung menggunakan alat, namun cara ini sering terkendala akibat keterbatasan jaringan akselerograf baik dari segi ketersediaan alat, cakupan waktu, dan wilayah, maka diperlukan pendekatan secara empiris (Kapojos et al., 2015). Pendekatan empiris dapat memberikan gambaran secara umum untuk percepatan tanah maksimum sesuai titik-titik yang dibutuhkan (Ibrahim dan Subarjo, 2005). Ada beberapa metode yang dapat dipakai untuk menentukan nilai percepatan tanah maksimum secara empiris di antaranya Metode Fukushima-Tanaka, Donovan, Esteva, Mc. Guirre, dan Kanai (Edwiza dan Novita, 2008). Pengukuran percepatan tanah dengan cara empiris dapat dilakukan dengan pendekatan dari berbagai rumus yang sudah diturunkan dari nilai magnitudo gempabumi atau data intensitas. Perumusan yang dilakukan tidak selalu benar, bahkan dari satu metode dengan metode lainnya hasil yang didapatkan tidak selalu sama. Namun hal ini akan dapat memberikan sebuah gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum (Handewi, 2014).

Percepatan tanah maksimum di suatu tempat yang disebabkan oleh getaran seismik bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*) di tempat tersebut (Kanai, 1966). Sifat-sifat lapisan tanah ditentukan oleh periode dominan tanah (*predominant period*) dari lapisan tanah tersebut bila ada getaran seismik. Periode getaran seismik dan periode dominan tanah akan mempengaruhi besarnya percepatan batuan pada lapisan batuan dasar (*base rock*) dan pada permukaan (*ground surface*).

Umumnya, semakin besar magnitudo maka semakin besar energi yang dihasilkan oleh sumber gempa bumi, dengan begitu maka akan semakin besar pula bencana yang akan ditimbulkan. Faktor geologi wilayah setempat juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi tingkat kerusakan pada suatu bangunan saat terjadi gempa bumi. Bangunan yang berdiri di atas lapisan sedimen atau tanah yang lunak mempunyai kemungkinan terjadinya kerusakan bangunan yang lebih besar dibandingkan dengan bangunan yang berdiri di atas lapisan tanah padat disebabkan oleh faktor amplifikasi. Oleh sebab itu, data percepatan tanah maksimum di suatu daerah akibat getaran gempa bumi menjadi suatu parameter yang penting untuk menggambarkan tingkat risiko gempa bumi pada gempa tertentu. Semakin besar nilai PGA di suatu daerah maka semakin besar bahaya dan risiko gempa bumi yang mungkin akan terjadi, begitu sebaliknya semakin kecil nilai PGA, maka semakin rendah pula tingkat bahaya dan risiko gempa bumi yang terjadi.

Hasil dari perhitungan nilai PGA dapat disajikan dalam bentuk peta percepatan tanah maksimum. Berdasarkan besaran percepatan maksimum dan intensitas

(satuan MMI), peta percepatan tanah maksimum dapat diklasifikasikan menjadi sepuluh macam tingkat resiko seperti yang terlihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Tingkat resiko gempabumi berdasarkan nilai PGA (Fauzi et al., 2005)

No	Tingkat Resiko	Nilai Percepatan α (gal)	Intensitas (MMI)
1	Resiko sangat kecil	<25	<VI
2	Resiko kecil	25-50	VI-VII
3	Resiko sedang satu	50-75	VII-VIII
4	Resiko sedang dua	75-100	VII-VIII
5	Resiko sedang tiga	100-125	VII-VIII
6	Resiko besar satu	125-150	VIII-IX
7	Resiko besar dua	150-200	VIII-IX
8	Resiko besar tiga	200-300	VIII-IX
9	Resiko sangat besar satu	300-600	IX-X
10	Resiko sangat besar dua	>600	>X

II.7 Persamaan Empiris PGA

Secara umum nilai PGA didapatkan dari hasil observasi rekaman *accelerograph*, namun keterbatasan alat *accelerograph* pada suatu wilayah atau tidak tersebar secara merata di seluruh wilayah Indonesia maka diperlukan suatu pendekatan empiris. Metode empiris dapat dibuat sendiri melalui rekaman *accelerograph* atau dengan menggunakan rumus pendekatan empiris orang lain yang sudah dilakukan di suatu wilayah, apakah sesuai untuk wilayah tersebut atau tidak. Ada beberapa metode pendekatan empiris yang telah dilakukan oleh beberapa ahli, di antaranya Donovan (1973), Fukushima, Mc. Guirre (1963), Esteva (1974) serta Lin dan Wu

(2010). Berikut adalah beberapa rumus pendekatan empiris yang diturunkan dari parameter-parameter gempa bumi, dapat dilihat pada Persamaan 2.9 sampai Persamaan 2.13 di bawah ini (Douglas, 2017):

1. Metode Donovan (1973)

$$\alpha = \frac{1080^{0,5} Ms}{(r+25)^{1,32}} \quad (2.9)$$

Dengan α adalah percepatan, Ms merupakan magnitudo gelombang permukaan serta r adalah jarak hiposenter dalam satuan Km.

2. Fukushima (1988)

$$\log A = \alpha M - \log(R + c10^{\alpha M}) - bR + d \quad (2.10)$$

Dengan A dalam satuan cm/s^2 , $\alpha = 0,41$, $b = 0,0034$, $c = 0,032$, $d = 1,30$ dan $\sigma = 0,21$ dan M adalah magnitudo.

3. Mc. Guirre (1963)

$$\alpha = \frac{472,3 \times 10^{0,278Ms}}{(r+25)^{1,301}} \quad (2.11)$$

Dengan Ms adalah magnitudo gelombang permukaan dan r adalah jarak hiposenter.

4. Esteva (1974)

$$Yc = b1^{b2M}(R + b4)^{-b3} \quad (2.12)$$

Dengan Yc dalam satuan cm/s^2 , $b1 = 5600$, $b2 = 0,8$, $b3 = 2$, $b4 = 40$ dan $\sigma = 0,64$ dan R adalah jarak

5. Lin dan Wu (2010)

$$\log_{10} (PGA) = -0,395 \log_{10} (R) + 0,125 M + 1,979 \quad (2.13)$$

Dengan PGA merupakan nilai dari percepatan getaran tanah, R merupakan jarak dan M merupakan magnitudo.

II.8 Metode Interpolasi

Masuknya teknologi sistem informasi geografis (SIG) ke dalam ilmu geografi menjadikan proses penyusunan informasi spasial lebih mudah dan efisien (Longley et al., 2015). Lokasi pengambilan data umumnya ditentukan dengan metode penentuan sampel. Metode penentuan sampel diterapkan untuk mengumpulkan data primer agar riset dapat berjalan secara efisien dari segi waktu, biaya dan tenaga, namun tetap berpedoman pada sisi ilmiah. Metode penentuan sampel yang diterapkan dalam penelitian mengakibatkan tidak semua bagian daerah penelitian diambil datanya. Sehingga dibutuhkan metode untuk menggeneralisasi agar sampel yang diambil dapat menggambarkan kondisi daerah penelitian secara keseluruhan. Metode generalisasi yang sering digunakan adalah interpolasi spasial. Metode interpolasi spasial yang disediakan oleh perangkat lunak SIG di antaranya ialah IDW (*Inverse Distance Weighting*) dan *Krigging* (Sejati, 2019).

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga terbuatlah peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah (Gamma Design Software, 2005). Metode IDW merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada

data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel. IDW mengasumsikan bahwa setiap titik ukuran mempunyai pengaruh lokal yang berkurang dengan jarak. Titik-titik yang lebih dekat ke daerah estimasi akan diberi bobot yang lebih besar dibandingkan yang terletak lebih jauh, oleh karena itu dinamakan *Inverse Distance Weighted*.