

**ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI JAWA  
TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE DONOVAN  
DAN METODE ESTEVA**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**ULFA QONITA FARDIYAH BURHIMA**  
**115090707111002**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**2018**



**ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI JAWA  
TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE DONOVAN  
DAN METODE ESTEVA**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang fisika

Oleh :

**ULFA QONITA FARDIYAH BURHIMA**  
**115090707111002**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**2018**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI JAWA  
TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE DONOVAN  
DAN METODE ESTEVA**

Oleh :

**ULFA QONITA FARDIYAH BURHIMA  
115090707111002**

**Setelah dipertahankan di depan majelis penguji  
pada tanggal.....  
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika**

Pembimbing I

Pembimbing II

Sukir Maryanto, Ph.D  
NIP. 197106211998021001

Rizki Amalia, S.Si  
NIP. 198812142009112001

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda  
NIP. 19640910199021001



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ulfa Qonita Fardiyah Burhima

NIM : 115090707111002

Jurusan : Fisika

Penulis Skripsi berjudul :

### **ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI JAWA TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE DONOVAN DAN METODE ESTEVA**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Tugas akhir ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam daftar pustaka Tugas akhir ini, semata-mata digunakan sebagai acuan atau referensi.
2. Apabila di kemudian hari diketahui bahwa isi Tugas akhir saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 23 Juli 2018

Yang menyatakan,

(Ulfa Qonita Fardiyah Burhima)

NIM. 115090707111002



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI JAWA TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE DONOVAN DAN METODE ESTEVA

## ABSTRAK

Telah dilakukan analisis percepatan tanah maksimum di Jawa Timur dengan menggunakan metode Donovan dan metode Esteva. Data yang digunakan adalah data gempa yang berasal dari katalog gempa USGS tahun 1960 – 2017. Wilayah penelitian mencakup area dengan koordinat  $6^{\circ}$ –  $12^{\circ}$  LS dan  $109^{\circ}$ –  $115^{\circ}$  BT, yang dibagi kedalam grid- grid berukuran  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ . Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah menurut metode Donovan sebesar 22,2 Gal – 397,5 Gal, sedangkan untuk metode Esteva diketahui nilai percepatan tanah maksimum di Jawa Timur sebesar 1,8 Gal – 74,1 Gal. Berdasarkan hasil korelasi penelitian yang telah dilakukan, metode yang paling sesuai digunakan adalah metode Esteva..

Kata Kunci : PGA, Donovan, Esteva, Jawa Timur.



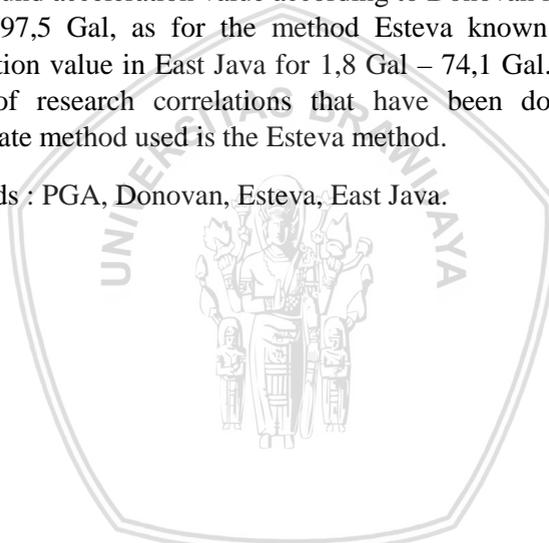
**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## ANALYSIS OF PEAK GROUND ACCELERATION IN EAST JAVA USING DONOVAN METHOD AND ESTEVA METHOD

### ABSTRACT

Peak ground acceleration in East Java has been analysed by using Donovan and Esteva method. The data used are earthquake data from the USGS earthquake catalog between 1960 – 2017. The study includes an area with coordinates  $6^{\circ} - 12^{\circ}$  LS dan  $109^{\circ} - 115^{\circ}$  BT, divided into grid-sized grids  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ . The analysis results show that peak ground acceleration value according to Donovan method is 22,2 Gal – 397,5 Gal, as for the method Esteva known peak ground acceleration value in East Java for 1,8 Gal – 74,1 Gal. Based on the results of research correlations that have been done, the most appropriate method used is the Esteva method.

Keywords : PGA, Donovan, Esteva, East Java.



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur sepatutnya dipanjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI JAWA TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE DONOVAN DAN METODE ESTEVA”**.

Penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, petunjuk serta bimbingan dari berbagai pihak sehingga bisa terselesaikan dengan baik dan lancar. Sehingga pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Keluarga tercinta, Abah, Mama, Yusuf, Sita, Ila, Ci, Datuk, kak Mery, dan Ami Nizam yang selalu memberi dukungan moral, material dan spiritual selama penulis melaksanakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya atas izin yang diberikan kepada penulis.
4. Bapak Sukir Maryanto, Ph.D selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir atas izin dan pengarahan serta bimbingan yang sudah diberikan selama pelaksanaan Tugas Akhir.
5. Bapak Musripan SE selaku kepala BMKG Karangates yang telah memberikan izin untuk melakukan Tugas Akhir di BMKG Karangates.
6. Ibu Rizki Amalia, S.Si selaku pembimbing II dari pihak BMKG Karangates yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama pelaksanaan Tugas Akhir.
7. Saudara Farizky Hisyam dan Saudari Devita Sari Putri yang selalu memberikan semangat dan menemani penulis dalam pembuatan laporan Tugas Akhir.
8. Sahabat tembul (vani, iim, dan fida) yang selalu memberikan semangat dan doanya kepada penulis.
9. Arum Tri, Dwi Cahyaning Tiyas, Eyang Mamik, para ustaz/ah, santriwan/i Pondok Pesantren Modern Surya Buana

yang selalu memberikan semangat dan doa kepada penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir.

10. Saudara Muammar kadafi Umar, Syatariu Khouw, Aditya Putra Basyir yang selalu mengingatkan penulis dan memberikan semangat kepada penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir.
11. Seluruh teman-teman Geofisika 2011 yang telah menemani penulis selama mencari ilmu di Universitas Brawijaya.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mohon maaf serta saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan kedepannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, baik bagi penulis maupun pihak lain yang membutuhkan. Amin.

Malang, 23 Juli 2018



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 latar Belakang

Indonesia merupakan kawasan dengan kerawanan gempa yang tinggi. Hal ini karena Indonesia terletak di antara 3 lempeng tektonik besar diantaranya lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng tersebut saling bergerak satu dengan lainnya sehingga menyebabkan terjadinya gempa bumi. Jalur pertemuan lempeng berada di laut sehingga apabila terjadi gempabumi besar dengan kedalaman dangkal maka akan berpotensi menimbulkan tsunami sehingga Indonesia juga daerah rawan tsunami. Aktivitas dari pergerakan lempeng-lempeng tersebut tentunya akan menimbulkan perubahan struktur geologi pada batas-batas pertemuan lempeng tersebut tergantung dari jenis pertemuan antar lempengnya, bisa berupa gempabumi, gunung api, pembentukan pegunungan, lipatan dan patahan. Sistem subduksi Pulau Jawa dibentuk oleh subduksi lempeng samudra di bawah lempeng benua. Tektonik di Jawa berarah barat laut di depan Sumatra dan berarah timur kepulauan Sunda Lesser. Hal ini menyebabkan daerah Jawa Timur dan sekitarnya merupakan salah satu wilayah rawan terhadap gempabumi karena posisinya pada jalur subduksi yang berada di sebelah barat yaitu pertemuan antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia.

Gempa bumi adalah getaran dalam bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Besarnya guncangan bumi beragam mulai dari yang sangat kecil sehingga sulit dirasakan sampai kepada guncangan yang dahsyat, sehingga mampu meruntuhkan bangunan yang kokoh. Gempabumi adalah suatu guncangan atau sentakan tanah yang disebabkan oleh pelepasan energi dari kerak bumi secara tiba-tiba. Energi yang dihasilkan ini dapat terbentuk dari berbagai sumber yang berbeda-beda seperti pergerakan dari lempeng bumi, dari erupsi gunung api dan dapat juga dapat terbentuk dari akibat aktivitas yang dilakukan oleh manusia

atau dapat terjadi karena ada runtuhnya sebuah goa bawah tanah. Kejadian gempabumi, dalam hal ini gempa tektonik, dapat dijelaskan dengan sebuah teori pergerakan lempeng tektonik dalam skala yang luas. Teori lempeng tektonik menunjukkan bahwa terjadinya gempabumi merupakan gejala atau tanda dari pergeseran tektonik yang aktif, hal ini dapat dikatakan bahwa sebagian besar aktivitas seismik yang hebat terjadi di batas lempeng (Elnashai dan Di Sarno, 2008).

Percepatan tanah maksimum merupakan indikator percepatan tanah yang terjadi di suatu tempat akibat gempabumi dan dapat diketahui melalui dua cara yaitu pengukuran dengan menggunakan alat accelereograph dan melalui pendekatan empiris (Linkimer, 2008).

Nilai percepatan tanah maksimum dengan menggunakan metode Fukushima dengan data gempabumi USGS tahun 1921-2017 didapatkan nilai percepatan tanah maksimum di Jawa Timur dengan rentang nilai dari 16,96987184 gal atau 1,735104303 % g sampai dengan 512,0829309 gal atau 52,35851543 % g seperti yang dilakukan oleh syamsuddin (2017). Dalam penelitian ini untuk nilai percepatan tanah Terdapat pada enam daerah yang memiliki potensi kerusakan bangunan yang tinggi di wilayah Jawa Timur, daerah ini adalah kabupaten Malang, Kediri, Blitar, Bojonegoro, Tuban dan nganjuk yang memiliki nilai percepatan tanah diatas 400 gal atau 40,9 % g, jika dijadikan dalam skala intensitas memiliki nilai VIII MMI, hal ini menjadi salah satu dasar untuk melakukan penelitian kembali untuk menentukan nilai percepatan pada wilayah Jawa Timur dengan menggunakan metode lain.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu :

- a. Metode apakah yang sesuai digunakan untuk menentukan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di Jawa Timur
- b. Berapakah nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di wilayah Jawa Timur?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian ini dilakukan hanya di wilayah Jawa Timur
- b. Data yang digunakan adalah data gempa bumi tahun 1960 s.d. 2017 dengan magnitudo yang digunakan 5 s.d. 10 Skala Richter berdasarkan data gempa bumi dari website United States Geological Survey (USGS).

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) dengan metode Donovan dan metode Esteva di Jawa Timur.
- b. Menentukan metode manakah yang lebih cocok untuk wilayah Jawa Timur.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah:

- a. Untuk memberikan informasi terkait kawasan rawan bencana yang ada di Jawa Timur melalui nilai PGA.
- b. Diharapkan dari penelitian ini dapat menjadi referensi bagi peneliti, dosen dan mahasiswa yang ingin melakukan dan mengembangkan penelitian ini lebih lanjut serta dapat memberikan informasi kepada peneliti lain mengenai kajian penelitian yang dilakukan dengan harapan nantinya untuk peneliti yang lain dapat mengembangkan penelitian ini ke arah yang lebih baik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gempabumi

Istilah gempa bumi telah dikemukakan oleh banyak orang khususnya orang yang berkecimpung dalam bidang ini. Salah satu teori yang hingga kini dapat diterima oleh para ahli kebumihan untuk menjelaskan mekanisme dan sebaran kejadian gempa bumi adalah teori lempeng tektonik (*theory of plate tectonic*). Gempa bumi akan terjadi apabila terjadi penumpukan energi pada batas lempeng (bersifat konvergen bertumbukan), divergen (saling menjauh) dan transform (berpapasan) atau pada sesar (patahan) dan blok batuan tersebut tidak mampu lagi menahan batas elastisitasnya, sehingga akan dilepaskan sejumlah energi dalam bentuk rangkaian gelombang seismik yang dikenal sebagai gempa bumi (Supartoyo dan Surono, 2008).

Gempa bumi merupakan salah satu hal yang dapat menimbulkan penjalaran gelombang seismik. Menurut Teori Elastic Rebound yang dinyatakan oleh seismolog Reid, (K.E Bullen, 1965; B. Bolt, 1988) menyatakan bahwa merupakan gejala alam yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi di litosfera.

Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau tarikan yang terus-menerus menyebabkan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan mulai pergeseran dan akhirnya terjadi patahan secara tiba-tiba. Energi stress yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang kita kenal sebagai gempabumi (Don, L. & Florence Leet. 2007).

Sebenarnya kegempaan di Indonesia terjadi pada pertemuan lempeng. Ketika dua lempeng bumi bertumbukan, lempeng dengan kerapatan massa lebih besar akan menyusup ke bawah. Gerakan lempeng tersebut akan melambat akibat gesekan dengan selubung Bumi lainnya. Perlambatan gerak tersebut akan menyebabkan penumpukan energi di zona-zona tersebut akan terjadi patahan batuan

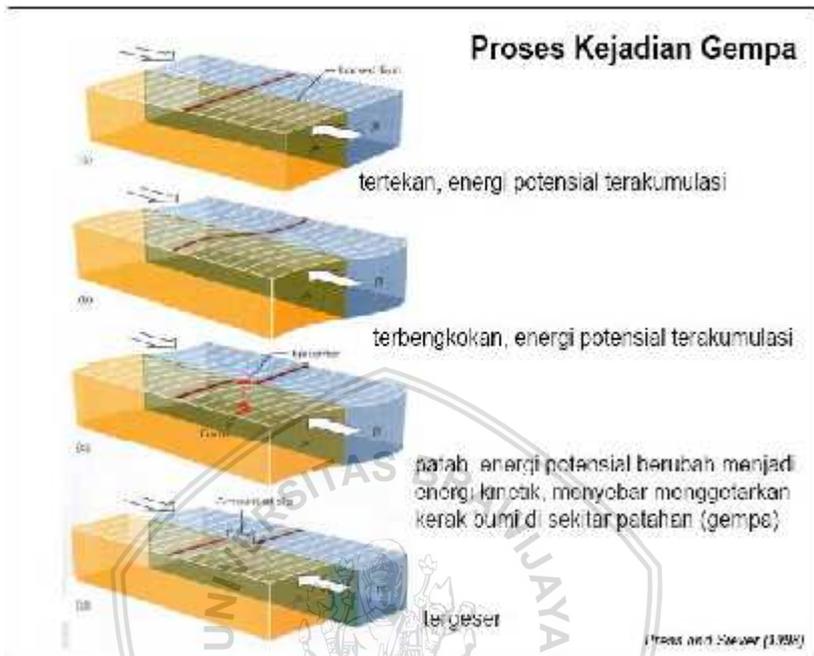
yang diikuti lepasnya energi secara tiba-tiba. Besar kecilnya energi yang dilepas tergantung seberapa besar batas elastisitas lempeng terlampaui. Proses pelepasan energi ini menimbulkan getaran partikel segala arah. Getaran-getaran inilah yang disebut gempa tektonik, kejadian gempa bumi lainnya berkaitan dengan aktivitas sesar aktif pada kerak bumi. Adapun jenis sesar/patahan aktif penyebab gempa bumi yang dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu sesar naik (thrust/reverse fault), sesar turun (normal fault) dan sesar mendatar (strike slip fault) (Supartoyo dan Suro, 2008).

Pergerakan dua lempeng yang berbatasan saling bergerak relatif terhadap sesamanya menimbulkan gesekan di sepanjang bidang batas lempeng. Gesekan dua lempeng yang bersifat elastis dapat menimbulkan energi elastis. Jika pergerakan lempeng terjadi terus menerus dalam waktu yang lama akan terjadi akumulasi energi pada batas lempeng. Pada suatu kondisi tertentu dimana batuan tidak dapat lagi menahan gaya yang ditimbulkan gerak relatif lempeng, energi elastis yang terakumulasi akan dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gelombang ini sampai dipermukaan bumi dalam bentuk getaran tanah yang dapat dirasakan. Selanjutnya gelombang elastis yang dipancarkan oleh gempa ini disebut gelombang seismik (Ismail Sulaiman, 1989).

Untuk terjadinya suatu gempa bumi diperlukan beberapa syarat, antara lain :

- a. Gerakan relatif dari lempeng tektonik atau blok-blok lempeng tektonik,
- b. Pembangunan stress, dan
- c. Pelepasan energi.

Menurut teori patahan (theory fracture) bahwa pada waktu terjadinya gempa bumi akan dilepaskan sejumlah energi tertentu akibat patahan yang terjadi secara tiba-tiba dan gelombang seismik yang dipancarkan dapat dirasakan oleh alat seismograf, jadi dapat diketahui bahwa gempa bumi adalah hasil pelepasan energi dari suatu patahan kerak bumi dimana patahan itu merupakan sumber gempa (Ismail Sulaiman, 1989).



**Gambar 2.1 Proses Kejadian Gempa (Press and Siever, 1998)**

Gempa bumi yang sering menimbulkan kerugian dan adalah gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik disebabkan oleh pergeseran lempeng-lempeng tektonik. Menurut teori lempeng tektonik kerak bumi terpecah-pecah menjadi bagian yang disebut lempeng (plate bumi). Di bumi terdapat tujuh lempeng besar (Mega Plate) di antaranya : lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia, lempeng Antartika, lempeng Nazca, dan lempeng Afrika.

Pada gambar 2.1 menjelaskan tentang bagaimana proses kejadian gempa yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng biasanya disebut dengan gempa tektonik. Gambar (a) lempeng tersebut tertekan dan energinya terakumulasi. Pada gambar (b) lempeng terbengkokkan dan energi potensial terakumulasi. Pada gambar (c) lempeng patah, energi potensial berubah menjadi energi

kinetik, kemudian menyebar dan menggetarkan kerak bumi disekitar patahan ( gempa). Dan gambar (d) lempeng tergeser (Press and Siever, 1998).

Lempeng-lempeng tersebut bergerak dengan arah dan kecepatan berbeda. Menurut teori konveksi pergerakan lempeng-lempeng ini disebabkan oleh arus konveksi. Bumi ini tersusun oleh dua bagian yaitu lithosfer dan Asthenosfer. Asthenosfer bersifat fluida yang kental dan mempunyai densitas lebih kecil dan bersuhu tinggi. Lithosfer mempunyai densitas lebih besar dan bersifat kaku serta mudah patah, karena gerakan perputaran bumi secara terus menerus maka pada asthenosfer yang bersuhu tinggi timbul arus. Arus ini disebut arus konveksi. Arus ini selalu bergerak dari tekanan tinggi ke tempat tekanan yang rendah. Gerakan dari asthenosfer akan menggerakkan lithosfer yang berada di atasnya. Maka lithosfer yang berupa lempeng-lempeng tersebut akan bergerak (Ismail sulaiman, 1989).

Menurut sumber terjadinya gempa, gempa bumi dikelompokkan menjadi:

1. Gempa tektonik adalah gempa bumi yang berasal dari pergeseran lapisan-lapisan batuan sepanjang bidang sesar di dalam bumi.
2. Gempa vulkanik adalah gempa bumi yang berasal dari gerakan magma karena aktivitas gunung api.
3. Gempa longsor atau runtuh yaitu gempa bumi yang terjadi karena aktivitas runtuh pada daerah pertambangan atau daerah tanah longsor.
4. Gempa buatan adalah getaran gempa bumi yang terjadi karena adanya aktivitas manusia di kulit bumi yang menyebabkan getaran yang cukup kuat.

Berdasarkan kedalaman sumber gempa, gempabumi dikelompokkan menjadi:

1. Gempabumi dangkal, dimana kedalaman hiposenternya kurang dari 66 km di bawah permukaan bumi.

2. Gempabumi menengah, dimana kedalaman hiposenter antara 66 km- 450 km di bawah permukaan bumi.
3. Gempabumi dalam, dimana kedalaman hiposenternya lebih dari 450 km di bawah permukaan bumi.

Titik di dalam bumi dimana gempa terpusat dinyatakan dengan lintang, bujur, dan kedalaman di bawah permukaan disebut fokus atau hiposenter. Sedangkan titik di permukaan bumi vertikal di atas fokus merupakan episenter. Terjadinya gempabumi biasanya diiringi oleh beberapa macam guncangan, diantaranya:

a. *Foreshock*

Deretan guncangan yang terjadi sebelum gempa bumi, tak ada tanda-tanda berapa lama gempa akan terjadi setelah foreshock ini.

b. *Aftershock*

Deretan guncangan yang terjadi setelah gempa bumi. Dapat terjadi selama berbulan – bulan.

c. *Swarm*

Merupakan sejumlah besar guncangan kecil tanpa ada gempa bumi utama.

Berdasarkan kekuatan, gempa bumi diklasifikasikan menjadi:

1. Gempa sangat besar,  $M \geq 8,0$
2. Gempa besar,  $7,0 \leq M < 8,0$
3. Gempa sedang,  $5,0 \leq M < 7,0$
4. Gempa kecil,  $3,0 \leq M < 6,0$
5. Gempa mikro,  $1,0 \leq M < 3,0$

Dimana  $M$  adalah magnitudo (Kayal, 2008).

## 2.2 Parameter Gempabumi

Setiap kejadian gempabumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah proses manual atau non manual akan menjadi data. Informasi seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisa sehingga menjadi parameter gempa bumi. Ketelitian dalam

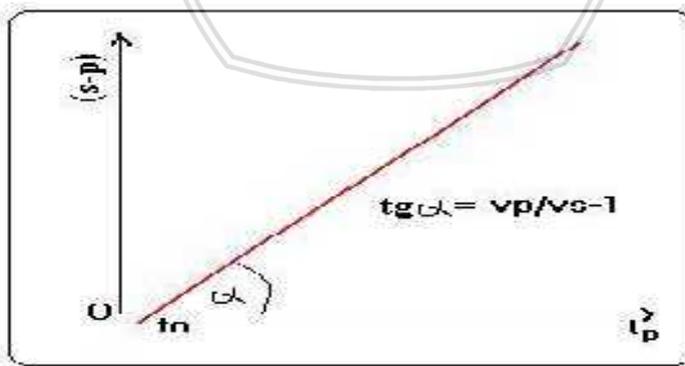
penentuan parameter gempa tersebut akan menentukan kualitas informasi yang akan disampaikan kepada masyarakat. Dengan adanya proses tersebut kehidupan makhluk di atasnya mendapatkan keuntungan sekaligus kerugian dari bencana yang ditimbulkannya.

Parameter gempa yang biasanya diinformasikan kepada masyarakat diantaranya adalah magnitudo (kekuatan gempa), *origin time* (waktu terjadinya gempa), episenter (lokasi gempa), dan kedalaman pusat gempa. Tiga parameter terakhir, yaitu *origin time*, episenter dan kedalaman pusat gempa, biasanya disebut sebagai parameter hiposenter. Tingkat ketelitian penentuan parameter hiposenter sangat bergantung pada kualitas model struktur kecepatan gelombang gempa yang digunakan. Dengan demikian peningkatan kualitas model struktur kecepatan gelombang gempa akan dapat meningkatkan ketelitian parameter hiposenter yang ditentukan.

Parameter gempabumi tersebut meliputi :

a. Waktu Terjadinya Gempa (*Origin Time*)

Waktu terjadinya gempa bumi menunjukkan waktu terlepasnya akumulasi energi dari sumber gempa bumi. *Origin Time* dinyatakan dalam satuan waktu internasional GMT. Untuk menentukan *Origin Time* dengan pendekatan (s-p) digunakan grafik *Wadati* seperti terlihat pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2. Diagram *Wadati* (Geofisika42.wordpress.com).

Dimana pada gambar 2.2,  $t_p$  adalah waktu tiba gelombang P,  $t_0$  adalah *origin time* dan besarnya gradien mendekati angka 1,73(Geofisika42.wordpress.com).

#### b. Episenter

*Epicentrum* (episenter) adalah tempat di permukaan bumi yang letaknya terdekat terhadap *hiposentrum*. Letak *epicentrum* tegak lurus terhadap *hiposentrum*, dan sekitar daerah ini pada umumnya merupakan wilayah yang paling besar merasakan getaran gempa bumi. data *S-P* (selisih waktu datang gelombang *S* dengan waktu datang gelombang *P*). Sedangkan lokasi episenter dinyatakan dalam koordinat geografis (derajat lintang dan bujur).

#### c. Kedalaman gempa (Hiposenter)

Penentuan kedalaman sumber gempa dari permukaan bumi, ditentukan dari pembacaan pias seismogram setengah amplitudo maksimum dari gelombang *P* pada komponen vertikal.

Hiposenter dinyatakan sebagai jarak kedalaman dalam satuan km ( $1^0 = 111$  km). Parameter hiposenter dan struktur kecepatan gelombang gempa dapat diketahui dari sekumpulan data waktu tiba gelombang gempa dari data gempa yang diketahui.

#### d. Magnitudo

Magnitudo adalah ukuran untuk menyatakan kekuatan gempabumi berdasarkan energi yang dipancarkan pada saat terjadinya gempabumi dan dinyatakan dalam Skala *Richter*. Pengukuran magnitudo yang dilakukan di tempat yang berbeda, harus menghasilkan harga yang sama walaupun gempa yang dirasakan di tempat-tempat tersebut tentu berbeda. Pada umumnya magnitudo diukur berdasarkan amplitudo dan periode fase gelombang tertentu. Rumus untuk menentukan magnitudo gempa yang umum dipakai pada saat ini seperti pada persamaan 1:

$$M = \log \frac{A}{T} + F(\Delta, h) + C_S + C_R \quad (1)$$

Dimana  $M$  adalah magnitudo,  $a$  adalah amplitudo gerakan tanah (dalam mikron),  $T$  adalah periode gelombang,  $r$  adalah jarak pusat gempa atau episenter,  $h$  adalah kedalaman gempa,  $C_s$  adalah koreksi stasiun oleh struktur lokal (sama dengan 0 untuk kondisi tertentu), dan  $CR$  adalah koreksi regional yang berbeda untuk setiap daerah gempa (Afnimar,2009).

Magnitudo gempa dapat dibedakan atas:

a) Magnitudo Lokal( $M_l$ )

Magnitudo local pertama kali diperkenalkan oleh Richter (1969) berdasarkan pengamatan gempabumi di California Selatan yang direkam menggunakan seismograf Wood-Anderson. Secara umum Magnitudo llokal dirumuskan pada persamaan 2 :

$$M_l = \log A + 3 \log r - 2,92 \quad (2)$$

Dengan  $M_l$  adalah magnitudo lokal,  $A$  adalah amplitudo maksimum getaran tanah ( $\mu\text{m}$ ) dan  $r$  adalah jarak episenter dengan stasiun pengamat (km),  $r < 600$  km.

b) Magnitudo Bodi

Magnitudo bodi berdasarkan amplitude gelombang  $P$  yang menjalar melalui bagian dalam bumi. Dalam prakteknya, amplitudo yang dipakai adalah amplitudo gerakan tanah maksimum (dalam mikron) yang diukur pada 3 gelombang yang pertama dari gelombang  $P$  (seismogram periode pendek, komponen vertikal), dan periodenya adalah periode gelombang yang mempunyai amplitudo maksimum tersebut. Sudah tentu rumus yang dipakai untuk menghitung  $M_b$  ini dapat digunakan disemua tempat (universal). Tapi perlu dicatat bahwa faktor koreksi untuk setiap tempat (stasiun gempa) akan berbeda satu sama lain. Magnitudo ini digunakan untuk menghitung kekuatan gempa-gempa dalam di tuliskan pada persamaan 3 :

$$M_b = \log (A/T) + f (r, h) + c \quad (3)$$

Dengan  $M_b$  adalah magnitudo bodi,  $A$  adalah amplitudo gelombang P ( $\mu\text{m}$ ),  $T$  adalah periode (sekon),  $f(\Delta, h)$  adalah fungsi jarak dan kedalaman dan  $c$  adalah koreksi stasiun.

c) Magnitudo Permukaan ( $M_s$ )

Magnitudo permukaan ditentukan berdasarkan berdasarkan jumlah total energi gelombang *Love* ( $L$ ) dan gelombang *Rayleigh* ( $R$ ) dengan asumsi hiposenter dangkal (30 km) dan amplitude maksimum terjadi pada periode 20 detik. Magnitudo ini digunakan untuk menghitung kekuatan gempa dengan jarak lebih dari 600 km, periode 20 sekon, dan gempa dangkal ( $h < 60$  km) dirumuskan dalam persamaan 4:

$$M_s = \log A + \log \frac{1}{r} + \log \frac{1}{c} \quad (4)$$

Dengan  $M_s$  adalah magnitudo permukaan,  $A$  adalah amplitudo maksimum ( $\mu\text{m}$ ),  $r$  adalah jarak episenter (km) dan  $c$ , adalah konstanta.

d) Magnitudo Momen ( $M_w$ )

Magnitudo momen merupakan magnitudo berdasarkan harga momen seismik. Momen seismik adalah dimensi pergeseran bidang sesar atau dari analisa gelombang pada broadband seismograf. Magnitudo ini dirumuskan pada persamaan 5 :

$$M_w = (\log M_0) / 1,5 - 10,73 \quad (5)$$

Dengan  $M_w$  adalah magnitudo momen dan  $M_0$  adalah momen seismik.

e) Magnitudo Durasi ( $M_d$ )

Magnitudo durasi merupakan jenis magnitudo berdasarkan lamanya getaran gempa. Magnitudo ini berguna dalam kasus amplitudo getaran sangat besar (*off scale*) yang dirumuskan pada persamaan 6 :

$$Md = a \log t + b + c \quad (6)$$

Dengan  $Md$  adalah magnitudo durasi,  $t$  adalah lamanya getaran (sekon), adalah jarak hiposenter (km),  $a, b, c$  adalah konstanta (Afnimar, 2009).

Data katalog gempa dari berbagai sumber masih dalam berbagai skala magnitudo yang berbeda sehingga magnitudo yang ada perlu dikonversi menjadi magnitudo yang sama. Konversi dilakukan dengan memasukkan rumusan dari jurnal Mutiara (2013) seperti pada Tabel 2.1 berikut :

**Tabel 2.1 Persamaan Konversi Magnitudo Gempa**

No	Persamaan Konversi Magnitudo
1	$M_w = 0.14 M_s^2 - 1.051 M_s + 7.285$
2	$M_w = 0.114 m_b^3 - 0.556 m_b + 5.560$
3	$M_w = 0.787 M_L - 1.537$
4	$M_b = 0.125 M_L^2 - 0.389 M_L - 3.513$
5	$M_L = 0.717 M_D + 1.003$

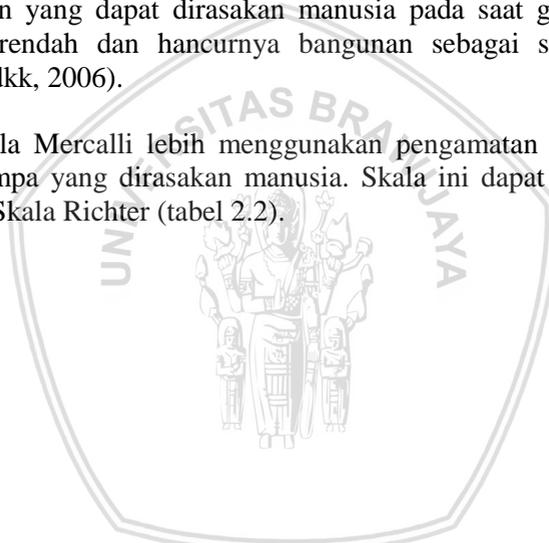
### 2.3 Intensitas gempa

Ukuran besarnya gempa yang paling dahulu digunakan adalah intensitas gempa. Besarnya energi yang dilepaskan oleh sumber gempa bumi dinamakan magnitudo. Tingkat besar kecilnya gempa dapat dihitung melalui alat pencatat gempa yaitu seismograf. Satuan besarnya gempa (energi yang dilepaskan) biasanya dipergunakan skala Richter, skala Mercalli digunakan untuk menentukan intensitas gempa. Sebuah seismograf mencatat waktu kedatangan gelombang seismik di beberapa stasiun yang terletak di permukaan bumi.

Berdasarkan kedalaman terjadinya gempa, maka gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi dangkal, sedang, dan dalam (Munir, 2003). Dalam parameter gempa bumi, yang tercatat adalah waktu kejadian gempa, lokasi episenter, kedalaman (jarak antara episenter dengan hiposenter), kekuatan, dan intensitas.

Dalam pengukuran besarnya gempa selain dengan melihat magnitudonya juga dapat dilakukan dengan melihat intensitasnya. Intensitas gempa digambarkan dalam sebuah skala Mercalli atau yang dikenal dengan Modified Mercalli Scale (MMI) dengan rentang antara skala MMI I-XII> dasar skalanya adalah getaran atau goyangan yang dapat dirasakan manusia pada saat gempa sebagai skala terendah dan hancurnya bangunan sebagai skala tertinggi (Sapiie dkk, 2006).

Skala Mercalli lebih menggunakan pengamatan langsung dari efek gempa yang dirasakan manusia. Skala ini dapat dibandingkan dengan Skala Richter (tabel 2.2).



**Tabel 2.2. Magnitudo dan Skala Mercalli Serta Tingkat Kerusakannya**

(Sumber : Sapiie dkk, 2006)

<b>SKALA MAGNITUDO (RICHTER)</b>	<b>SKALA INTENSITAS (MMI)</b>	<b>KARAKTERISTIK TINGKAT KERUSAKAN</b>
< 3,4	I	Hanya terdeteksi oleh seismograf
3,5 – 4,2	II dan III	Terasa oleh beberapa orang di dalam bangunan
4,3 – 4,8	IV	Terasa oleh banyak orang dan jendela bergetar
4,9 – 5,4	V	Terasa oleh semua orang, piring-iring pecah dan pintu bergoyang
5,5 – 6,1	VI dan VII	Kerusakan ringan bangunan, lantai rekah dan bata berjatuhan
6,2 – 6,9	VIII dan IX	Kerusakan bangunan lebih parah, cerobong asap runtuh dan rumah-rumah bergerak diatas fondasinya
7 – 7,3	X	Kerusakan serius (parah), jembatan –jembatan terpelintir, dinding rekah-rekah, bangunan dari batah runtuh
7,4 – 7,9	XI	Kerusakan berat, banyak bangunan runtuh
>8	XII	Hancur total, gelombang terlihat di permukaan tanah dan benda-benda terlempar ke udara.

## 2.4 Percepatan Tanah Maksimum

Setiap gempa yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat (*site*). Percepatan getaran tanah maksimum adalah suatu nilai yang dihitung di titik pengamatan/titik penelitian pada permukaan bumi dari riwayat gempabumi dengan nilai perhitungan dipilih yang paling besar. Nilai percepatan tanah yang akan diperhitungkan pada perencanaan bangunan adalah nilai percepatan tanah maksimum. Percepatan tanah maksimum adalah nilai terbesar percepatan tanah pada suatu tempat akibat getaran gempabumi dalam periode waktu tertentu. Meskipun gempabumi yang kuat tidak sering terjadi tetapi tetap sangat membahayakan kehidupan manusia. Salah satu hal yang penting dalam penelitian seismologi adalah mengetahui kerusakan akibat getaran gempabumi terhadap bangunan-bangunan di setiap tempat. Hal ini diperlukan untuk menyesuaikan kekuatan bangunan yang akan dibangun di daerah tersebut (Subardjo, 2001).

Percepatan getaran tanah maksimum akibat gempabumi merupakan percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi di suatu titik pada posisi tertentu dalam suatu wilayah yang dihitung dari akibat terjadinya gempabumi yang terjadi pada kurun waktu tertentu yang memperhatikan besar magnitudo dan jarak hiposenternya, serta periode dominan tanah dimana titik tersebut berada.

Parameter percepatan gelombang seismik atau sering disebut percepatan tanah merupakan salah satu parameter yang penting dalam seismologi teknik atau earthquakes engineering. Nilai percepatan tanah dapat dihitung langsung dengan seismograf khusus yang disebut strong motion seismograph atau accelerograf. Namun karena begitu pentingnya nilai percepatan tanah dalam menghitung koefisien seismik untuk bangunan tahan gempa, sedangkan jaringan accelerograf tidak lengkap baik dari segi periode waktu maupun tempatnya, maka perhitungan empiris sangat perlu dibuat. Oleh sebab itu untuk keperluan bangunan tahan gempa harga percepatan tanah dapat dihitung dengan cara pendekatan dari data historis gempabumi (Tamuntuan, 2005).

Percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah nilai terbesar percepatan tanah pada suatu tempat yang diakibatkan oleh getaran gempabumi dalam periode waktu tertentu. Kondisi geologis tanah sangat menentukan besar kecilnya nilai PGA. Semakin besar nilai PGA yang terjadi disuatu tempat, semakin besar pula resiko gempabumi yang mungkin terjadi (Lubis dkk, 2005).

## 2.5 Metode PGA

Beberapa formula empiris PGA antara lain metode Donovan, Esteva, Murphy - O'Brein, Gutenberg – Richter, Kanai, fukusima dan lainnya. Formula – formula empiris tersebut di tentukan berdasarkan suatu kasus gempabumi pada suatu tempat tertentu, dengan memperhitungkan karakteristik sumber gempabuminya, geologi dan geotekniknya.

### 2.5.1 Metode donovan

Metode donoan adalah salah satu metode yang digunakan untuk menentukan nilai PGA, yang dituliskan seperti pada persamaan 7:

$$\alpha = \frac{1080 \exp^{0.5M}}{(R+25)^{1.32}} \quad (7)$$

Dimana pada persamaan 8:

$\alpha$  adalah percepatan,  $M$  adalah magnitudo dan  $R$  adalah jarak hiposenter dalam satuan km.

Persamaan 8 untuk menentukan nilai  $R$

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (8)$$

Dimana:

$U$  = jarak episenter (km)

$h$  = kedalaman sumber gempa (km)

### 2.5.2 Rumusan esteva

Untuk mengukur percepatan tanah digunakan rumusan esteva yang dituliskan pada persamaan 9 :

$$\alpha = \frac{560 \exp^{0,5M}}{(R+40)^2} \quad (9)$$

Dimana :

$\alpha$  = Percepatan tanah pada tempat yang akan dicari.

$M$  = Magnitudo.

$R$  = Jarak hiposenter (dalam satuan km)

(ibrahim dan subarjo,2005).

### 2.5.3 Metode Mc.Guiree RK

Metode Mc. Guiree juga merupakan metode yang digunakan untuk menentukan nilai PGA, dengan menggunakan persamaan 10:

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

Dimana :

: percepatan tanah pada permukaan (gal atau cm/sec<sup>2</sup>)

$M$  : magnitudo permukaan atau Ms (SR)

$R$ : jarak hiposenter (km)

### 2.5.4 Metode Kanai

Persamaan 11 merupakan persamaan dari metode kanai yang digunakan untuk menghitung nilai PGA.

$$\log \frac{T_x}{x} = 0,16M - \left( \frac{1,66+3,60}{\Delta} \right) \log \Delta - \frac{0,631+1,83}{\Delta} \quad (11)$$

Dimana :

$M$  = magnitudo gelombang permukaan

= jarak episenter

### 2.5.5 Metode Richter

Metode richter juga salah satu metode yang digunakan untuk menghitung nilai PGA, dituliskan pada persamaan 12 :

$$\log a = I/3 - 0,5 \text{ dan } I_o = 1,5 ( M - 0,5) \quad (12)$$

Dimana :

$a$  = percepatan (gal),

$I$  = Intensitas (MMI) dan

$I_o$  = Intensitas pada hiposenter.

### 2.5.6 Metode Murphy –O’Brein

Metode Murphy o’brein dituliskan dalam bentuk persamaan 13 :

$$PGA = 10^{(0,14 I + 0,24 M)} - 0,68(\log d + 0,7) \quad (13)$$

Dimana :

$PGA$  = Peak Ground Acceleration

$I$  = Intensitas standard MMI

$M$  = Magnitude gempabumi

$d$  = jarak antara lokasi dengan sumber gempabumi (harjadi, 1993).



## 2.6 Fungsi Atenuasi

Prediksi hubungan empiris untuk parameter gempa yang melemah (berkurang) sejalan dengan bertambahnya jarak, seperti percepatan puncak dan kecepatan puncak, dikenal sebagai fungsi atenuasi (*attenuation relationship* atau *attenuation function*). Analisa resiko gempa dengan menggunakan model USGS maupun Gumbel memerlukan nilai percepatan tanah akibat gempa. Pada analisis resiko gempa apabila lokasi yang ditinjau tidak mempunyai data rekaman gempa, maka untuk memperkirakan besarnya percepatan maksimum tanah digunakan fungsi atenuasi. Fungsi atenuasi adalah suatu fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas ( $i$ ) gerakan tanah setempat, magnitude ( $M$ ) dan jarak ( $R$ ) dari sumber titik dalam daerah sumber gempa.

Memperkirakan fungsi atenuasi untuk gerakan tanah akibat gempa, telah menjadi subjek yang menarik dalam penelitian bidang kegempaan. Fungsi atenuasi merupakan alat yang penting dalam mengaplikasikan resiko kegempaan dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Faktor-faktor yang mempengaruhi fungsi atenuasi adalah :

### 1. Mekanisme gempa

Gempa-gempa besar biasanya terjadi karena pergeseran tiba-tiba lempeng tektonik yang mengakibatkan terlepasnya energi yang sangat besar. Pergeseran lempeng tektonik ini bias terjadi pada daerah subduction, ataupun pada patahan yang tampak di permukaan bumi, seperti patahan semangko di Sumatera. Gempa yang terjadi pada daerah *subduction* biasanya merupakan gempa dalam yang mempunyai kandungan frekuensi yang berbeda dengan gempa dangkal. Gempa dalam biasanya mempunyai gelombang permukaan yang lebih sedikit, sehingga memberikan spektrum respon yang lebih rendah pada periode tinggi. Oleh karena

itu rumus-rumus atenuasi untuk gempa subduction harus dipisahkan dari gempa *strike slip*.

## 2. Jarak episenter

Respon spectrum dari gempa yang tercatat pada batuan mempunyai bentuk yang berbeda tergantung jarak episenternya (near field, mid field, dan far field). Gempa *near field* memberikan respon yang tinggi pada perioda yang rendah tapi mengecil secara drastis dengan bertambah perioda. Di lain pihak, gempa far field pada perioda rendah tetapi responnya terlihat konstan sampai perioda sekitar satu detik. Hal ini menunjukkan adanya perubahan kandungan frekuensi gempa dengan semakin jauhnya suatu daerah yang ditinjau ke episenter.

## 3. Kondisi tanah lokal

Kondisi tanah lokal mempunyai peran yang sangat penting dalam menentukan respon suatu daerah terhadap gelombang gempa. Respon gempa yang tiba di batuan dasar bisa diperkuat, diperlemah atau berubah kandungan frekuensinya karena tersaringnya getaran berfrekuensi tinggi.

Menurut Rosita dewi, 2013, sejak percepatan puncak secara umum digunakan untuk mendeskripsikan parameter gerakan tanah (*ground motion*), banyak persamaan atenuasi yang dikembangkan dan diusulkan oleh para peneliti, antara lain Fukushima dan Tanaka (1990), Crouse (1991), Joyner dan Booer (1981, 1988), Youngs et al (1997) dan lainnya.

### 2.6.1 Atenuasi Fukushima dan Tanaka

Fungsi atenuasi ini dikembangkan untuk percepatan maksimum horizontal yang berlaku pada sumber gempa di sekitar Jepang. Data yang digunakan terdiri dari 1372 komponen percepatan tanah maksimum horizontal dari 28 gempa yang terjadi di Jepang dan 15 gempa yang terjadi di Amerika serta di negara lain.

Model atenuasi yang digunakan untuk menghitung bagaimana penyebaran geometrik dari gelombang gempa. Beberapa peneliti dari Indonesia menganjurkan penggunaan persamaan ini untuk patahan (*fault*) permukaan yang ada di Sumatera dan Jawa. Persamaan

empiris dari persamaan fungsi atenuasi ini adalah seperti pada persamaan 14 :

$$\log (\text{PBA}) = 1.30 + 0.41 M_S - \log [R + 0.032 \times 10^{0.41 M_S}] - 0.0034R \quad (14)$$

Dimana :

$M_S$  = magnitudo gelombang permukaan,  $R$  = jarak terdekat dari lokasi sumber gempa (km)

### 2.6.2 Fungsi Atenuasi Crouse

Fungsi atenuasi yang dikembangkan oleh Crouse ini berdasarkan data gempa yang mempunyai mekanisme subduksi yang diambil dari zona subduksi Cascadia Pasifik Utara bagian barat. Bentuk empiris dari fungsi atenuasi tersebut dilihat pada persamaan 15 adalah sebagai berikut :

$$\ln (\text{PBA}) = 11.5 + 0.657 M - 2.09 \ln [R + 63.7 \times e^{0.128 M}] - 0.00397h \quad (15)$$

Dimana :

$M$  = magnitudo gempa

$R$  = jarak terdekat dari lokasi ke sumber gempa (km)

$h$  = kedalaman fokus (km)

### 2.6.3 Fungsi Atenuasi Joyner dan Boore

Fungsi atenuasi yang diperoleh Joyner dan Boore adalah fungsi atenuasi percepatan horizontal maksimum, kecepatan horizontal maksimum dan *pseudo spectral relative velocity*. Fungsi ini menggunakan data berdasarkan gempa di Amerika Utara bagian barat dengan magnitudo gempa antara 5.0 – 7.0 dalam jarak 100 km dari proyeksi pada permukaan. Bentuk empiris dari fungsi atenuasi

ini pertama kali di publikasikan pada tahun 1981 yakni pada persamaan 16 sebagai berikut :

$$\ln (\text{PBA}) = 0.249.MW - \log R_0 - 0.00255.R_0 - 1.02 \quad (16)$$

Dimana :

$MW =$  momen magnitude

$$R_0 = \sqrt{R^2 + 7.3^2}$$

$R =$  jarak terdekat dari lokasi ke proyeksi vertikal dari gempa akibat aktivitas pada permukaan tanah (km)

Pada tahun 1988, persamaan (16) diatas dimodifikasi oleh Joyner dan Boore menjadi persamaan 17 :

$$\ln (\text{PBA}) = 0.43 + 0.23.(MW - 6) - \log R - 0.0027.R_0 - 0.0027.R_0 \quad (17)$$

Dimana :

$MW =$  momen magnitude

$$R_0 = \sqrt{R^2 + 8^2}$$

$R =$  jarak terdekat dari lokasi ke proyeksi vertical dari gempa akibat aktivitas pada permukaan tanah (km)

## 2.6.4 Fungsi Atenuasi Youngs et al.

Dalam ada tahun 1997, Youngs et al. mengusulkan suatu fungsi atenuasi yang dikembangkan berdasarkan data gempa dengan mekanisme subduksi. Bentuk dari fungsi atenuasi tersebut adalah sebagai berikut dilihat pada persamaan 18 dan 19 :

Untuk bebatuan (rock) :

$$\ln (PBA) = 0.2418 + 1.414 MW - 2.552 \ln [rrup + 1.7818 e^{0.554MW}] + 0.00607H + 0.3846 Zt \quad (18)$$

Sedangkan untuk tanah (soil) :

$$\ln (PBA) = 0.6687 + 1.438 MW - 2.329 \ln [R + 1.097 e^{0.617MW}] + 0.00648 H + 0.3643 Zt \quad (19)$$

Dimana :

$rrup$  = jarak terdekat ke rupture (km)

$H$  = kedalaman (km)

$Zt$  = tipe sumber gempa (0 untuk interface, dan 1 untuk interslab)

= standar deviasi, sebesar  $1.54 - 0.1 MW$ .

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 25 Agustus 2017 sampai dengan 20 April 2018 di Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Karangates, Jl.Sumber Pucung, Karangates, Jawa Timur.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Laptop
2. *Software Mc. Exel 2017*
3. *Software Arcgis*

### 3.3 Proposal Penelitian

Penelitian ini dimulai dari pengumpulan data gempa bumi dengan cara mengunduh data gempa bumi dari United States Geological Survey (USGS) dari tahun 1960 sampai 2017 yang memiliki 364 historis gempa bumi yang terjadi, kemudian nilai magnitudonya dikonversi menjadi Mw (Magnitudo Momen). Setelah itu dapat dilakukan perhitungan percepatan tanah dengan metode Donovan dan metode Esteva dengan grid  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ . Kemudian dilakukan pengumpulan data gempa bumi signifikan/ merusak yang tercatat di BMKG mulai tahun 2013 sampai 2017.

Perhitungannya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Kemudian dilakukan pemetaan menggunakan perangkat lunak *Arcgis* untuk mengetahui wilayah yang memiliki nilai percepatan tanah maksimum tertinggi dan terendah.

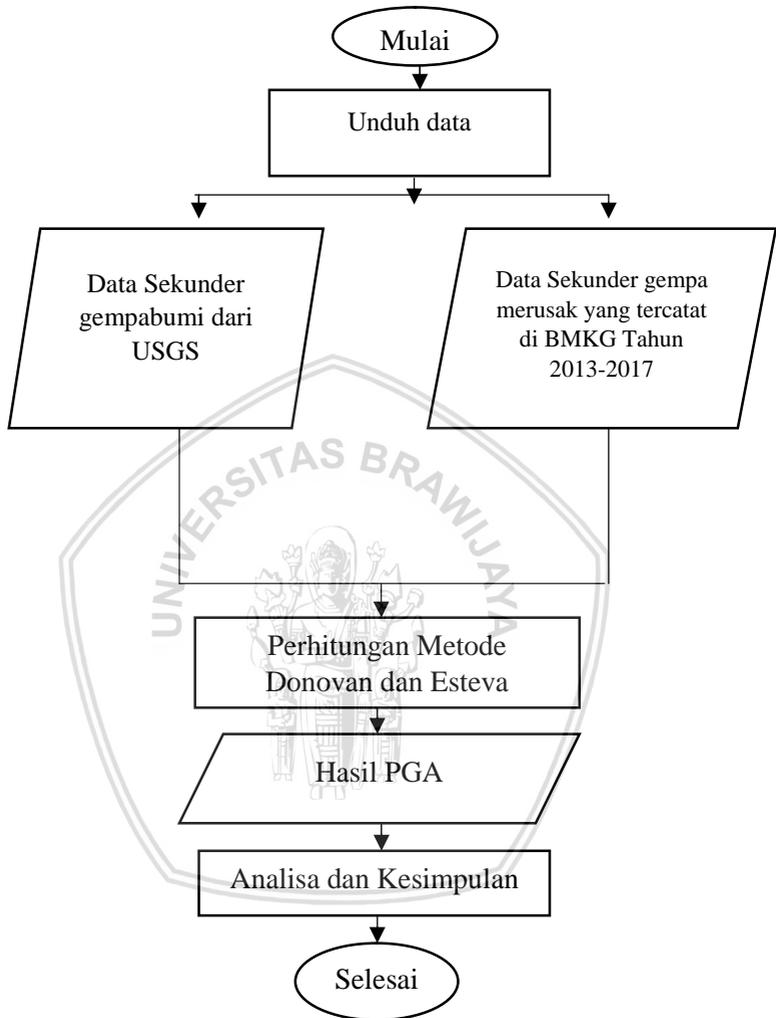
### 3.4 Materi Penelitian

Untuk dilakukannya penelitian ini digunakan beberapa materi yang berupa data dan pengolahan data, antara lain :

1. Wilayah penelitian berada di wilayah Jawa Timur yaitu  $109^{\circ}$  sampai  $115^{\circ}$  bujur dan  $-6^{\circ}$  sampai  $-12^{\circ}$  lintang.
2. Data sekunder gempa bumi dari tahun 1960 sampai dengan tahun 2017 yang didapatkan dari katalog United States Geological Survey (USGS), dengan kedalaman 1 sampai 600 km dan besarnya magnitude yaitu 5 sampai 10.
3. Data gempa bumi signifikan / merusak di dapatkan dari katalog Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG) tahun 2013 sampai 2017.
4. Perangkat lunak yang digunakan antara lain:
  1. *Google Earth* yang berfungsi untuk pembuatan titik di seluruh wilayah Jawa Timur dan untuk mengetahui persebaran gempa bumi yang berada di sekitar wilayah Jawa Timur .
  2. *Microsoft Excel* yang berfungsi untuk menghitung nilai percepatan tanah maksimum.
  3. *Arcgis* yang berfungsi untuk pembuatan peta percepatan tanah maksimum di wilayah Jawa Timur.

### 3.5 Langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini dilakukan dengan tiga tahap yang terdiri dari tahap pengumpulan data, pengolahan data, dan interpretasi data. Adapun diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini :

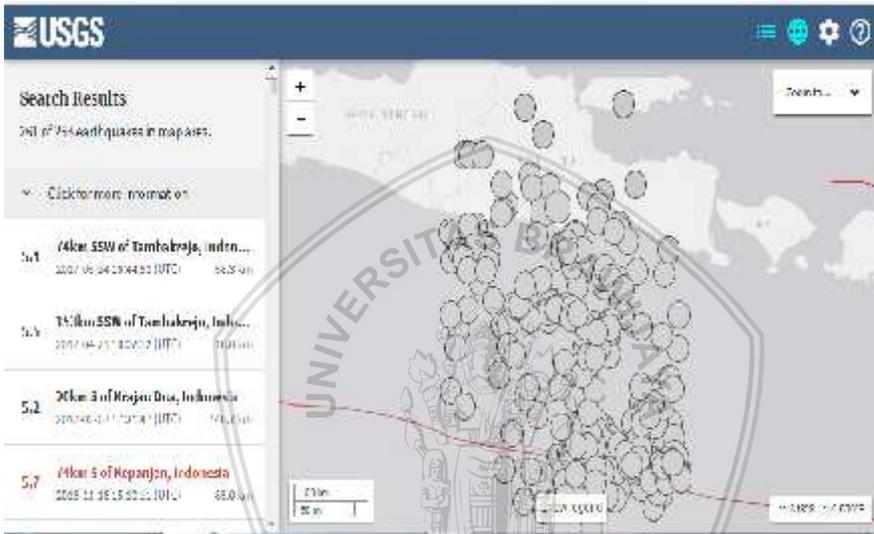


**Gambar 3.1** Diagram Alur Penelitian



### 3.5.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data gempa bumi dari website United States Geological Survey (USGS), yaitu data gempa bumi dari tahun 1960 sampai 2017, untuk persebaran gempa bumi ini dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini :



**Gambar 3.2 Tampilan Persebaran Gempabumi di Jawa Timur dari Tahun 1960 – 2017**

Gambar 3.2 merupakan sebaran-sebaran gempa bumi yang terjadi di Wilayah Jawa Timur dan sekitarnya mulai dari tahun 1960 sampai 2017 sebanyak 364 historis gempa bumi dengan magnitudo sebesar 5 sampai 10 skala Richter.

Data gempa bumi ini selanjutnya akan dilakukan pengolahan lebih lanjut agar dapat menentukan nilai percepatan tanah maksimum pada wilayah Jawa Timur.

### 3.5.2 Pengolahan Data

Setelah proses pengumpulan data sudah dilakukan, selanjutnya yaitu proses pengolahan data gempabumi yang didapat dari USGS.

Proses yang pertama yaitu pada data ini dilakukan konversi magnitudo menjadi magnitudo momen (Mw). Setelah selesai dilakukan konversi atau perubahan magnitudo, seperti pada gambar 3.3 di bawah ini

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	mag	magType	time			depth	latitude	longitude	type mw
2	5.4	mb	2017-05-24T16:44:55.080Z			73.79	-89.456	1.119.771	5,7652
3	5.6	mw	2017-04-29T10:02:12.310Z			10	-9.662	1.118.448	5,6
4	5.5	mw	2017-03-16T18:39:26.270Z			10	-11.539	1.145.797	5,5
5	5.2	mb	2017-02-07T17:21:47.160Z			140.72	-84.287	1.131.305	5,6432
6	5.7	mw	2016-11-16T15:10:11.020Z			85	-90.027	1.132.445	5,7
7		5 mb	2016-11-11T00:26:46.780Z			61.73	-88.241	1.114.821	5,59
8	5.2	mb	2016-09-10T02:49:54.250Z			10	-98.648	1.115.545	5,6432
9	5.1	mb	2016-03-02T06:09:12.940Z			78.32	-86.191	1.125.355	5,5855
10	5.1	mb	2016-02-25T23:35:19.300Z			57.44	-87.469	1.115.091	5,5855

**Gambar 3.3** Tampilan Data Hasil Konversi Magnitudo pada *Microsoft Excel*

Pada penelitian ini menggunakan rumusan empiris untuk mengetahui nilai percepatan tanah maksimum di Jawa Timur yaitu rumusan Donovan dan Esteva. Dapat dilihat pada persamaan 7 dan 9. Pada hasil pengolahan ini terdapat 49 sheet dengan menggunakan grid 1°x1° yang memiliki nilai percepatan tanah maksimum yang berbeda-beda, adapun contoh salah satu hasil dari perhitungan nilai percepatan tanah maksimum ditunjukkan seperti pada gambar 3.4 di bawah ini :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	max	magtype	time		depth	latitude	longitude	type	mag	long (x)	lat (y)	r	per	max
2	5.4	mb	2017-05-24T16:44:55.080Z		73.79	8.046	111.927	5.7653	115	12	482.8580200	5.175680425		0.85807223
3	5.6	mww	2017-04-29T10:02:12.810Z		10	-9.662	111.845	5.6	115	-12	435.8957187	5.412116915		
4	5.5	mww	2017-03-16T18:39:26.200Z		10	11.589	114.574	5.5	114	12	404.4575198	4.170108887		
5	5.2	mb	2017-02-07T17:21:47.160Z		140.72	-8.128	118.181	5.6482	115	-12	459.0919588	5.046645112		
6	5.7	mww	2016-11-16T11:10:21.020Z		85	-9.009	113.245	5.7	115	-12	394.7674204	6.4386039		
7	5	mb	2015-11-11T00:26:46.780Z		61.78	8.824	111.482	5.58	115	12	520.8088882	4.008477128		
8	5.2	mb	2015-09-10T02:49:54.250Z		10	-9.905	111.555	5.6432	115	-12	440.0920016	5.458045414		
9	5.1	mb	2015-08-02T06:09:12.940Z		78.82	8.610	112.588	5.5855	115	12	470.091486	4.870068917		
10	5.1	mb	2015-02-25T23:35:19.800Z		57.11	-8.746	111.509	5.5855	115	-12	532.8390791	4.177417438		
11	5.4	mww	2014-11-11T11:45:23.890Z		83.09	-8.947	110.719	5.4	115	-12	615.4090887	3.208174115		
12	5	mww	2015-11-07T20:57:51.820Z		10	-10.1758	111.1987	5	115	-12	458.1451182	3.668080559		
13	5.9	mww	2015-07-26T07:05:20.130Z		52	-9.2585	112.6395	5.9	115	-12	402.7713529	6.940509934		
14	5	mb	2015-05-01T07:46:22.140Z		61.88	9.4895	112.9100	5.58	115	12	371.7125683	6.367526587		
15	5	mb	2015-08-15T21:19:19.920Z		49.71	-9.6876	112.8854	5.58	115	-12	551.3511327	6.830695588		
16	5	mb	2014-10-26T08:58:47.200Z		36.09	10.2408	112.7915	5.58	114	12	314.8170391	7.816829825		
17	5	mb	2014-07-24T08:41:07.550Z		85	-9.1269	111.5755	5.58	115	-12	497.1829228	4.480155178		
18	5.5	mww	2014-07-14T05:05:03.200Z		52.51	-8.8189	111.2529	5.5	115	-12	548.1202779	3.862274975		
19	5	mb	2014-04-18T15:07:10.500Z		36.95	9.1005	110.4107	5.58	115	12	622.8580424	3.475265818		

Gambar 3.4 Tampilan Hasil Pengolahan Nilai Percepatan Tanah Maksimum

Proses selanjutnya dari hasil pada gambar 3.4 yaitu data hasil perhitungan percepatan tanah maksimum, dilakukan pengumpulan data dan digabungkan menjadi 1 bagian yaitu diambil nilai bujur (x), nilai lintang (y) dan nilai percepatan tanah maksimumnya, dari ketiga komponen ini diletakkan pada halaman worksheet pada perangkat lunak *Microsoft Excel*. Adapun proses ini dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini :

	x	y	nilai PMA
2	109	6	22,3150263
3	109	-7	38,8210132
4	109	8	85,8787061
5	109	-9	44,0030839
6	110	-10	45,8447737
7	109	11	34,3224802
8	109	-12	30,7677809
9	110	6	25,9168285
10	110	-7	35,9211875
11	110	-8	32,5444127
12	110	0	75,3828248
13	110	-10	73,1427918
14	110	11	40,6647252
15	110	-12	40,6647252
16	111	-6	24,3211766
17	111	7	37,5703060
18	111	-8	16,3517324
19	111	0	71,5144488

**Gambar 3.5 Tampilan Worksheet pada Microsoft Excel**

Data pada *Worksheet Microsoft Excel* pada gambar 3.5 tersebut kemudian dimasukkan ke software *Arcgis* untuk mendapatkan hasil peta yang diinginkan, sehingga diperoleh peta percepatan tanah maksimum dengan metode Donovan dan metode Esteva.

### 3.5.3 Interpretasi Data

peta yang dihasilkan dikorelasikan dengan data katalog gempa di BMKG, yang meliputi kejadian gempa signifikan di wilayah penelitian tahun 2013 – 2017.

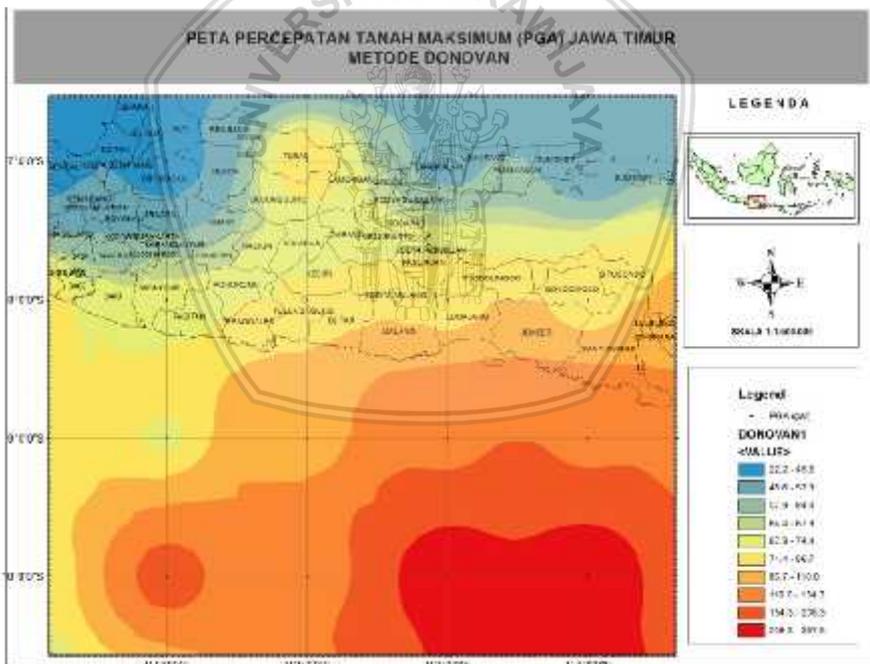


## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Nilai Percepatan Tanah Maksimum Di Jawa Timur

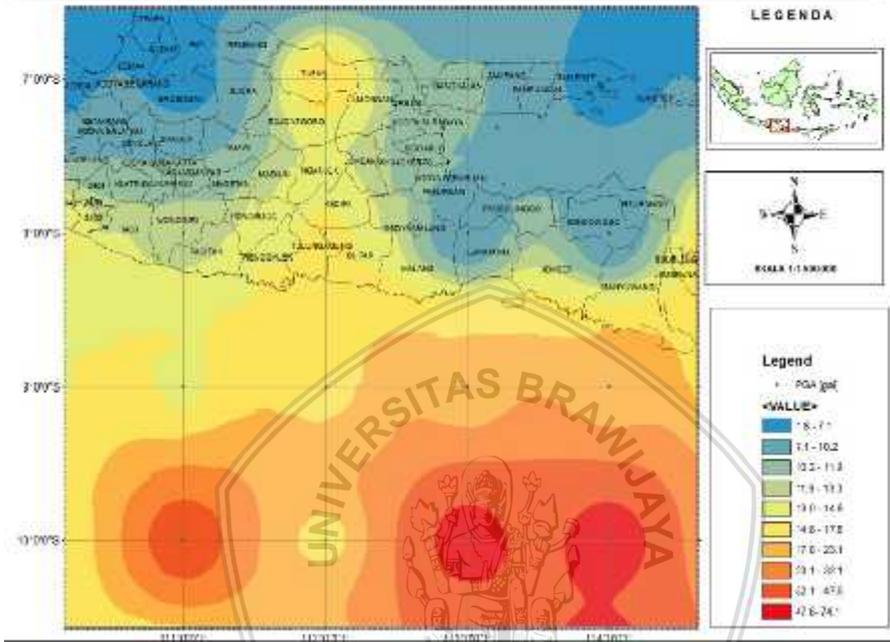
Dari hasil perhitungan ini diketahui nilai percepatan tanah maksimum di Jawa Timur dengan- menggunakan metode Donovan berkisar antara 22,2 Gal atau 2,26 %g sampai 397,5 Gal atau 40,6%g. Sedangkan untuk metode Esteva diketahui nilai percepatan tanah maksimum di Jawa Timur berkisar antara 1,8 Gal atau 0,18%g sampai 74,1 Gal atau 7,5%g.

Pola percepatan tanah maksimum dari kedua metode digambarkan dalam peta percepatan tanah maksimum dengan menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografi (SIG) pada gambar 4.1 dan 4.2 di bawah ini :



**Gambar 4.1 Peta Percepatan Tanah Maksimum Metode Donovan**

**PETA PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM (PGA) JAWA TIMUR  
METODE ESTEVA**



**Gambar 4.2 Peta Percepatan Tanah Maksimum Metode Esteva**

Kedua peta tersebut diperoleh dengan grid  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ . Berdasarkan peta pada gambar 4.1 dan 4.2 dapat diketahui nilai percepatan tanah maksimum relatif lebih tinggi seperti dapat di lihat blok warna merah di peta tersebut yaitu pada wilayah penelitian bagian selatan dan relatif rendah pada blok warna biru di peta yaitu pada bagian timur laut wilayah penelitian.

Berdasarkan hasil perhitungan dari metode Donovan dan metode Esteva, keduanya menunjukkan kesamaan adanya pola kontur relatif tinggi di wilayah selatan penelitian namun, hasil yang

diperoleh dari metode Donovan menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum lebih tinggi dibandingkan dengan metode Esteva.

#### 4.2 Perbandingan Hasil Dengan Penelitian Sebelumnya

Terdapat penelitian yang membahas tentang pencarian nilai percepatan tanah maksimum, yaitu pada sebuah penelitian yang sudah dilakukan pada tahun 2017 oleh saudara Muchammad Syamsuddin, yaitu zonasi kerawanan seismik pada wilayah Jawa Timur berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum dengan metode Fukushima. Wilayah penelitian ini berada pada  $110,79081^{\circ}$  sampai  $114,790597^{\circ}$  bujur dan  $-6,677725^{\circ}$  sampai  $-8,777477^{\circ}$  lintang. Digunakan data sekunder gempabumi dari tahun 2015 – 2017 dari stasiun BMKG Tretes yang terdapat 62 kejadian gempabumi dan data sekunder gempabumi dari tahun 1921 - 2017 dari United States Geological Survey (USGS) yang tersebar dari  $109,418000^{\circ}$  sampai dengan  $116,329000^{\circ}$  bujur dan  $-5,791000^{\circ}$  sampai dengan  $-12,955000^{\circ}$  lintang terdapat 2161 kejadian gempa bumi. seperti yang dilakukan oleh syamsuddin (2017), dari perhitungan yang sudah dilakukan mendapatkan nilai percepatan tanah di Jawa Timur dengan rentang nilai dari 16,97 gal atau 1,73 %g sampai dengan 512,08 gal atau 52,36 %g. Dalam penelitian yang sudah dilakukan oleh saudara Syamsuddin pada tahun 2017 ini yaitu pada wilayah Jawa Timur terdapat enam kabupaten yang memiliki potensi kerusakan yang tinggi, yaitu kabupaten Malang, Kediri, Bojonegoro, Tuban dan kabupaten Nganjuk, karena dari keenam kabupaten tersebut memiliki nilai percepatan tanah diatas 400 gal atau 40,9 %g. Sebelum menghitung nilai percepatan tanah dengan metode Fukushima, maka dilakukan perhitungan nilai regresi linier dan rms (*root mean square*) pada data gempabumi yang tercatat pada stasiun di wilayah Jawa Timur dari tahun 2015 sampai 2017, untuk mengetahui metode mana yang lebih cocok sehingga didapat metode Fukushima sebagai metode yang lebih cocok untuk menghitung nilai percepatan tanah di wilayah Jawa Timur.

Sedangkan untuk hasil perhitungan pada penelitian ini, nilai percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*) dengan menggunakan metode Donovan dan metode Esteva dengan menggunakan data gempa dari tahun 1960 sampai dengan 2017 dari

United States Geological Survey (USGS), bahwa pada wilayah Jawa Timur memiliki nilai percepatan tanah maksimum dalam rentang 22,2 Gal atau 2,26 %g sampai dengan 397,5 Gal atau 40,6 %g untuk metode Donovan sedangkan untuk metode Esteva diketahui nilai percepatan tanah maksimum di Jawa Timur berkisar antara 1,8 Gal atau 0,18%g sampai dengan 74,1 Gal atau 7,5%g.

Dari kedua hasil dari penelitian ini memiliki nilai percepatan tanah yang jauh, hal ini dapat terjadi karena berbagai faktor diantaranya :

- Perbedaan metode yang digunakan untuk menentukan nilai percepatan tanah maksimum di wilayah penelitian, yaitu Jawa Timur.
- Cakupan wilayah gempabumi dan rentang waktu kejadian gempabumi yang pernah terjadi di wilayah Jawa Timur dan sekitar wilayah Jawa Timur.

Untuk perbedaan dari penelitian sebelumnya dengan penelitian ini terletak pada proses pencarian metode yang sesuai pada wilayah Jawa Timur. Karena tidak semua metode akan sesuai untuk mencari nilai percepatan tanah maksimum pada wilayah tersebut, karena pada dasarnya nilai percepatan tanah ini tidak hanya di pengaruhi oleh faktor utamanya yaitu besarnya nilai magnitude, jarak episenternya dan kedalaman dari gempabumi, akan tetapi terdapat faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai percepatan tanah maksimum, yaitu faktor geologi pada wilayah Jawa Timur. Pada penelitian ini yaitu mengkorelasikan dua metode yaitu metode Donovan dan metode Esteva dengan hasil gempabumi signifikan/merusak pada Katalog BMKG .

### **4.3 Korelasi Hasil Penelitian Dengan Data BMKG**

Data hasil perhitungan masih dinyatakan dalam satuan Gal, untuk mengkorelasikan antara hasil penelitian dengan data signifikan/merusak dari BMKG, maka perlu diubah menjadi satuan % g dengan persamaan :

$$g = \frac{gal}{978.0318} \times 100\% \quad (4.1)$$

Hasil konversi satuan Gal ke %g dapat dilihat pada **(Lampiran 1,2,3 dan 4)**.

Berdasarkan tabel pada **(Lampiran 5)** dapat dilihat bahwa korelasi antara hasil perhitungan data USGS dan BMKG yang mendekati dengan hasil peta PGA signifikan/ merusak yaitu metode Esteva. Dikarenakan hasil nilai percepatan maksimum dari data USGS dengan menggunakan metode Donovan tingkat kecocokannya hanya 1% sedangkan dengan menggunakan metode Esteva tingkat kecocokannya 95 % mendekati nilai tersebut. Kemudian untuk hasil nilai percepatan maksimum dari data BMKG dengan menggunakan metode Donovan tingkat kecocokannya berkisar 25% sedangkan dengan menggunakan metode Esteva tingkat kecocokannya 95% mendekati nilai tersebut. Dengan demikian dapat diketahui metode Esteva lebih cocok dibandingkan metode Donovan.

Berdasarkan hasil pemetaan nilai percepatan tanah maksimum dengan metode Esteva dapat diketahui bahwa wilayah selatan penelitian mempunyai nilai percepatan tanah maksimum relatif tinggi, lebih tepatnya pada samudra hindia yang berbatasan dengan wilayah kabupaten Pacitan, Trenggalek, Tulungagung, Blitar, Malang, Lumajang, Jember dan Banyuwangi. Dikarenakan wilayah tersebut terdapat palung yang merupakan zona pertemuan antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai percepatan tanah maksimum di wilayah Jawa Timur tahun 1960 – 2017 dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai percepatan tanah maksimum dengan metode Donovan berkisar 22,2 Gal - 397,5 Gal. Sedangkan untuk metode Esteva diketahui nilai percepatan tanah maksimum di Jawa Timur berkisar antara 1,8 Gal – 74,1 Gal.
2. Berdasarkan hasil korelasi yang dilakukan dapat diketahui bahwa metode Esteva lebih cocok digunakan dalam perhitungan PGA di wilayah penelitian.

### 5.2 Saran

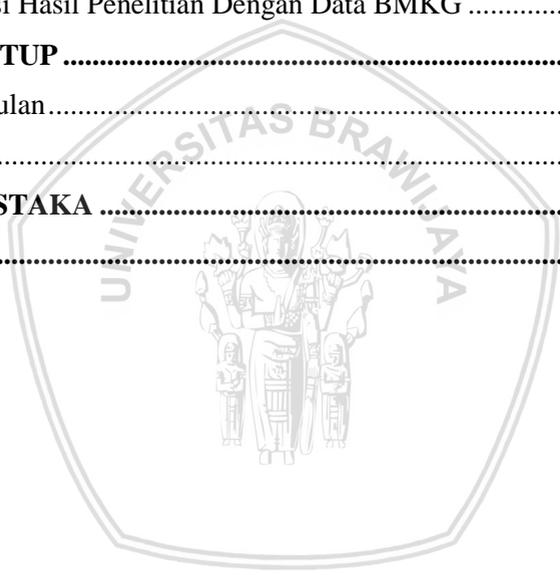
Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dilalukan pengukuran nilai PGA dengan menggunakan alat Accelerometer atau dengan metode lainnya sehingga hasil yang didapat lebih akurat.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRAK</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRACT</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>1</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>3</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>5</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>7</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Gempabumi .....	5
2.2 Parameter Gempabumi .....	9
2.3 Intensitas Gempa .....	14
2.4 Percepatan Tanah Maksimum .....	17
2.5 Metode PGA.....	18
2.6 Fungsi Atenuasi.....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>27</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	27



3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	28
3.3	Rencana Penelitian .....	28
3.4	Materi Penelitian.....	28
3.5	Langkah Penelitian .....	28
<b>BAB IV</b>	<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1	Nilai Percepatan Tanah Maksimum di Jawa Timur.....	36
4.2	Perbandingan Hasil Dengan Penelitian Sebelumnya.....	37
4.3	Korelasi Hasil Penelitian Dengan Data BMKG .....	38
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>41</b>
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>45</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prose Kejadian Gempa (Press and Siever, 1998) .....	7
Gambar 2.2	Diagram Wadati (Geofisika 42.wordpress.com) .....	10
Gambar 3.1	Diagram Wadati Alir Penelitian .....	29
Gambar 3.2	Tampilan Persebaran Gempabumi Di Jawa Timur Tahun 1960--2017 .....	30
Gambar 3.3	Tampilan Data Hasil Konversi Magnitudo <i>Microsoft Excel</i> .....	31
Gambar 3.4	Tampilan Hasil Pengolahan Nilai Percepatan Tanah Maksimum .....	32
Gambar 3.5	Tampilan Worksheet pada <i>Microsoft Excel</i> .....	33
Gambar 4.1	Peta Percepatan Tanah Maksimum Metode Donovan ...	35
Gambar 4.2	Peta Percepatan Tanah Maksimum Metode Esteva .....	36





**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan konversi Magnitudo Gempa.....	14
Tabel 2.2 Magnitudo dan Skala Mercalli serta Tingkat Kerusakannya .....	16





**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Percepatan Tanah Maksimum dari Data BMKG dengan Metode Donovan.....	45
Lampiran 1 : Hasil Percepatan Tanah Maksimum dari Data BMKG dengan Metode Esteva.....	47
Lampiran 3 : Hasil Percepatan Tanah Maksimum dari Katalog Gempa USGS dengan Metode Donovan.....	49
Lampiran 4 : Hasil Percepatan Tanah Maksimum dari Katalog Gempa USGS dengan Metode Esteva.....	51
Lampiran 5 : Nilai Percepatan Tanah Maksimum Dari Katalog BMKG Signifikan / Merusak Tahun 2013-2017.....	53



## DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. *Seismologi Edisi Pertama*. Bandung : ITB Press.
- Ahmad Fulki. 2011. *Analisis Parameter Gempa, b value dan PGA di daerah Papua.*: UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
- Anonymous.2009. <https://geofisika42.wordpress.com/>. Diakses tanggal: 09 Oktober 2015
- Biot. 1965. *Theory of Elastic Waves in a Fluis-Saturated Porous Solis*. London : Cambridge Press.
- Bolt, B.A. 1978. *Earthquake*. SanFransisco : W.H. Freeman & Company.
- CG Kapojos, G Tamuntuan, 2005. Analisis Percepatan Maksimum Dengan Menggunakan Rumusan Esteva Dan Donovan. Jurnal Ilmiah Sains.
- Don, L. & Florence Leet 2007. *Gempabumi Penjelasan Ilmiah Sederhana Yogyakarta*. Kreasi Wacana.
- Elnashai, S. Dan L. Di Sarno. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong : A Jhon Wiley & Sons, Ltd, Publication.
- Havskov, Jens. 2011. *Seismic Source Location*. Departement of Earth Science, University of Bergen, Norway.
- Ismail, S. 1989. *Pendahuluan Seismologi jilid IA*. Jakarta : Balai Diklat Meteorologi dan Geofisika.
- Kayal, J.R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. New Delhi : Springer.
- Lubis, A.M. dan A.I. Hadi, 2005, *Analisis Kecepatan Gelombang Seismik Bawah Permukaan di Daerah Yang Terkena Dampak Gempa Bumi 4 Juni 2000*: Studi Kasus Kampus Universitas Bengkulu, J. Gradien, 1 (2): 69-73.
- Muchamad Syamsuddin. 2014. Zonasi Kerawanan Seismik Pada Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Dengan Metode Fukushima. Malang : Universitas Brawijaya.
- Munadi, S. 2002. *Pengolahan Data Seismik Prinsip Dasar dan Metodologi*. Program Study Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Indonesia : Depok.

- Munir, M. 2003. *Geologi Lingkungan*. Bayumedia Publishing. Malang.
- Press and siever. 1998. *Proses Kejadian Gempa*.
- Ibrahim dan Subardjo. 2005. *Pendahuluan Seismologi. Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*. Jakarta
- P.J.Prih Harjadi & Subardjo, *Fungsi Attenuasi Intensitas Gempa Flores 12 Desember 1992, Proceeding PIT-HAGI ke 18 tahun 1993*
- Mutiarani, Afifi. 2013. *Studi B-Value untuk Pengamatan Seismisitas Wilayah Pulau Jawa Periode 1964-2012*. Surabaya: UNESA
- Richter, C.F., 1969. *Elementary Seismology*. W.H., Freeman and Co, San Fransisco and London.
- Santoso, DJ. 2002. *Volkanologi dan Eksplorasi Geothermal*. Bandung : Institut Teknologi Bandung Press
- Sapiie dkk., 2006. *Geologi Fisik*. ITB. Bandung.
- Supartoyo, dan Surono. 2008. *Katalog Gempa Bumi Merusak di Indonesia tahun 1629-2007*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Subardjo, 2001, *Intensitas Seismik dan Percepatan Tanah untuk Beberapa Kota di Indonesia*, J. BMG., 2 (3): 37-41.

