

**PEMETAAN RESIKO GEMPA BUMI WILAYAH BALI  
BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH  
MAKSIMUM DENGAN METODE FUKUSHIMA**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**RISKO PRATAMA YUDA**  
**135090700111006**



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

**PEMETAAN RESIKO GEMPA BUMI WILAYAH BALI  
BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH  
MAKSIMUM DENGAN METODE FUKUSHIMA**

**SKRIPSI**

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



Oleh :  
**RISKO PRATAMA YUDA**  
135090700111006

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



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PEMETAAN RESIKO GEMPA BUMI WILAYAH BALI BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DENGAN METODE FUKUSHIMA

Oleh:  
**RISKO PRATAMA YUDA**  
**135090700111006**

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

Muhajir Anshori, S.Si., M.Si  
NIP. 198706292009111001

**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 : Risiko Pratama Yuda

NIM : 135090700111006

Jurusan : Fisika

Penulis Skripsi berjudul :

### **PEMETAAN RESIKO GEMPA BUMI WILAYAH BALI BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DENGAN METODE FUKUSHIMA**

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, Juli 2018

Yang menyatakan,

(Risiko Pratama Yuda)  
NIM. 135090700111006



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# PEMETAAN RESIKO GEMPA BUMI WILAYAH BALI BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DENGAN METODE FUKUSHIMA

## ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah dengan potensi gempa yang tinggi. Karena terletak pada pertemuan tiga lempeng besar didunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Indo-Australia. daerah Bali merupakan daerah yang rawan terjadi gempa bumi karena di apit oleh dua penyebab gempabumi utama yaitu pada wilayah selatan yang merupakan pertemuan lempeng indo-Australia dengan lempeng Eurasia dan wilayah utara terdapat patahan naik (back arc thrust) yang mengakibatkan jumlah gempa bumi di daerah Bali dan sekitarnya cukup tinggi. Sehingga dilakukan upaya mitigasi bencana gempa bumi pada wilayah Bali, berupa nilai percepatan tanah maksimum (*peak ground acceleration*). Pada penelitian ini digunakan percepatan tanah maksimum dengan metode perhitungan Fukushima. Setelah melakukan penelitian Pada wilayah Bali terdapat rentang nilai percepatan tanah maksimum antara 10,25 hingga 88,07  $cm/s^2$ . Kabupaten Tabanan dan Buleleng memiliki nilai tertinggi dengan nilai 82,48  $cm/s^2$  pada koordinat 115.1° bujur timur dan 08.20° lintang selatan. Nilai percepatan tanah maksimum pada daerah selatan Wilayah Bali memiliki rentang nilai 10-20  $cm/s^2$ , khususnya daerah selatan Kabupaten Klungkung (P.Nusa Penida) dan bagian selatan Kabupaten Badung. Daerah kerawanan gempa bumi menggunakan hasil dari peta sebaran intensitas. Dimana intensitas tertinggi dengan nilai 7 wilayah bali terdapat pada Kabupaten Jembrana, Buleleng, Tabanan dan Karangasem

**Kata Kunci:** Percepatan Tanah Maksimum, Bali, Resiko Gempa, Metode Fukushima



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



# MAPPING RISK EARTHQUAKE BALI ISLAND BASED ON PEAK GROUND ACCELERATION WITH FUKUSHIMA METHOD

## ABSTRACT

Indonesia is an area with high earthquake potential. Because it lies at the meeting of three large plates in the world, namely the Eurasian plate, the Pacific plate and the Indo-Australian plate. the area of Bali is an area prone to earthquakes because it is slit by two main causes of earthquake that is in the southern region which is a meeting of indo-Australian plate with the Eurasian plate and the northern region there is a back arc thrust causing the number of earthquakes in the area of Bali and the surroundings are quite high. So that the earthquake disaster mitigation efforts in the Bali region, in the form of the maximum land acceleration value (peak ground acceleration). In this study used the maximum land acceleration by the method of calculating Fukushima. After conducting research In the Bali region there is a range of maximum land acceleration values between 10.25 to 88.07  $cm/s^2$ . Tabanan and Buleleng regency has the highest value with the value of 82,48  $cm/s^2$  at coordinates 115.1° east longitude and 08.20° south latitude. The maximum land acceleration value in the southern area of Bali Region has a range of values 10-20  $cm/s^2$ , especially the southern area of Klungkung regency (P.Nusa Penida) and the southern part of Badung regency. Earthquake susceptibility areas use results from intensity distribution maps. Where the highest intensity with the value of 7 bali areas found in Jembrana, Buleleng, Tabanan and Karangasem

**Keyword: Peak Ground Acceleration, Bali, Earthquakes,  
Fukushima Method**



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan pada Allah SWT yang telah memberikan barokah dan hidayah yang begitu besar dalam hidup penulis sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir dengan judul **“PEMETAAN RESIKO GEMPA BUMI WILAYAH BALI BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DENGAN METODE FUKUSHIMA”**. Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan di Jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang terlibat dalam pembuatan tugas akhir ini, diantaranya:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Jaka Suprpta dan Nana Mulyati yang tanpa henti selalu mendukung penulis melalui doa, semangat dan materil hingga detik ini.
2. Saudara dari penulis yaitu Risky Pratama Yudi, serta seluruh keluarga dan seseorang spesial dari penulis yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Wakil Dekan II Fakultas MIPA, Bapak Sukir Maryanto., Ph.D sekaligus sebagai dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, ilmu, nasihat, motivasi dan arahan selama penulis mengerjakan tugas akhir ini.
4. Mas Muhajir Anshori, M.Si sebagai pembimbing dari Instansi BMKG yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan arahan tentang materi penelitian selama penulis melakukan tugas akhir ini di BMKG, Stasiun Geofisika Kelas II Tretes.
5. Ketua Jurusan Fisika, Bapak Prof. Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda yang berperan penting dalam proses administrasi dan izin yang telah diberikan kepada penulis untuk melaksanakan tugas akhir.
6. Ketua Prodi Geofisika, Bapak Drs. Alamsyah M. Juwono, M.Sc., Ph.D..
7. Keluarga dan teman-teman Geofisika angkatan 2013 khususnya Vincentius A.S.P, Mochammad Ersyad Rahman, Giftson Hutabarat dan Masdukhan Aris W yang telah

meluangkan waktu menemani penulis mengerjakan penulisan tugas akhir ini dan selalu memberikan dukungan kepada penulis.

8. Yuni Triasari yang telah memberikan dukungan dan serta membantu menyemangati penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir
9. Seluruh pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis tidak dapat membalas semua kebaikan dan dukungan yang telah diberikan pihak-pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis hanya bisa berdoa kiranya Allah membalas perbuatan baik pihak yang telah membantu penulis. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna sehingga saran dan kritik dari pembaca sangat diperlukan untuk pembuatan penelitian selanjutnya yang lebih baik.

Malang, Juni 2018

Risko Pratama Yuda

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Teori Tektonik Lempeng .....	5
2.2 Gempa Bumi .....	7
2.3 Dasar gelombang seismik .....	8
2.3.1 Gelombang Badan ( <i>body wave</i> ) .....	8
2.3.2 Gelombang Permukaan ( <i>Surface wave</i> ) .....	10
2.4 Parameter gempa bumi .....	11
2.4.1 Waktu kejadian gempa bumi (Origin time).....	12
2.4.2 Episenter .....	12



2.4.3	Kedalaman Sumber Gempa .....	13
2.4.4	Magnitudo gempa .....	13
2.4.5	Intensitas Gempabumi .....	17
2.5	Percepatan tanah maksimum.....	19
2.6	Tinjauan Daerah Penelitian .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>25</b>
3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	25
3.2	Rencana Penelitian .....	25
3.3	Materi Penelitian .....	26
3.4	Langkah Penelitian.....	27
3.4.1	Pengumpulan data.....	27
3.4.2	Pengolahan data.....	28
3.4.3	Intepretasi Data.....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>33</b>
4.1	Seismisitas di Wilayah Bali .....	33
4.2	Sebaran percepatan tanah Maksimum di Wilayah Bali...35	
4.3	Sebaran Nilai Intensitas Gempabumi Melalui Hasil Nilai Percepatan Tanah Maksimum .....	38
4.4	Pembahasan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya .....	40
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>43</b>
5.1	Kesimpulan .....	43
5.2	Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>45</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>47</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> sketsa sesar naik belakang busur dan pertemuan lempeng indo-Australia (Daryono, 2011) .....	2
<b>Gambar 2.1</b> Lempeng lempeng utama litosfer (Noor,2012).....	5
<b>Gambar 2.2</b> Batas-batas pertemuan lempeng <i>Konvergen</i> (atas), <i>Divergen</i> (tengah), <i>Transform</i> (bawah).....	6
<b>Gambar 2.3</b> Arus konveksi yang terjadi di dalam bumi (Press and Siever 1989) .....	7
<b>Gambar 2.4</b> Penjalaran gelombang Primer (Lay & Wallace, 1995)8	8
<b>Gambar 2.5</b> Perambatan gelombang S (Lay & Wallace, 1995).....	9
<b>Gambar 2.6</b> Penjalaran gelombang Rayleigh (Lay & Wallace, 1995) .....	10
<b>Gambar 2.7</b> penjalaran gelombang Love (Lay & Wallace, 1995) 11	11
<b>Gambar 2.8</b> Diagram Wadati (Ibrahim & Subardjo, 2004) .....	12
<b>Gambar 2.9</b> Kedalaman sumber gempa (Hurukawa, 2008).....	13
<b>Gambar 2.10</b> Nomogram Richter (Widodo, 2012).....	14
<b>Gambar 3.1</b> Daerah penelitian (sumber:Google Earth) .....	25
<b>Gambar 3.2</b> Pencarian data gempa pada situs USGS .....	27
<b>Gambar 3.3</b> Titik pengamatan pada daerah penelitian.....	28
<b>Gambar 3.4</b> contoh hasil pengolahan data percepatan tanah maksimum .....	30
<b>Gambar 3.5</b> Diagram alir penelitian .....	32
<b>Gambar 4.1</b> Sebaran seismisitas wilayah Bali .....	33
<b>Gambar 4.2</b> Peta persebaran nilai percepatan maksimum ( $cm/s^2$ ) .....	35
<b>Gambar 4.3</b> Sebaran tingkat skala Intensitas Wilayah bali.....	38
<b>Gambar 4.4</b> Peta percepatan tanah maksimum hasil penelitian Pusat Studi Gempa Nasional tahun 2017 .....	41





**Gambar 4.5** Peta persebaran nilai percepatan tanah maksimum dalam satuan g .....42



## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Skala <i>Modified Mercalli Intensity</i> (Gregory, 2010).....	18
Tabel 3-1 Hubungan antara Skala Intensitas MMI (Ibrahim & Subardjo, 2004) .....	31
Tabel L-1 Data Hasil Perhitungan.....	47





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Data Hasil Perhitungan. .... 47





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB I

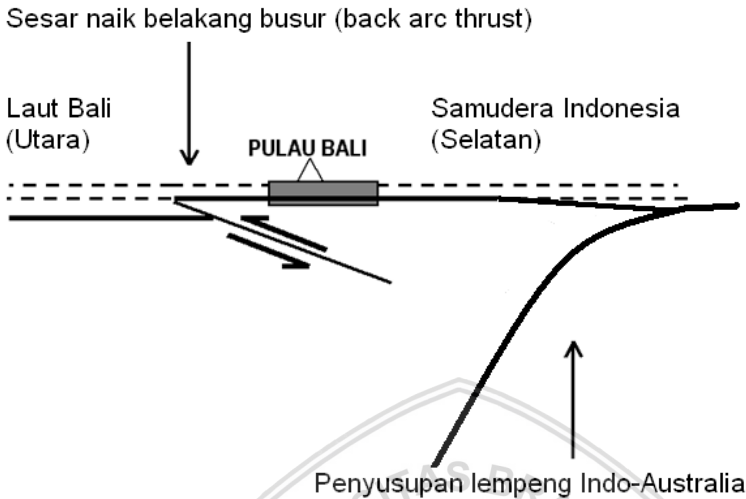
## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Menurut Santoso (2002), gempa bumi adalah kejadian alam berupa getaran yang terjadi pada permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa yang merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran yang sampai ke permukaan. Gempa bumi terjadi karena adanya energi yang dilepaskan secara tiba-tiba yang bisa disebabkan oleh erupsi gunung api, pergerakan lempeng tektonik dan kejadian lain yang merupakan ulah dari manusia. Gempabumi menghasilkan getaran dan guncangan yang besarnya beragam. Getaran dan guncangan yang dihasilkan sangat besar sehingga mampu merusak infrastruktur yang ada, namun bisa juga hanya getaran kecil yang tidak dirasakan oleh manusia dan hanya terekam pada seismometer.

Indonesia merupakan daerah dengan potensi gempa yang tinggi. Karena terletak pada pertemuan tiga lempeng besar di dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Indo-Australia. Hal ini menyebabkan wilayah di Indonesia sering terjadi gempa bumi besar yang menyebabkan kerusakan dan korban jiwa. (Daryono,dkk, 2009).

Pada daerah Bali merupakan daerah yang rawan terjadi gempa bumi karena di apit oleh dua penyebab gempabumi utama yaitu pada wilayah selatan yang merupakan pertemuan lempeng indo-Australia dengan lempeng Eurasia dan wilayah utara terdapat patahan naik (*back arc thrust*) yang mengakibatkan jumlah gempa bumi di daerah Bali dan sekitarnya cukup tinggi. Berdasarkan catatan sejarah daerah Bali merupakan daerah yang rawan gempa bumi, tercatat beberapa kali adanya gempa besar yang menyebabkan kerugian materi dan korban jiwa, diantaranya gempa Seririt (1976), gempa Culik (1979), dan gempa Karangasem (2004).



**Gambar 1.1** sketsa sesar naik belakang busur dan pertemuan lempeng indo-Australia (Daryono, 2011)

Setelah diketahui jika wilayah Bali memiliki sejarah gempa bumi yang cukup banyak. Sehingga perlu untuk dilakukan upaya mitigasi bencana gempa bumi pada wilayah Bali, Untuk meminimalisir dari dampak yang tidak diinginkan jika terjadi gempa bumi pada waktu mendatang. Salah satu dari upaya mitigasi bencana gempa bumi ialah memetakan nilai percepatan tanah maksimum (*peak ground acceleration*).

Percepatan tanah maksimum sering digunakan sebagai acuan dalam menggambarkan tingkat resiko gempa bumi yang akan terjadi. Sehingga parameter ini dapat dilakukan dengan penggunaan alat *Accelerograph* atau dengan perhitungan.

Karena keterbatasan jumlah stasiun-stasiun pengukuran percepatan tanah berdasarkan alat *Accelerograph* sehingga alternatif yang umum digunakan adalah dengan metode perhitungan. Banyak metode perhitungan percepatan tanah yang digunakan diantaranya metode Donovan, Mc Guirre, Esteva dan Fukushima. Berdasarkan penelitian Syamsuddin (2017) metode Fukushima merupakan metode yang baik bila digunakan pada perhitungan percepatan tanah maksimum karena memiliki nilai yang paling mendekati dengan nilai yang dihasilkan pada stasiun-

stasiun pengukuran *Accelerograph*. Sedangkan penelitian tentang percepatan tanah maksimum daerah Bali pernah dilakukan oleh Ayu (2017) dengan metode berbasis *Microtremor* dengan daerah penelitian pada kabupaten Karangasem Bali.

Berdasarkan uraian diatas dilakukan penelitian untuk memetakan resiko gempa bumi di wilayah Bali, menggunakan parameter percepatan tanah maksimum dengan metode perhitungan Fukushima.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang disampaikan maka dapat diperoleh rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana sebaran nilai percepatan tanah maksimum pada wilayah Bali ?
2. Bagaimana tingkat kerawanan gempa bumi pada wilayah bali ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Batas koordinat penelian yaitu wilayah Provinsi Bali dengan koordinat  $8.00^{\circ}$  -  $9.00^{\circ}$  LS dan  $114.4^{\circ}$  –  $115.9^{\circ}$  BT.
2. Perhitungan percepatan tanah maksimum menggunakan metode Fukushima-Tanaka

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah diatas maka tujuan didalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan persebaran nilai percepatan tanah maksimum pada wilayah Bali.
2. Menentukan daerah dengan tingkat kerawanan terdampak gempa tertinggi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:



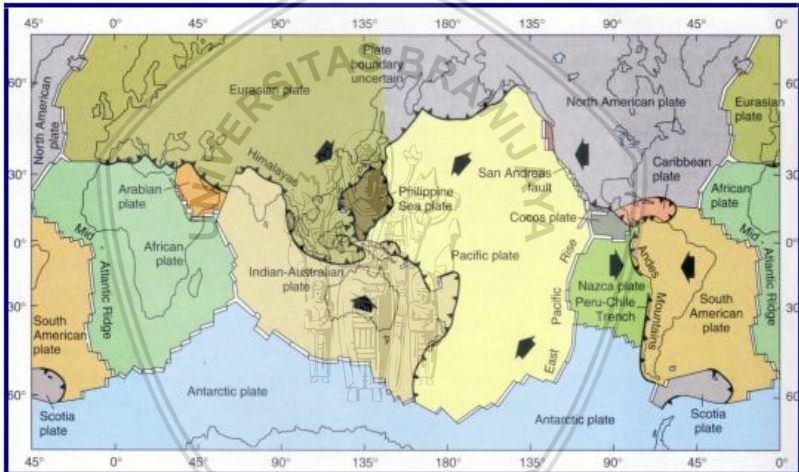
1. Dapat memberikan gambaran berupa persebaran nilai percepatan maksimum pada wilayah Bali.
2. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian tentang topik yang terkait.
3. Dan dapat digunakan sebagai upaya mitigasi terhadap gempa bumi pada wilayah Bali.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teori Tektonik Lempeng

Teori tektonik lempeng adalah teori yang menjelaskan tentang sifat-sifat dinamis pada lapisan kerak bumi yang terjadi karena adanya gaya endogen. Gaya endogen adalah semua gaya yang berasal dari dalam bumi. Dalam teori ini pada dasarnya lapisan litosfer bumi dibagi dalam 13 lempeng besar dan kecil. Batas-batas pada pertemuan lempeng dibedakan menjadi 3 bagian berdasarkan interaksi yang terjadi antara lempeng yaitu *Konvergen*, *Divergen*, dan *Transform*. (Noor,2012)



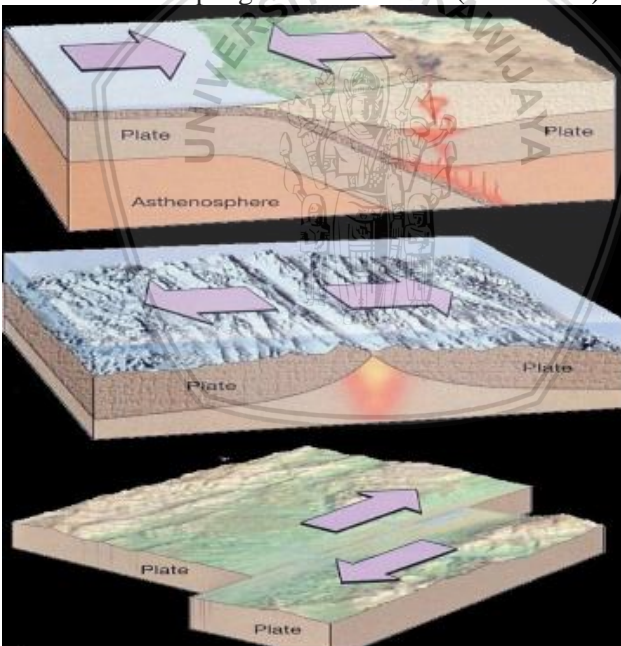
**Gambar 2.1** Lempeng lempeng utama litosfer (Noor,2012)

Batas *konvergen* adalah batas yang terjadi akibat adanya lempeng yang saling bertumbukan. Batas lempeng *konvergen* dapat berupa batas subduksi (*subduction*) maupun obduksi (*obduction*). Batas subduksi adalah pertemuan lempeng dimana salah satu lempeng menujam ke dalam bumi dan lempeng yang lain terangkat ke permukaan. Salah satu kejadian dari adanya batas subduksi ini adalah pertemuan lempeng benua Eurasia dengan lempeng Hindia-Australia di sebelah selatan Sumatra-Jawa-NTB dan NTT. Batas kedua lempeng ini terletak pada laut dengan kenampakan berupa

palung (*trench*) yang memanjang dari Sumatra, Jawa, hingga Nusa Tenggara Timur.

Batas *divergen* merupakan batas antar lempeng yang saling menjauh. Kejadian lempeng saling menjauh ini dikarenakan adanya gaya tarik (*tensional force*) yang mengakibatkan menaikinya magma menuju permukaan dengan membentuk material baru berupa lava yang kemudian mengakibatkan kedua lempeng saling menjauh. Salah batas lempeng *divergen* ini berada pada Punggung Tengah Samudra (*Mid oceanic ridges*) di dasar samudra Atlantik.

Batas *Transform* adalah batas antar lempeng yang saling berpapasan dan bergeser. Akibat dari saling menggeser dan berpapasan pertemuan lempeng ini menghasilkan sesar mendatar jenis *Strike Slip Fault*. Batas lempeng ini berada pada sesar San Andreas di Amerika serikat yang merupakan pergeseran lempeng samudra Pasifik dan lempeng benua Amerika. (Noor.2012)

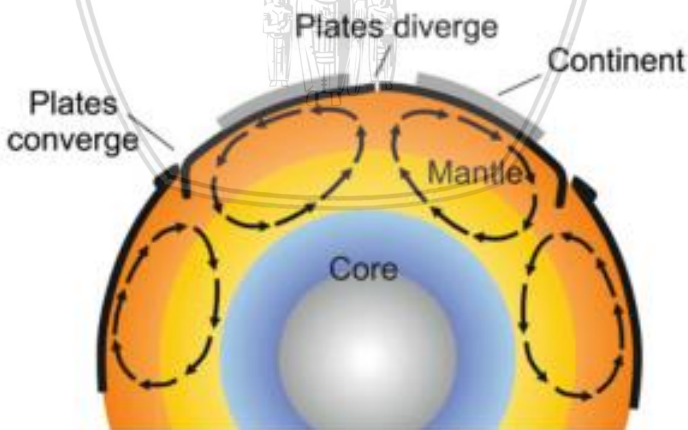


**Gambar 2.2** Batas-batas pertemuan lempeng *Konvergen* (atas), *Divergen* (tengah), *Transform* (bawah)

## 2.2 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari patah atau bergesernya massa batuan di kerak bumi. Dari penjelasan tersebut maka dapat diketahui mengapa permukaan tanah menjadi bergetar, yaitu karena adanya energi gempa yang merambat ke segala arah. Sebagaimana diketahui bahwa kekuatan akan terkandung dalam suatu energi. Artinya energi gempa akan menghasilkan kekuatan yang dalam hal ini dimaksud adalah getaran tanah. (Widodo, 2012).

Menurut teori tektonik lempeng, litosfer merupakan bagian yang terpisah dalam beberapa lempeng. Lempeng-lempeng ini bergerak dengan arah dan kecepatan yang berbeda. Pergerakan tersebut disebabkan karena arus konveksi yang terjadi di dalam bumi, dijelaskan pada **Gambar 2.3**. Apabila dua buah lempeng saling menumbuk maka pada daerah batas akan terjadi tegangan. Jika tegangan telah terkumpul dan melebihi kekuatan kulit bumi, maka akan terjadi patahan di daerah terlemah pada kulit bumi. Kulit bumi yang patah akan melepaskan energi sebagian atau seluruhnya untuk mendapatkan keadaan setimbang. Dan peristiwa pelepasan energi ini disebut gempa bumi. (Ibrahim & Subardjo, 2004)



**Gambar 2.3** Arus konveksi yang terjadi di dalam bumi (Press and Siever 1989)

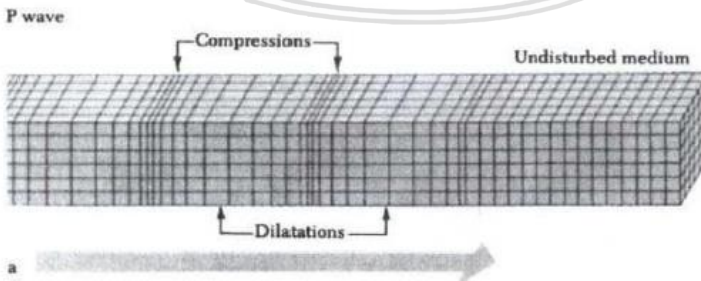
## 2.3 Dasar gelombang seismik

Gelombang seismik adalah gelombang mekanik yang menjalar keseluruhan bagian bumi baik didalam bumi, maupun di permukaan bumi. Terjadi karena adanya lapisan batuan yang patah atau terjadinya ledakan. Kecepatan gelombang seismik dipengaruhi oleh karakteristik lapisan pada medium rambatan gelombang (Salsabell, dkk, 2014). Gelombang seismik terdiri dari dua tipe yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Ibrahim & Subardjo, 2004).

### 2.3.1 Gelombang Badan (*body wave*)

Gelombang badan merambat melalui bagian dalam bumi. Gelombang badan terdiri dari gelombang primer dan gelombang sekunder. Gelombang primer dan sekunder dapat juga disebut dengan istilah “*preliminary Tremor*” karena kedua gelombang ini adalah gelombang yang pertama kali dirasakan ketika terjadi gempa (Elnasai dan sarno, 2008).

Gelombang primer berbentuk gelombang longitudinal, yakni gerakan partikel-partikel mediumnya searah dengan rambatan gelombang. Sehingga pada medium yang dilalui gelombang ini akan terjadi kompresi dan dilatasi, sesuai gambar yang ditujukan pada **Gambar 2.4**. Pada gelombang primer adalah gelombang yang pertama kali tercatat pada *seismometer*. Hal ini disebabkan karena gelombang ini memiliki kecepatan yang paling cepat dibandingkan gelombang seismik lain (Lay & Wallace, 1995).



**Gambar 2.4** Penjalaran gelombang Primer (Lay & Wallace, 1995)

Persamaan untuk kecepatan gelombang primer ditujukan pada persamaan 2.1 adalah sebagai berikut:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

dimana:

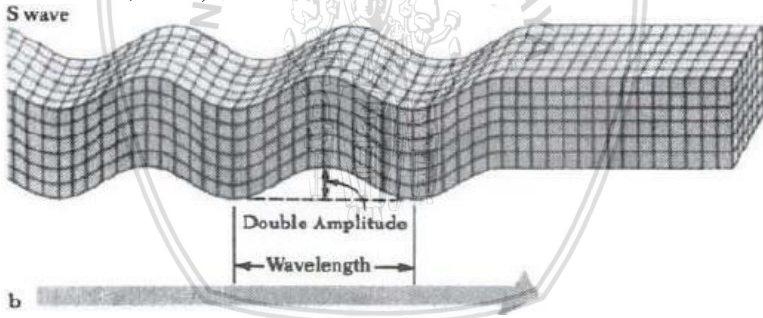
$v_p$  = cepat rambat gelombang P (m/s)

$\lambda$  = konstanta Lamé (N/m<sup>2</sup>)

$\mu$  = rigiditas (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = densitas (kg/m<sup>3</sup>)

Gelombang bodi yang lebih lambat adalah gelombang geser atau S-wave. Gelombang ini kadang juga disebut *transverse wave*. Hal ini terjadi karena arah gerakan partikel akan tegak lurus terhadap rambatan gelombang. Gelombang ini seperti tampak pada **Gambar 2.5** mempunyai bentuk sebagaimana gelombang air (Lay & Wallace, 1995).



**Gambar 2.5** Perambatan gelombang S (Lay & Wallace, 1995)

Persamaan kecepatan gelombang S ditujukan oleh persamaan 2.2 sebagai berikut:

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

dimana:

$v_s$  = cepat rambat gelombang S (m/s)



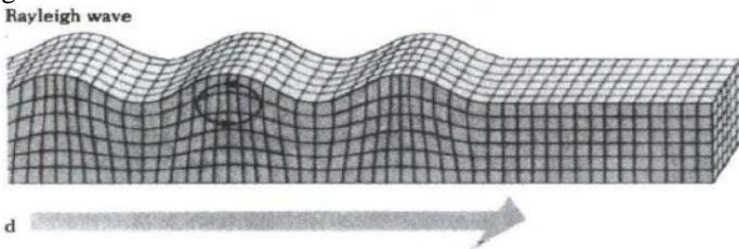
$\mu$  = rigiditas ( $\text{N/m}^2$ )

$\rho$  = densitas ( $\text{kg/m}^3$ )

### 2.3.2 Gelombang Permukaan (*Surface wave*)

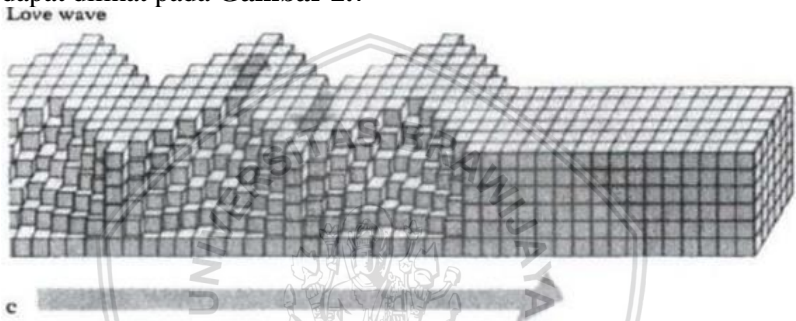
Gelombang permukaan merupakan gelombang elastik yang menjalar di sepanjang permukaan bumi. Gelombang ini juga biasa disebut *tide wave*, karena gelombang ini terikat dan harus menjalar melalui suatu lapisan atau permukaan (Ibrahim & Subardjo, 2004). Merambatnya gelombang permukaan akibat dari adanya efek *surface* yang memiliki perbedaan sifat elastik. Gelombang permukaan terdiri atas gelombang Rayleigh, dan gelombang Love (Susilawati, 2008).

Gelombang Rayleigh dan Love adalah gelombang permukaan hasil interaksi gelombang P dan S dengan kondisi batas pada tubuh bumi. Gelombang Rayleigh menjalar melalui permukaan bumi yang homogen. Gerakan gelombang Rayleigh adalah rambatan gelombang yang menyerupai gelombang lautan menggulung dan mempunyai efek gerakan vertikal dan horisontal. Gelombang ini ditemukan oleh Jon William Struy dan Rayleigh melalui pemodelan matematik pada tahun 1885. Rayleigh menunjukkan adanya pergerakan tambahan dari persamaan elastis bebas dari gelombang badan dengan permukaan bebas (Lay & Wallace, 1995). Menurut Richart (1970) Amplitudo gelombang Rayleigh berkurang menurut kedalaman lapisan tanah. Gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudo yang besar (hampir dua kali amplitudo refleksi) dan dicirikan dengan frekuensi rendah (Pribadi, 2010). Penjalaran gelombang Rayleigh ditunjukkan pada gambar **Gambar 2.6**



**Gambar 2.6** Penjalaran gelombang Rayleigh (Lay & Wallace, 1995)

Gelombang Love ditemukan oleh seorang ahli matematik bangsa inggris A.E.H Love dengan menggunakan pemodelan matematik pada tahun 1911. Gelombang Love adalah adalah pergerakan gelombang permukaan yang dihasilkan pada gelombang badan dengan lapisan permukaan (Lay & Wallace, 1995). Gelombang Love adalah gelombang geser yang terpolarisasi secara horizontal dan tidak menghasilkan perpindahan vertikal. Gelombang ini menyebabkan bangunan seperti diguncang secara mendatar pada dasarnya sehingga gelombang ini sangat potensial membuat kerusakan (Pribadi, 2010). Penjalaran gelombang ini dapat dilihat pada **Gambar 2.7**



**Gambar 2.7** penjalaran gelombang Love (Lay & Wallace, 1995)

## 2.4 Parameter gempa bumi

Setiap kejadian gempa bumi pasti memiliki beberapa parameter berupa informasi rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah melalui proses manual dan non manual menjadi data bacaan fase (*phase reading data*). Informasi seismik selanjutnya mengalami pengumpulan pengolahan dan analisis sehingga menjadi parameter gempabumi (Ibrahim & Subardjo, 2004)

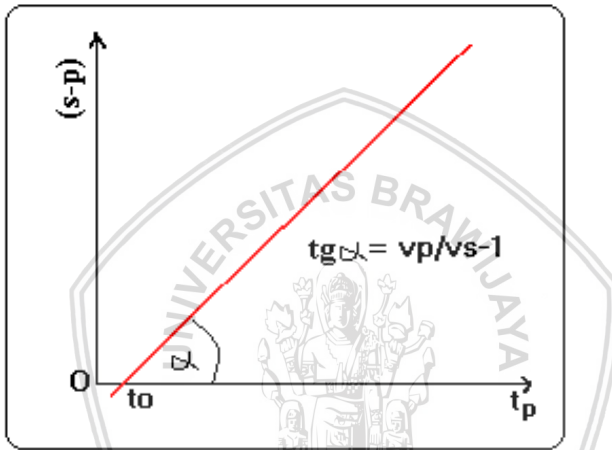
Ibrahim & Subardjo (2004) secara umum parameter gempa bumi terdiri dari waktu kejadian gempa, lokasi episenter gempa, kedalaman gempa, dan magnitudo gempa bumi dan intensitas gempa bumi.



### 2.4.1 Waktu kejadian gempa bumi (Origin time)

Waktu kejadian gempa bumi adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan yang berbentuk gelombang gempabumi yang dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*)(Ibrahim & Subardjo, 2004).

Untuk menentukan origin time secara sederhana dapat menggunakan diagram Wadati.



**Gambar 2.8** Diagram Wadati (Ibrahim & Subardjo, 2004)

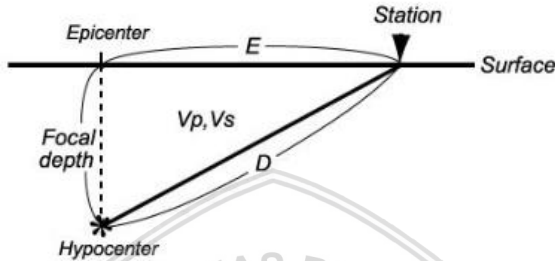
Dimana  $t_p$  adalah waktu gelombang P,  $t_o$  adalah *origin time*,  $v_p$  adalah kecepatan gelombang P dan  $v_s$  adalah kecepatan gelombang S. *Origin time* ditentukan dari perpotongan garis  $T_p$  ketika  $s - p$  sama dengan nol (Yanuarsih,2012).

### 2.4.2 Episenter

Episenter adalah titik di permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempabumi. Tempat inilah yang mendapat getaran paling besar dan kerusakan yang besar juga. Lokasi episenter dibuat dalam sistem koordinat kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur (Ibrahim & Subardjo, 2004).

### 2.4.3 Kedalaman Sumber Gempa

Kedalaman sumber gempa merupakan besaran jarak dalam satuan kilometer. Sumber gempa didapat dengan menghitung antara jarak hiposenter dengan episenter, atau dengan cara jarak hiposenter dihitung tegak lurus dari permukaan bumi (Ibrahim & Subardjo, 2004).



**Gambar 2.9** Kedalaman sumber gempa (Hurukawa, 2008)

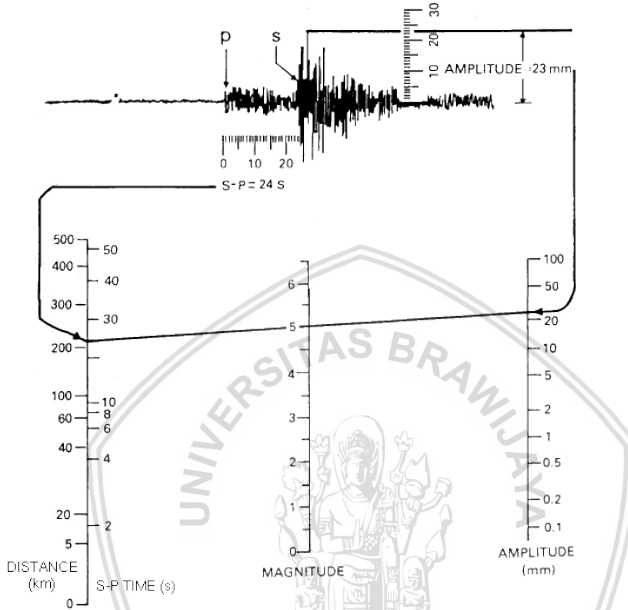
### 2.4.4 Magnitudo gempa

Magnitudo adalah skala relatif dari pengukuran fase amplitudo yang dilakukan pertama kali oleh K. Wadati dan C. Richter pada tahun 1930. Kekuatan gempa ini dinyatakan dalam skala logaritma berbasis 10. Suatu besaran magnitudo diperoleh sebagai analisis tipe gelombang seismik tertentu (berupa rekaman getaran tanah yang tercatat paling besar) dengan memperhitungkan koreksi jarak stasiun pencatat ke episenter. Pada saat sekarang magnitudo yang umum digunakan yaitu *local magnitude*, *body magnitude*, *surface magnitude* dan *moment magnitude* (Lay & Wallace, 1995).

#### 2.4.4.1 *Local Magnitude (ML)*

Magnitudo gempa mempunyai hubungan dengan energi yang dilepaskan saat terjadi gempa bumi. Richter pada tahun 1935 kemudian memberikan notasi  $M$  sebagai magnitudo gempa yang kemudian dikenal dengan  $M$  skala Richter. Karena gempa yang diukur bersifat lokal maka notasi magnitudo menjadi bernotasi  $ML$ , bersifat lokal dalam hal ini adalah kurang dari 100 Km dari stasiun pencatat. Berdasarkan penelitiannya Richter dapat membuat

hubungan secara umum antar amplitudo rekaman gelombang gempa, selisih kedatangan gelombang sekunder dan primer dengan magnitudo gempa ML pada suatu gambar yang disebut dengan nomogram Richter (Widodo, 2012).



**Gambar 2.10** Nomogram Richter (Widodo, 2012).

Rekaman gempa pada **Gambar 2.10** memberikan selisih kedatangan sekunder dan gelombang primer, sebesar  $\Delta t$ . Selisih kedatangan kedua gelombang tersebut lalu dikonversi menjadi jarak tempuh oleh gelombang atau dalam gambar sebagai *S-P time(s)*. Disisi lain rekaman gempa mempunyai amplitudo maksimum dimisalkan sebesar  $y$ . berdasarkan jarak tempuh dan amplitudo gelombang tersebut maka amplitudo ML dapat diperoleh (Widodo, 2012).

Selain menggunakan Nomogram Richter dapat juga digunakan rumus empiris untuk mengetahui besar dari magnitude lokal. Dengan parameter yang digunakan pada rumusan ini adalah amplitudo getaran tanah, dan jarak stasiun pencatat ke sumber gempa bumi (Ibrahim & Subardjo, 2004). Persamaan pada rumusan

empiris besar magnitude local ditampilkan pada persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$ML = \log a + 3 \log \Delta - 2.92 \quad (2.3)$$

Dimana :

$a$  = amplitude getaran ( $\mu m$ )

$\Delta$  = jarak stasiun- sumber gempa (km)

#### 2.4.4.2 *Body Magnitude (Mb)*

Bolt 1989 mengatakan bahwa *body magnitude* dihitung berdasarkan gelombang primer. Magnitudo gempa ini digunakan apabila gempa yang terjadi lebih dalam. Dimana kondisi gelombang permukaan menjadi lemah dan sebaliknya gelombang primer menjadi dominan, karena amplitude gelombang primer mempunyai efek yang kecil terhadap kedalaman.

Secara umum rumusan yang digunakan dalam *body magnitude* ini adalah (Ibrahim & Subardjo, 2004). :

$$Mb = \log a - \log T + Q(\Delta, h) \quad (2.4)$$

Dimana:

$a$  = amplitude getaran ( $\mu m$ )

$T$  = periode getaran (s)

$Q(\Delta, h)$  = jarak stasiun- sumber gempa dan kedalaman gempa  $h$  yang didapatkan (km)

#### 2.4.4.3 *Surface Magnitude (Ms)*

Kramer (1996) mengatakan bahwa magnitude lokal tidak mampu membedakan pengaruh jenis gelombang. Pada tempat yang sudah sangat jauh dari episenter, maka gelombang badan sudah sangat melemah menjadi sangat kecil, maka getaran tanah didominasi oleh gelombang permukaan. Sehingga dikembangkan magnitude yang didapatkan sebagai hasil dengan pengukuran gelombang permukaan yaitu *surface magnitude*. Namun demikian kecepatan gelombang permukaan dapat saja berbeda dan akan dipengaruhi banyak hal, sehingga ditentukan gelombang rayleigh adalah gelombang permukaan yang digunakan untuk mengetahui

nilai *magnitude surface*. *Magnitude surface* memiliki persamaan pada perhitungannya sebagai berikut (Ibrahim & Subardjo, 2004). :

$$M_s = \log a + \alpha \log \Delta + \beta \quad (2.5)$$

Dimana:

$a$  = amplitude getaran ( $\mu m$ )

$\Delta$  = jarak stasiun- sumber gempa (km)

$\alpha$  dan  $\beta$  = koefisien dan konstanta yang didapatkan secara empiris

Ada hubungan antara *magnitude permukaan* dengan *magnitude lokal* yang dijelaskan oleh Hu dkk (1996) melalui persamaan 2.6 :

$$M_s = 1,13ML - 1,08 \quad (2.6)$$

Dimana  $M_s$  adalah *magnitude surface* dan  $ML$  adalah *magnitude local*. Selain itu Hu dkk (1996) juga berpendapat *magnitude surface* dapat didapatkan nilainya dengan menggunakan *magnitude body* dengan persamaan yang ada, seperti persamaan 2.7:

$$M_s = 1,59 M_b - 3,97 \quad (2.7)$$

#### 2.4.4.4 *Magnitude Moment (M<sub>w</sub>)*

Menurut Hu dkk (1996) walaupun rentang jarak episenter yang ditinjau sudah jelas, tetpi gempa yang diukur melalui beberapa site dimungkinkan menghasilkan besar magnitudo yang berbeda. Kramer (1996) mengatakan bahwa pengukuran parameter gerakan tanah karena gempa akan menjadi kurang sensitif untuk gempa besar dibanding gempa gempa kecil, fenomena ini biasa disebut *earthquake magnitude saturation*. Dimana kekuatan gempa bumi sangat berkaitan dengan energi yang dilepaskan oleh sumbernya. Pelepasan energi ini berbentuk gelombang yang merambat ke bagian dalam bumi dan permukaan bumi. Dalam perambatannya energi gempa mengalami pelemahan karena absorsi dari batuan yang dilaluinya, sehingg energi yang sampai pada stasiun pencatat kurang dapat menggambarkan energi gempa di hiposenter.

Berdasarkan teori Elastik Rebound diperkenalkan istilah momen sesimik. Momen seismik dapat diestimasi dari pergeseran bidang sesar atau dari analisis karakteristik gelombang gempabumi yang direkam seismograf periode bebas (Ibrahim & Subardjo, 2004). dengan persamaan berikut :

$$M_o = \mu D A \quad (2.8)$$

Dimana:

$M_o$  = momen seismik

$D$  = pergeseran rata rata bidang sesar

$A$  = Area sesar

Kanamori (1997) memperkenalkan *magnitude moment* suatu magnitude yang berkaitan dengan momen seismik namun tidak bergantung pada besarnya magnitude permukaan. Meskipun dapat menyatakan jumlah energi di sumber gempa dengan lebih akurat, namun pengukuran *magnitude moment* lebih kompleks dibanding pengukuran magnitude lain. Karena itu penggunaannya masih lebih sedikit dibanding magnitude lain. Adapun persamaan yang dimiliki oleh magnitude moment ini adalah (Ibrahim & Subardjo, 2004) :

$$M_w = \frac{\log M_o}{1.5} - 10.5 \quad (2.9)$$

Dimana :

$M_w$  = *magnitude moment*

$M_o$  = momen seismik

#### 2.4.5 Intensitas Gempabumi

Intensitas merupakan besaran yang menunjukkan kekuatan gempa bumi berdasarkan kerusakan yang diakibatkan. Skala ini lebih subjektif. Namun sekarang dapat ditentukan besarnya skala intensitas berdasarkan nilai percepatan tanah disuatu daerah, sehingga skala yang didapat lebih objektif. Skala yang secara umum digunakan adalah *modified Mercalli System* (MMI) (Yanuarsih, 2012).

**Tabel 2-1** Skala *Modified Mercalli Intensity* (Gregory, 2010)

skala	Penjelasan skala
I	Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan hening oleh beberapa orang.
II	Getaran dirasakan oleh beberapa orang. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang.
III	Getaran dirasakan nyata dalam rumah bertingkat. Terasa getaran seperti truk lewat.
IV	Pada siang hari dirasakan oleh banyak orang didalam rumah, diluar oleh beberpa orang. Pada malam hari orang terbangun, piring dan gelas dapat pecah, jedela dan pintu berbunyi, dinding berderik karena pecah-pecah.
V	Getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk orang banyak terbangun. Pohon-pohon tinggi dan barang barang besar tampak bergoyang
VI	Getaran dirasakan oleh semua penduduk, kebanyakan terkejut dan lari keluar, kadang kadang meja kursi bergerak, plester dinding dan cerobong asap pabrik rusak. Kerusakan ringan.
VII	Semua orang keluar rumah, kerusakan ringan pada rumah rumah dengan bangunan dan kontruksi bangunan yang baik.
VIII	Kerusakan ringan pada bangunan-bangunan dengan kontruksi kuat. Banyak kerusakan pada bangunan tidak kuat cerobong asap pabrik-pabrik dan monumen roboh
IX	Kerusakan pada bangunan yang kuat , rangka-rangka rumah menjadi tidak lurus, banyak lubang-lubang pada bangunan kuat. Rumah tampak bergeser pada pondasinya.
X	Beberapa bangunan yang terbuat dari kayu akan hancur, tanah terbelah, rel melengkung. Tanah longsor disekitar sungai.
XI	Hanya sedikit bangunan yang dapat berdiri. Jembatan hancur. Rel lebih membengkok. Terjadi penurunan tanah dan longoran pada tanah yang lunak.
XII	Kerusakan total. Gelombang tampak pada permukaan tanah. Benda-benda terlempar ke udara

Intensitas bukan merupakan parameter energi gempa bumi, tetapi dapat menggambarkan atau mengungkapkan kekuatan gempabumi dengan baik. Apabila magnitude dihitung berdasarkan rekaman pada instrumen maka intensitas berdasarkan akibat langsung dari gempabumi. Intensitas gempa juga dapat diartikan juga sebagai skala yang dibuat untuk menggambarkan secara langsung kekuatan dan dampak dari gempa tersebut terhadap permukaan bumi seperti bangunan, topografi dan sebagainya yang umumnya disebut efek makro. Intensitas yang terbesar terdapat didaerah episenter, dan semakin jauh dari episenter maka nilai intensitas juga akan turun. (Ibrahim & Subardjo, 2004).

## 2.5 Percepatan tanah maksimum

Percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Tanah memiliki respon percepatan yang berbeda bergantung pada beberapa parameter seperti keadaan tanah, jarak sumber gempa, dan besar magnitude dari gempa. Percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi pada suatu daerah yang disebabkan oleh gempa bumi. Nilai percepatan tanah maksimum dihitung berdasarkan magnitudo dan jarak sumber gempa terhadap titik pengamatan (Fauzi dkk, 2005)

Untuk keperluan tertentu nilai percepatan tanah maksimum dihitung dengan cara pendekatan dari data historis gempabumi pada daerah penelitian. Percepatan tanah maksimum sering digunakan sebagai acuan dalam menggambarkan tingkat resiko yang akan terjadi pada suatu daerah akibat gempa bumi. Sehingga parameter ini tentunya diperlukan dan dapat diperoleh dengan mencatatkan data pada alat atau dengan metode perhitungan (Febriani dkk, 2013)

Beberapa metode rumusan empiris yang umum dipakai dalam perhitungan percepatan tanah maksimum adalah metode Donovan, Esteva, Gutenberg- Richter, Kanai, Kawasumi, Fukushima dan lain lain. Rumusan-rumusan yang ada didapat dari didapatkan berdasarkan penelitian suatu kasus gempa bumi pada suatu tempat tertentu, dengan memperhitungkan karakteristik sumber gempabuminya, dan kondisi geologi tempat penelitian (Miftahul,2016).



Menurut syamsuddin (2017) metode perhitungan percepatan tanah maksimum yang baik digunakan adalah metode Fukushima. Karena metode ini memiliki nilai percepatan tanah maksimum yang paling mendekati dengan hasil pengukuran alat.

Persamaan empiris metode fukushima (1990) dalam menghitung nilai percepatan tanah maksimum ditunjukkan oleh persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\log a = 0.41 Ms - \log(R + 0.033 \times 10^{0.41Ms}) - 0.0034R - 1.69 \quad (2.11)$$

Dimana:

$a$  = percepatan tanah maksimum (gal)

$Ms$  = Magnitude permukaan

$R$  = jarak hiposenter dengan titik pengamatan (Km)

## 2.6 Tinjauan Daerah Penelitian

Kondisi geologi regional Bali dimulai dengan adanya kegiatan di lautan selama kala Miosen Bawah yang menghasilkan batuan lava bantal dan breksi yang disisipi oleh batu gamping. Di bagian selatan terjadi pengendapan oleh batu gamping yang kemudian membentuk Formasi Selatan. Di jalur yang berbatasan dengan tepi utaranya terjadi pengendapan sedimen yang lebih halus. Pada akhir kala Pliosen, seluruh daerah pengendapan itu muncul di atas permukaan laut. Bersamaan dengan pengangkatan, terjadi pergeseran yang menyebabkan berbagai bagian tersesarkan satu terhadap yang lainnya. Umumnya sesar ini terbenam oleh bahan batuan organik atau endapan yang lebih muda. Selama kala Pliosen, di lautan sebelah utara terjadi endapan berupa bahan yang berasal dari endapan yang kemudian menghasilkan Formasi Asah. Di barat laut sebagian dari batuan muncul ke atas permukaan laut. Sementara ini semakin ke barat pengendapan batuan karbonat lebih dominan. Seluruh jalur itu pada akhir Pliosen terangkat dan tersesarkan.

Kegiatan gunung api lebih banyak terjadi di daratan, yang menghasilkan gunung api dari barat ke timur. Seiring dengan terjadinya dua kaldera, yaitu mula-mula kaldera Buyan-Bratan dan kemudian kaldera Batur, Pulau Bali masih mengalami gerakan yang

menyebabkan pengangkatan di bagian utara. Akibatnya, Formasi Palasari terangkat ke permukaan laut dan Pulau Bali pada umumnya mempunyai penampang Utara-Selatan yang tidak simetris. Bagian selatan lebih landai dari bagian Utara. Stratigrafi regional berdasarkan Peta Geologi Bali geologi Bali tergolong masih muda. Batuan tertua kemungkinan berumur Miosen Tengah.

Menurut Purbohadiwidjono (1974), secara geologi pulau Bali masih muda, batuan tertua berumur miosen. Secara garis besar batuan di Bali dapat dibedakan menjadi beberapa satuan yaitu:

#### 1. Formasi Ulakan

Formasi ini merupakan formasi tertua berumur Miosen Atas, terdiri dari stempuk batuan yang berkisar dari lava bantal dan breksi basal dengan sisipan gampingan. Nama formasi Ulakan diambil dari nama kampung Ulakan yang terdapat di tengah sebaran formasi itu.

#### 2. Formasi Surga

Bagian atas formasi ulakan adalah formasi Surga terdiri dari tufa, nafa dan batu pasir. Singkapan yang cukup luas terdapat dibagian tengah daerah aliran sungai Surga. Disini batuan umumnya miring kearah selatan atau sedikit menenggara (170-190°) dengan kemiringan lereng hingga cukup curam (20-50°). singkapan lain berupa jendela terdapat di baratdaya Pupuan, dengan litologi yang mirip.

#### 3. Formasi Selatan

Formasi ini menempati semenanjung Selatan. Batuannya sebagian besar berupa batugamping keras. Tebalnya berkisar 600 meter, dan kemiringannya menuju keselatan antara 7-10o . kandungan fosil yang terdiri dari *Lepidocyclina emphalus*, *Cycloclypeus* Sp, *Operculina* Sp, menunjukkan berumur Miosen. Selain di semenanjung selatan, formasi ini juga menempati Pulau Nusa Penida.

#### 4. Formasi Batuan Gunungapi Pulaki

Kelompok batuan ini berumur pliosin, merupakan klompok batuan beku yang umumnya bersifat basal, terdiri dari lava dan breksi. Sebenarnya terbatas di dekat Pulaki. Meskipun dipastikan berasal dari gunung api, tetapi pusat erupsinya tidak lagi dapat dikenali. Di daerah ini terdapat sejumlah kelurusan yang berarah barat-timur, setidaknya sebagian dapat dihubungkan dengan

persesaran. Mata air panas yang terdapat di kaki pegunungan, pada perbatasan dengan jalur datar di utara, dapat dianggap sebagai salah satu indikasi sisa vulkanisme, dengan panas mencapai 470 C dan bau belerang agak keras.

#### 5. Formasi Prapatagung

Kelompok batuan ini berumur Pliosen, menempati daerah Prapatagung di ujung barat Pulau Bali. Selain batugamping dalam formasi ini terdapat pula batu pasir gampingan dan napal.

#### 6. Formasi Asah

Kelompok batuan ini berumur Pliosen menyebar dari baratdaya Seririt ke timur hingga di baratdaya Tejakula. Pada lapisan bawah umumnya terdiri dari breksi yang beromponen kepingan batuan bersifat basal, lava, obsidian. Batuan ini umumnya keras karena perekatnya bisaanya gampingan. Dibagian atas terdapat lava yang kerap kali menunjukkan rongga, kadang-kadang memperlihatkan lempengan dan umunya berbutir halus. Kerpakali nampak struktur bantal yang menunjukkan suasana pengendapan laut.

#### 7. Formasi batuan gunungapi kuarter bawah

Kwarter di Bali didominasi oleh batuan bersal dari kegiatan gunung api. Berdasarkan morfologinya dapat diperkirakan bahwa bagian barat pulau Bali ditempati oleh bentukan tertua terdiri dari lava, breksi dan tufa. Batuan yang ada basal, tetapi sebagian terbesar bersifat andesit, semua batuan vulkanik tersebut dirangkum ke dalam Batuan Gunungapi Jemberana. Berdasarkan kedudukannya terdapat sedimen yang mengalasinya, umur formasi ini adalah kuarter bawah, seluruhnya merupakan kegiatan gunung api daratan.

Pada daerah Candikusuma sampai Melaya terdapat banyak bukit rendah yang merupakan trumbu terbentuk pada alas konglomerat dan diatasnya menimbun longgokan kedalam formasi Palasari, suatu bentukan muda karena pengungkitan endapan disepanjang tepi laut.

#### 8. Formasi batuan gunungapi kwarter

Kegiatan vulkanis pada kwarter menghasilkan terbentuknya sejumlah kerucut yang umumnya kini telah tidak aktif lagi. Gunungapi tersebut menghasilkan batuan tufa dan endapan lahar Buyan-Beratan dan Batur, batuan gunungapi Gunung Batur,

batuan gunungapi Gunung Agung, batuan gunungapi Batukaru, lava dari gunung Pawon dan batuan gunungapi dari kerucut-kerucut subresen Gunung Pohen, Gunung Sangiang dan gunung Lesung. Gunungapi-gunungapi tersebut dari keseluruhannya hanya dua yang kini masih aktif yaitu Gunung Agung dan Gunung Batur di dalam Kaldera Batur



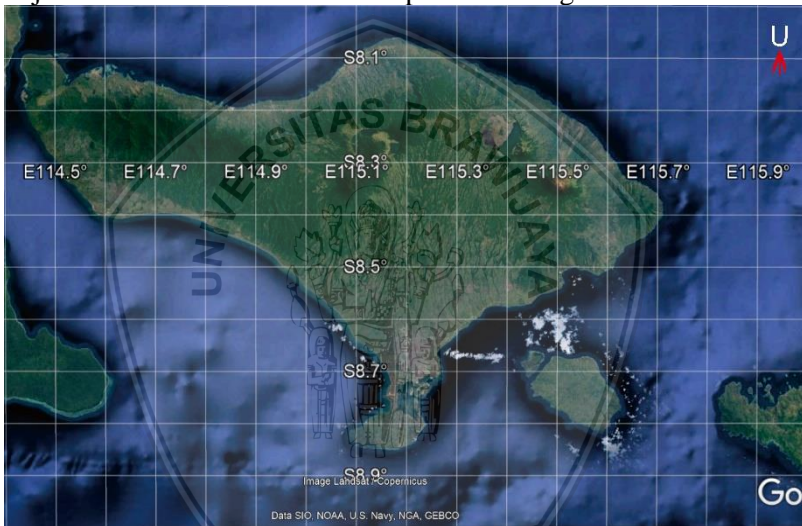


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 12 Februari 2018 sampai 12 April 2017 di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika kelas II Tretes, Jl. Bunga sedap malam Mlaten Pandaan. Daerah penelitian ini berada pada koordinat  $114.4^{\circ}$  sampai  $115.9^{\circ}$  bujur timur dan koordinat  $8.0$  sampai  $9.0$  lintang selatan.



**Gambar 3.1** Daerah penelitian (sumber:Google Earth)

### 3.2 Rencana Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data yang diperlukan. Data yang diperlukan berupa data gempa bumi yang terjadi pada wilayah dengan batasan koordinat  $114^{\circ}$  sampai  $115.9^{\circ}$  bujur timur dan koordinat  $7^{\circ}$  sampai  $10.5^{\circ}$  lintang selatan. Data yang terkumpul bersumber pada data yang telah ada pada Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika dengan rentang waktu Januari

2009 hingga Desember 2017 dan data gempa yang diunduh dari *United states Geological survey (USGS)* dengan rentan waktu dari Januari 1987 hingga Desember 2107. Setelah dilakukannya pengumpulan data gempa pada USGS dan BMKG selanjutnya dilakukan penggabungan data yang didapat pada *Microsoft word*, pada data yang sudah digabung didapat data gempa pada rentang waktu 1987-2017 sebanyak 1536 gempa. Selanjutnya dilakukan perubahan magnitudo menjadi *Ms (magnitude surface)*. Setelah dilakukan perubahan magnitudo langkah selanjutnya adalah menentukan titik-titik pengamatan pada wilayah penelitian dengan jarak anatar titik adalah  $0.1^\circ$  lintang atau bujur. Setelah didapat titik-titik pengamatan selanjutnya maka dilakukan perhitungan jarak titik gempa dengan titik pengamatan. Langkah setelah dilakukan perhitungan jarak adalah menghitung nilai percepatan tanah maksimum menggunakan Metode Fukushima pada 176 titik pengamatan. Nilai yang didapat akan dilakukan pengolahan pada *software surfer* untuk mendapat persebaran nilai percepatan tanah maksimum pada wilayah Bali. Selanjutnya dilakukan perubahan nilai pada hasil percepatan tanah maksimum, yaitu merubah satuan hasil dalam gal menjadi g dan selanjutnya dirubah menjadi satuan %g untuk melihat potensi resiko gempa pada wilayah penelitian.

### 3.3 Materi Penelitian

Dalam dilakukannya penelitian ini digunakan beberapa materi berupa data, perangkat keras maupun *software* pendukung, diantaranya adalah:

1. Data sekunder gempabumi pada tahun 2009 hingga 2017 yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
2. Data sekunder gempabumi pada tahun 1987 hingga 2017 yang didapat dengan mengunduh pada website *USGS*.
3. Perangkat keras berupa Laptop untuk melakukan pengolahan data.
4. Perangkat lunak *microsoft excel* untuk melakukan perhitungan nilai percepatan tanah maksimum
5. Perangkat lunak *Surfer 11* untuk dilakukannya pemetaan nilai yang didapat pada perhitungan.

### 3.4 Langkah Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan tiga langkah utama yaitu pengumpulan data, pengolahan data dan Interpretasi data.

#### 3.4.1 Pengumpulan data

Pada penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data yang didapat dari dua sumber yaitu dari BMKG dan USGS. Pada data yang didapat pada USGS data dapat diambil melalui website yang tersedia. Data yang diambil dari USGS (*United states Geologikal Survey*) adalah data gempa yang terjadi disekitar wilayah Bali pada koordinat  $114^{\circ}$ -  $116^{\circ}$  bujur timur dan  $7.0^{\circ}$ -  $10.5^{\circ}$  lintang selatan dengan rentang waktu tahun 1987 hingga 2017.



**Gambar 3.2** Pencarian data gempa pada situs USGS

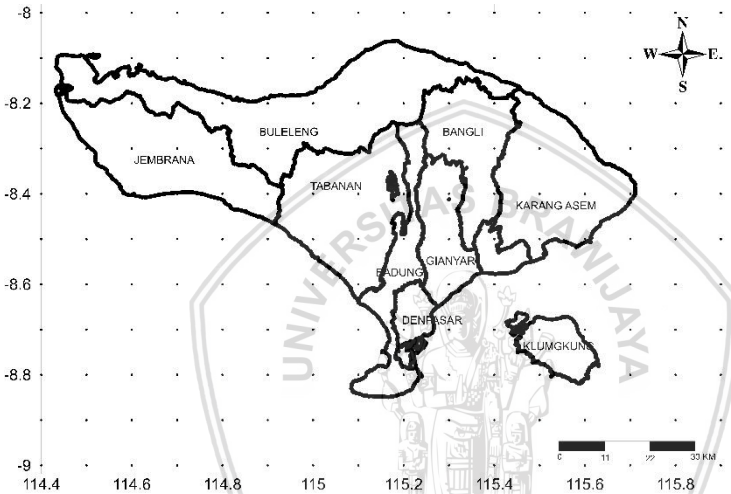
Pada data gempa yang diambil pada BMKG didapat data dengan rentang waktu 2009-2017 pada koordinat  $114^{\circ}$ - $116^{\circ}$  bujur timur dan  $7.0^{\circ}$ -  $10.5^{\circ}$  lintang selatan. Perbedaan pengambilan rentang waktu pada data gempa karena adanya keterbatasan data gempa pada stasiun BMKG.

Data yang diperoleh memiliki parameter parameter yang ada pada suatu kejadian gempa, meliputi Waktu, lokasi sumber gempa, kedalaman sumber gempa, dan tipe magnitudo. Data yang dikumpulkan adalah sebanyak 1536 data gempa.



### 3.4.2 Pengolahan data

Langkah awal pada pengolahan data gempa untuk mendapatkan nilai percepatan maksimum adalah dengan menentukan titik titik daerah pengamatan, dimana pada penelitian ini titik titik berjarak  $0.1^\circ$  lintang dan bujur. Pada penelitian ini juga didapat banyak titik pengamatan adalah 176 titik yang terdapat pada pada gambar.



**Gambar 3.3** Titik pengamatan pada daerah penelitian

Langkah selanjutnya adalah mengubah jenis magnitude yang terdapat pada data gempa menjadi  $M_s$  (*Magnitude survey*). Hal ini dilakukan karena pada data gempa yang didapat memiliki jenis  $M_L$  (*magnitude local*),  $M_b$  (*magnitude body*). Pengubahan jenis magnitude ini dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$M_s = 1.59M_b - 3.97 \quad (3.1)$$

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (3.2)$$

Setelah merubah menjadi tipe *magnitude surface* maka langkah selanjutnya pada pengolahan data, dilakukan perhitungan jarak episenter gempa terhadap titik pengamatan.

Pada pencarian jarak episenter dengan titik pengamatan digunakan rumus sebagai berikut:



$$\cos B = \sin(\text{lat}1) \sin(\text{lat}2) + \cos(\text{lat}1) \cos(\text{lat}2) \cos(\Delta\text{long}) \quad (3.3)$$

$$C = \arccos B \quad (3.4)$$

$$D = r \cdot C \quad (3.5)$$

Dengan:

D : jarak episenter dengan titik amat (Km)

C : kalkulasi perpotongan sumbu

r : jari bumi (6378,1 Km)

Setelah didapat jarak episenter dengan titik pengamatan. Langkah selanjutnya ialah menghitung jarak hiposenter gempa dengan titik pengamatan. Menggunakan persamaan:

$$R = (D^2 + h^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

Dengan:

D : jarak hiposenter (Km)

R : jarak episenter

h : kedalaman gempa

Pada langkah pengolahan selanjutnya adalah menghitung nilai percepatan tanah maksimum dengan menggunakan metode Fukushima dengan persamaan berikut:

$$\log a = 0.41 Ms - \log(R + 0.033 \times 10^{0.41Ms}) - 0.0034R - 1.69 \quad (3.7)$$

Pada setiap titik pengamatan akan diambil nilai tertinggi dalam nilai hasil percepatan tanah. Sehingga didapat nilai percepatan tanah maksimum pada titik pengamatan. Pada hasil pengolahan terdapat 176 data percepatan tanah maksimum, adapun contoh dari salah satu hasil dari perhitungan percepatan tanah maksimum pada pengolahan ini ditujukan oleh **Gambar 3.4**.

1	Lokasi Pengamatan		Gempa				Jarak Pengamatan ke Sumber Gempa				fukushima		
2	Tgl gempa	Lintang	Bujur	latitude	longitude	depth	Ms	cos R	R (°)	R (km)	bs-Hypo	log a	a
3	contoh	-8.38825	115.6628	-8.495	114.967	105	5.6	0.999924	0.705881	78.57781	131.1468	1.030254	10.721450
4	7/01/2009	-8.4	115	-8.17	115.24	18	2.197	0.999983	0.330611	36.80328	40.96928	0.448746	2.810259
5	8/01/2009	-8.4	115	-8.98	114.65	76	2.536	0.999931	0.675354	75.17958	106.9017	-0.05283	0.885457
6	18/01/2009	-8.4	115	-9.23	114.52	36	4.118	0.999861	0.955973	106.4179	112.3422	0.555271	3.591458
7	20/01/2009	-8.4	115	-10.4	114.87	93	3.101	0.999388	2.004108	223.0949	241.703	-0.63377	0.232397
8	1/02/2009	-8.4	115	-8.6	114.94	82	2.649	0.999993	0.208618	23.22308	85.22506	0.165559	1.464059
9	27/04/2009	-8.4	115	-7.48	114.01	10	2.423	0.999725	1.344536	149.6721	150.0058	-0.39279	0.404772
10	4/05/2009	-8.4	115	-9.31	114.09	18	2.875	0.999751	1.279281	142.408	143.5411	-0.16641	0.681691
11	9/05/2009	-8.4	115	-9.02	114.23	40	2.536	0.999853	0.981681	109.2796	116.3702	-0.12187	0.755316
12	13/05/2009	-8.4	115	-8.15	114.09	31	2.875	0.999867	0.934583	104.0367	108.557	0.073805	1.185236
13	20/05/2009	-8.4	115	-8.94	114.78	92	2.536	0.999948	0.582151	64.80438	112.5327	-0.09427	0.804887

**Gambar 3.4** contoh hasil pengolahan data percepatan tanah maksimum

Data nilai percepatan tanah maksimum yang didapat pada perhitungan dengan menggunakan metode Fukushima memiliki satuan gal atau  $cm/s^2$ . Satuan lain yang biasanya digunakan pada nilai percepatan tanah maksimum dapat juga berupa satuan g. satuan g dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$g = \frac{gal}{980,665} \tag{3.8}$$

Dimana nilai 980,665 merupakan nilai percepatan gravitasi bumi standar. Nilai percepatan tanah maksimum yang telah didapat akan dihubungkan dengan tabel intensitas gempa yang telah didapat, sehingga diketahui potensi dari kerawana gempa pada wilayah penelitian.

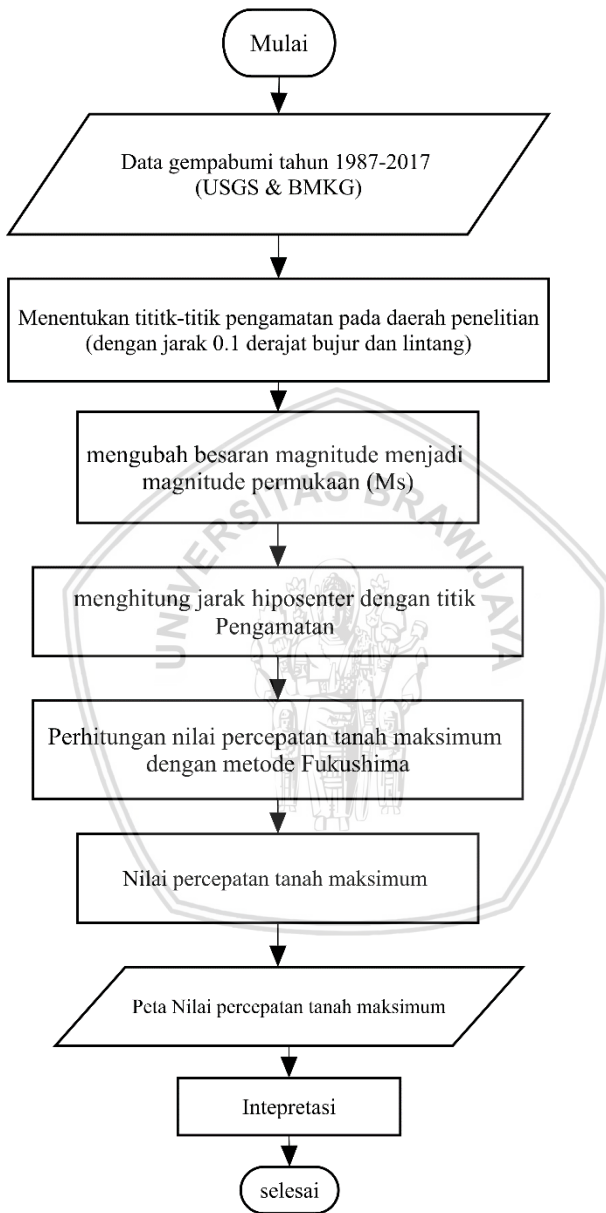
**Tabel 3-1** Hubungan antara Skala Intensitas MMI (Ibrahim & Subardjo, 2004)

Skala MMI	Percepatan Maksimum (gal)
1	Dibawah 1.0
2	1.0-2.0
3	2.1-5.0
4	5.0-10
5	10-21
6	21-44
7	44-94
8	94-202
9	202-432
10,11,12	Lebih dari 432

Setelah didapat nilai percepatan maksimum pada titik titik pengamatan maka dilakukan pembuatan peta dengan *software surfer*. Pembuatan peta pada *surfer* dilakukan dengan memasukkan nilai yang telah didapat bersama koordinat titik pengamatan berupa *longitude dan latitude* lalu *file* disimpan. *File* yang telah tersimpan dilakukan *gridding* dengan menu *grid* dan *file* akan disimpan dalam format *.grd*. Pembuatan peta kontur nilai percepatan tanah maksimum pada wilayah Bali, dilakukan dengan memasukkan gambar peta wilayah Bali dengan format *.shp* pada lembar kerja *software*. Selanjutnya ditambahkan peta kontur dengan memilih pilihan *new contour map* dan dipilih *file* yang telah dilakukan *Gridding*. Akan didapat peta kontur dengan gambar peta wilayah Bali.

### 3.4.3 Intepretasi Data

Pada tahapan intepretasi, analisis yang dilakukan pada parameter parameter yang didapat pada peta kontur menggunakan *surfer*. Pada tahap ini intepretasi data digunakan bantuan berupa nilai skala warna yang didapat, penelitian terkait maupun peta persebaran gempa bumi dan tabel skala intensitas MMI pada **Tabel 3-1**.

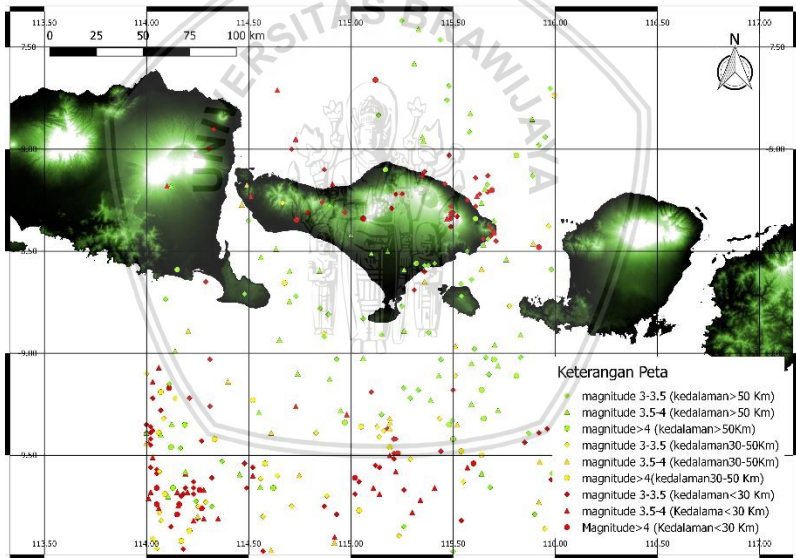


**Gambar 3.5** Diagram alir penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Seismisitas di Wilayah Bali

Data gempa yang telah diakses dan di kumpulkan dari *website United states geological survey (USGS)* dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisiska, data gempa yang didapat mempunyai beberapa parameter seperti letak episenter gempa, kedalaman hiposenter, dan besar magnitude. Sebaran gempa pada data penelitian dengan besar magitude lebih dari 3 dan kedalam sumber gempa dari kedalam kurang dari 30 km, 30- 50 km hingga lebih dari 50 km ditunjukkan pada **Gambar 4.1**



**Gambar 4.1** Sebaran seismisitas wilayah Bali

**Gambar 4.1** Memetakan persebaran dari data gempa yang didapat. Data gempa tidak semua dimasukkan pada peta seismisitas, hal ini dikarenakan jumlah data gempa yang didapat terlalu banyak



sehingga bila dilakukan pemetaan seismisitas akan lebih sulit dilakukan analisa pada peta sebaran seismisitas. Peta seismisitas daerah Bali ini menggunakan data yang telah dipilih berdasarkan magnitude dan kedalaman sumber gempa. Magnitude yang digunakan pada peta ini merupakan magnitude dengan rentang nilai 3 hingga 3,5 lalu 3,5 hingga 4 dan magnitude dengan nilai lebih dari 4. Tipe magnitude pada peta seismisitas menggunakan *magnitude surface* (Ms) atau magnitude permukaan. Sedangkan pada kedalaman sumber gempa digunakan perbedaan kedalaman kurang dari 30 km, 30-50 km, dan lebih dari 50 km. Adapun batasan wilayah data gempa berada pada koordinat  $7.40^{\circ}$  hingga  $10.0^{\circ}$  lintang selatan dan  $116^{\circ}$  -  $114^{\circ}$  bujur timur.

Data gempa dengan kedalaman kurang dari 30 km memiliki warna merah pada simbol. Data gempa dengan kedalaman antara 30 hingga 50 km memiliki warna kuning pada simbol. Dan pada data gempa dengan kedalaman lebih dari 50 km memiliki warna hijau pada simbol peta seismisitas. Sedangkan untuk besar magnitude dibedakan melalui bentuk simbol pada peta seismisitas. Simbol magnitude dengan nilai lebih dari 4 memiliki bentuk bulat atau titik. Magnitude dengan besar nilai antara 3,5 hingga 4 mempunyai bentuk simbol segitiga. Dan pada nilai magnitude 3 hingga 3.5 mempunyai bentuk simbol persegi pada peta seismisitas.

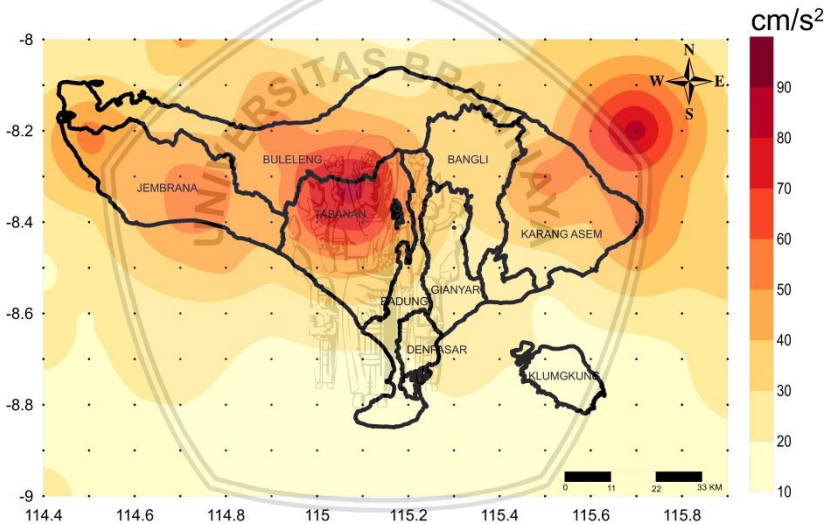
Persebaran seismisitas pada wilayah Bali ini menunjukkan bila persebaran gempa dengan kedalaman lebih dari 50 km tersebar merata pada peta seismisitas. Gempa dengan sumber kedalaman pada daerah dangkal dengan kedalaman kurang dari 30 km terdapat pada daerah selatan dan utara peta dengan beberapa gempa dangkal terletak pada daerah pulau Bali. Pada gempa dangkal kurang dari 30 km terletak dekat dengan daerah pertemuan lempeng Eurasia dan Indo-australia disebelah selatan dan terdapat patahan naik di sebelah utara. Sedangkan pada gempa dengan kedalaman 30-50 km sebagian besar terdapat pada daerah laut selatan pulau bali, dan hanya sedikit pada bagian utara pulau bali.

Persebaran gempa yang terjadi didalam wilayah pulau Bali seperti ditunjukkan pada peta seismisitas, menunjukan bila pernah terjadi gempa dengan kedalaman dangkal dengan kedalaman kurang dari 30 km. gempa gempa dangkal yang terjadi sebagian besar terdapat pada bagian Kabupaten Karangasem bagian timur,

daerah perbatasan Kabupaten Tabanan dan Buleleng, terdapat juga pada daerah Kabupaten Jembrana. Selain karena adanya aktivitas tektonik yang ada seperti pertemuan lempeng dan patahan, penyebab lain dari sumber gempa dapat juga berasal dari aktivitas vulkanik yang ada pada Wilayah Bali. Pada peta seismisitas yang ada terlihat bahwa terdapat beberapa gempa dengan kedalaman kurang dari 30 km terdapat pada sekitar daerah Gunung Agung.

## 4.2 Sebaran percepatan tanah Maksimum di Wilayah Bali

Persebaran nilai percepatan tanah maksimum yang telah dihitung menggunakan metode Fukushima dan dipetakan dengan *software surfer* ditampilkan oleh gambar **Gambar 4.2**



**Gambar 4.2** Peta persebaran nilai percepatan maksimum ( $cm/s^2$ )

Berdasarkan hasil pengolahan data yang didapat pada 176 titik pengamatan, terdapat rentang nilai percepatan tanah maksimum antara 10,25 hingga 88,07  $cm/s^2$ . Titik pengamatan dengan nilai percepatan tanah terbesar terletak di koordinat 115.7° bujur timur dan 08.20° lintang selatan. Nilai terkecil percepatan tanah maksimum terdapat pada koordinat 115.2° bujur timur dan 08.90° lintang selatan.



Daerah Kabupaten Buleleng mempunyai rentang nilai percepatan tanah maksimum antara 30 hingga 90  $cm/s^2$ . Percepatan tanah maksimum pada perbatasan Kabupaten Buleleng dengan Tabanan dengan koordinat 115.1° bujur timur dan 08.20° lintang selatan memiliki nilai sebesar 82,48  $cm/s^2$ . Kabupaten Buleleng memiliki nilai percepatan tanah maksimum 30-40  $cm/s^2$  pada bagian barat timur.

Daerah Kabupaten Jembrana mempunyai rentang nilai percepatan tanah maksimum antara 40-60  $cm/s^2$ . Nilai percepatan tanah maksimum pada titik pengamatan dengan koordinat 114.50° bujur timur dan 08.20° lintang selatan memiliki nilai sebesar 55,38  $cm/s^2$ . Dibagian selatan Kabupaten Jembrana terdapat nilai percepatan tanah maksimum antara 50-60  $cm/s^2$ .

Daerah Kabupaten Tabanan memiliki rentang nilai percepatan tanah maksimum berkisar antara 20-90  $cm/s^2$ . Nilai percepatan tanah maksimum terbesar terletak pada titik pengamatan dengan koordinat koordinat 115.1° bujur timur dan 08.20° lintang selatan memiliki nilai 82,48  $cm/s^2$ . Bagian utara kabupaten tabanan memiliki nilai yang tinggi dan berkurang nilai percepatan tanah maksimum pada daerah selatan dengan nilai 27,32 pada titik pembacaan koordinat 115.1° bujur timur dan 08.60° lintang selatan.

Daerah Kabupaten Bangli memiliki rentang nilai 20-50  $cm/s^2$ . Bagian utara Kabupaten Bangli memiliki nilai percepatan tanah maksimum berkisar 30-40  $cm/s^2$  dan pada bagian selatan dengan nilai 20-30  $cm/s^2$ . Nilai percepatan tanah maksimum dengan nilai 40-50  $cm/s^2$  terdapat pada sebagian kecil daerah Bangli bagian timur.

Daerah Kabupaten Karangasem memiliki nilai percepatan tanah maksimum sebesar 20-60  $cm/s^2$ . Titik pengamatan dengan koordinat 115.5° bujur timur dan 08.30° lintang selatan memiliki nilai percepatan tanah maksimum sebesar 56,67  $cm/s^2$ . Dan nilai terendah dari percepatan tanah di daerah Kabupaten Karangasem ini terletak di koordinat 115.5° bujur timur dan 08.50 lintang selatan dengan nilai 23,70  $cm/s^2$ .

Daerah Kabupaten Klungkung memiliki nilai percepatan tanah maksimum 10-30  $cm/s^2$ . Pada bagian utara Kabupaten Klungkung (Pulau Bali) memiliki nilai 21,95 pada titik pengamatan

dengan koordinat  $115.40^\circ$  bujur timur dan  $08.50$  lintang selatan. Bagian selatan Kabupaten Klungkung (Pulau Nusa Penida) memiliki nilai  $11,35 \text{ cm/s}^2$ .

Daerah Kabupaten Gianyar memiliki nilai percepatan tanah maksimum dengan rentang nilai  $20-40 \text{ cm/s}^2$ . Bagian utara Kabupaten memiliki nilai  $30-40 \text{ cm/s}^2$ . Bagian selatan Kabupaten memiliki nilai  $20-30 \text{ cm/s}^2$ . Percepatan tanah maksimum bagian selatan dengan koordinat  $115.30^\circ$  bujur timur dan  $08.60^\circ$  lintang selatan bernilai  $26,15 \text{ cm/s}^2$ .

Daerah Kabupaten Badung memiliki nilai percepatan tanah maksimum antara  $10$  hingga  $60 \text{ cm/s}^2$ . Nilai percepatan tanah maksimum pada Kabupaten ini memiliki nilai lebih tinggi dibagian utara dibandingkan dengan daerah diselatan Kabupaten.

Daerah Kota Denpasar memiliki nilai percepatan tanah maksimum berkisar antara  $10-30 \text{ cm/s}^2$ . Bagian utara Kota Denpasar bernilai lebih tinggi dibandingkan dengan nilai percepatan tanah maksimum bagian selatan. Salah satu titik pengamatan yang terletak di Kota Denpasar terletak pada koordinat  $115.20^\circ$  bujur timur dan  $08.70^\circ$  lintang selatan mempunyai nilai percepatan tanah maksimum  $19.02 \text{ cm/s}^2$ .

Dari penjelasan nilai percepatan tanah maksimum yang ada pada setiap Kabupaten dan Kota di Wilayah Bali. Kabupaten Tabanan dan Buleleng memiliki nilai tertinggi dengan nilai  $82,48 \text{ cm/s}^2$  pada koordinat  $115.1^\circ$  bujur timur dan  $08.20^\circ$  lintang selatan. Nilai cukup tinggi terdapat pada bagian selatan dan barat Kabupaten Jembrana, bagian utara dan timur Kabupaten Karangasem. Nilai percepatan tanah maksimum pada daerah selatan Wilayah Bali memiliki rentang nilai  $10-20 \text{ cm/s}^2$ , khususnya daerah selatan Kabupaten Klungkung (P. Nusa Penida) dan bagian selatan Kabupaten Badung.

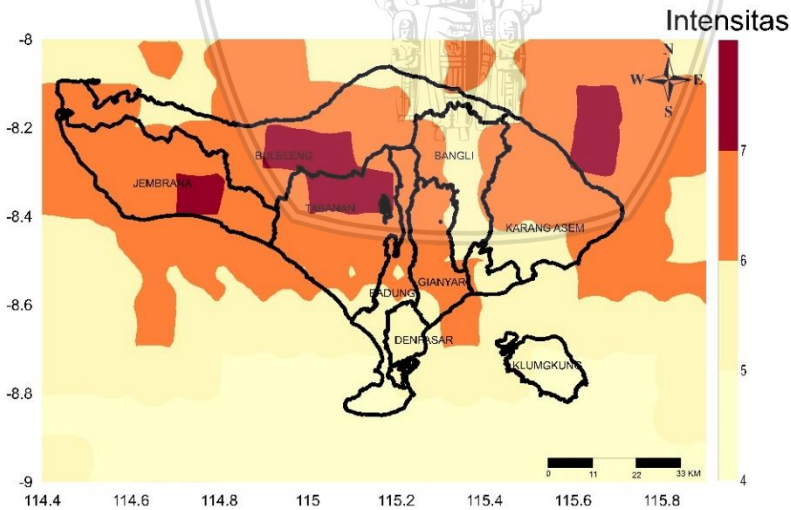
Bila dihubungkan dengan peta seismisitas wilayah bali pada **Gambar 4.1** terdapat riwayat gempa dengan kedalaman dangkal kurang dari  $30 \text{ km}$  dengan magnitude lebih dari  $4$  pada daerah perbatasan Kabupaten Buleleng dan Tabanan. Pada daerah selatan jembrana pernah terjadi gempa dengan kedalaman kurang dari  $30 \text{ km}$  dan magnitude lebih dari  $4$ , daerah barat Kabupaten Jembrana pernah terjadi gempa dengan magnitude  $3.5-4$  dengan kedalaman kurang dari  $30 \text{ km}$ . Kabupaten Karangasem memiliki

beberapa kejadian gempa yang berasal dari daerah sekitar Gunung Agung dengan kedalaman kurang dari 30 km dan mempunyai besar magnitudo 3-4, selain itu Kabupaten Karangasem memiliki riwayat gempa lebih banyak dibanding Kabupaten lain dengan kedalaman dan kekuatan yang berbeda.

Terdapat hubungan antara peta seismisitas dengan persebaran nilai percepatan tanah maksimum. Apabila nilai percepatan tanah maksimum pada suatu daerah tinggi maka dalam data riwayat gempa pada daerah tersebut pernah terjadi gempa dengan magnitudo yang cukup besar dan jarak sumber gempa dekat. Sehingga nilai percepatan maksimum dipengaruhi oleh besar magnitudo dan jarak sumber gempa (Episenter dan hiposenter).

### 4.3 Sebaran Nilai Intensitas Gempabumi Melalui Hasil Nilai Percepatan Tanah Maksimum

Nilai percepatan tanah maksimum yang telah didapat diubah ke dalam Intensitas MMI dengan menggunakan **Tabel 3-1**. Hasil dari pemetaan intensitas pada Wilayah Bali ditampikan pada **Gambar 4.3**



**Gambar 4.3** Sebaran tingkat skala Intensitas Wilayah bali

Sebaran nilai intensitas tersebut, nilai intensitas yang terdapat di Wilayah Bali diwakili oleh 4 warna berbeda. Intensitas yang tertinggi memiliki nilai 7 dan terendah memiliki nilai intensitas 4. Warna merah menunjukkan daerah dengan intensitas 7, dan Warna jingga menunjukkan skala intensitas bernilai 6.

Daerah Jembarana memiliki nilai intensitas 6-7. Dengan nilai intensitas 6 mendominasi pada daerah Kabupaten Jembrana. Sedangkan pada intensitas bernilai 7 terletak disekitar koordinat  $114.7^{\circ}$  -  $114.8^{\circ}$  bujur timur dan  $08.30^{\circ}$  -  $08.40^{\circ}$  lintang selatan.

Daerah kabupaten Buleleng mempunyai nilai intensitas 5-7. Nilai intensitas tertinggi yaitu 7, terdapat pada perbatasan Kabupaten Buleleng dengan Tabanan dibagian selatan. Sedangkan nilai dengan intensitas 5 terdapat pada bagian timur dan barat kabupaten Buleleng.

Daerah Kabupaten Tabanan memiliki nilai intensitas dengan antara 5-7. Bagian utara Kabupaten Buleleng memiliki intensitas paling besar dengan nilai 7, yang terlihat dengan warna merah pada peta persebaran nilai intensitas. Nilai intensitas semakin berkurang hingga intensitas 5 pada bagian selatan.

Kabupaten Karangasem memiliki nilai intensitas berkisar antara 5-7. Intensitas bernilai 7 hanya terdapat sangat sedikit dibagian timur laut Kabupaten Karangasem, dan nilai terendah pada bagian selatan kabupaten dengan intensitas 5.

Kabupaten Bangli memiliki nilai intensitas dengan rentang 5-6. Intensitas dengan nilai 6 terletak pada bagian timur dan barat Kabupaten. Intensitas terendah bernilai 5 terletak dibagian tengah Kabupaten Bangli.

Kabupaten Klungkung memiliki intensitas dengan rentang nilai antara 4-6. Pada bagian Kabupaten Klungkung utara memiliki intensitas sebesar 5-6, sedangkan pada bagian selatan (P.Nusa Penida) memiliki intensitas 4-5.

Kabupaten Gianyar memiliki nilai intensitas 5-6. Intensitas dengan nilai 6 lebih mendominasi pada bagian wilayah Kabupaten ini. Hanya di bagian selatan dan timur yang memiliki intensitas bernilai 5.

Kabupaten Badung memiliki daerah dengan rentang nilai intensitas 4-7. Daerah kabupaten ini memanjang dari utara hingga

selatan. Daerah utara memiliki nilai intensitas tertinggi dan daerah di bagian selatan Kabupaten memiliki nilai terendah dengan intensitas 4.

Kota Denpasar memiliki nilai intensitas yang sama pada bagian Kota. Nilai intensitas pada Kota Denpasar bernilai 5 yang ditujukan dengan warna krem.

Hasil pada pemetaan intensitas akan dihubungkan dengan tabel intensitas MMI sehingga diketahui potensi gempa yang mungkin terjadi pada waktu yang akan datang. Tabel tentang penjelasan skala intensitas ditampilkan pada **Tabel 2-1** Skala *Modified Mercalli Intensity* (Gregory, 2010).

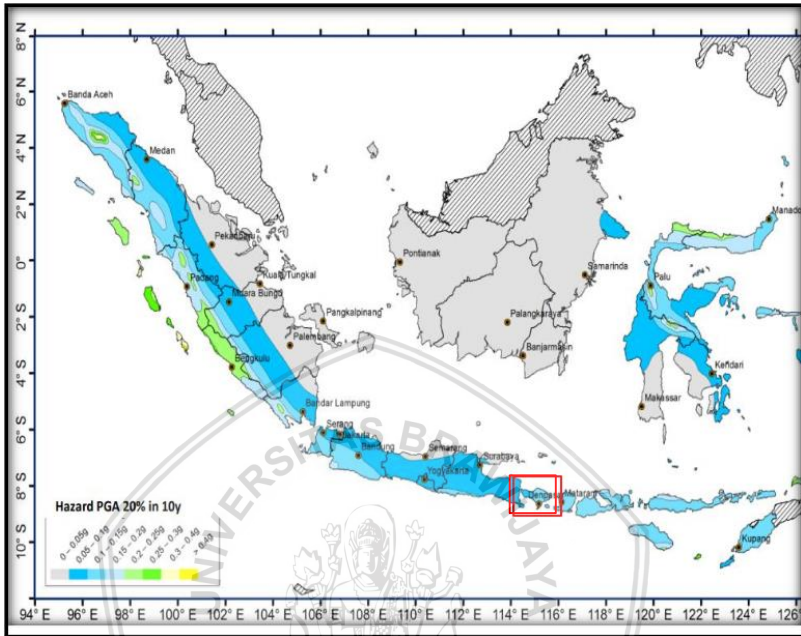
Didapatkan hasil jika intensitas tertinggi dengan nilai 7 wilayah bali terdapat pada Kabupaten Jembrana, Buleleng, Tabanan dan Karangasem. Sehingga daerah ini memiliki tingkat resiko gempa bumi pada skala intensitas 7 yang berarti gempa dapat menyebabkan Kerusakan sedang dan guncangan akibat gempa terasa kuat oleh manusia.

Sedangkan pada intensitas 6 maka daerah tersebut memiliki tingkat resiko gempa dengan tingkat kerusakan bangunan ringan dan getaran gempa yang dirasakan sedang. Pada daerah intensitas bernilai 6 ini mendominasi pada Wilayah Bali, kecuali Kota Denpasar.

Intensitas 4-5 memiliki tingkat resiko akibat gempa dengan tingkat resiko akibat gempa dengan kerusakan bangunan tidak ada dan getaran gempa yang dirasakan kecil. Intensitas 4-5 ini terdapat pada kabupaten Bangli, Bagian selatan Kabupaten Karangasem, Selatan kabupaten Badung dan Kota Denpasar.

#### **4.4 Pembahasan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya**

Pada hasil penelitian ini dilakukan pembahasan hasil dengan referensi penelitian yang telah dilakukan oleh Pusat Studi Gempa Nasional pada tahun 2017. Ada beberapa hasil yang dimiliki oleh penelian yang telah dilakukan tetntang nilai percepatan maksimum ini, salah satunya adalah peta *PGA 20% in 10 yr* yang ditampilkan pada gambar **Gambar 4.4**



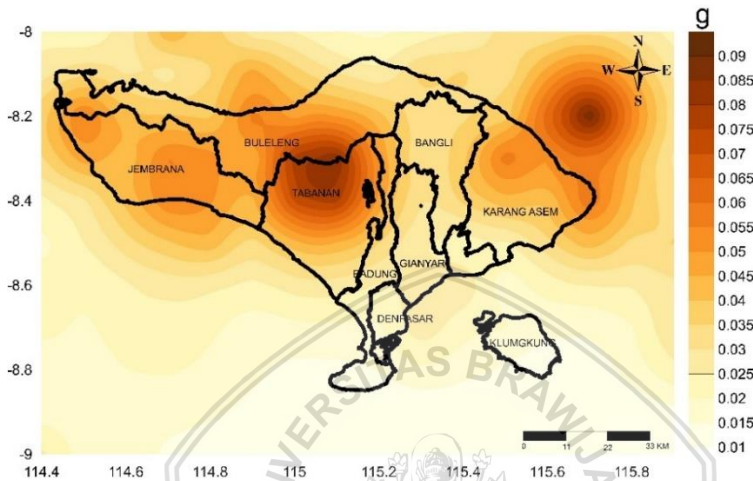
**Gambar 4.4** Peta percepatan tanah maksimum hasil penelitian Pusat Studi Gempa Nasional tahun 2017

Peta percepatan tanah maksimum hasil penelitian Pusat Studi Gempa Nasional tahun 2017 dilakukan penelitian dengan metode *probabilistic seismic hazard analysis*. Metode ini mengkuantifikasi probabilitas terlampaunya berbagai tingkat percepatan tanah akibat setiap gempa bumi yang mungkin terjadi di suatu lokasi. Sehingga pada gambar dengan keterangan 20% dalam 10 tahun menunjukkan bila nilai pada peta akan terlampaui dalam kurun waktu 10 tahun. Pada gambar wilayah Bali memiliki kenampakan didalam kotak merah dengan warna biru muda dengan nilai Percepatan tanah maksimum (*peak ground acceleration*) dengan rentang nilai sekitar 0,05 hingga 0,1 g.

Sebelum dilakukan pembahasan dengan penelitian lain, langkah yang harus dilakukan adalah mengubah satuan gal ( $\text{cm/s}^2$ ) menjadi dalam satuan g. Perubahan ini menggunakan persamaan



3.8. Dimana nilai dalam gal akan dibagi dengan nilai percepatan gravitasi standar, yaitu  $980,665 \text{ cm/s}^2$ . Hasil perubahan satuan dari gal menjadi g ditampilkan pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5** Peta persebaran nilai percepatan tanah maksimum dalam satuan g

Jika hasil mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan Pusat Studi Gempa Nasional yang memiliki persebaran Nilai secara regional dimana didapat persebaran nilai percepatan tanah maksimum daerah Bali memiliki rentang nilai 0,05-0,1 g sedangkan pada penelitian percepatan tanah Wilayah Bali yang dilakukan memiliki nilai dengan rentang nilai 0,01 hingga 0,09. Pada hasil penelitian ini hasil yang didapat memiliki kedekatan nilai yang didapat oleh penelitian pada Pusat Studi Gempa Nasional. Tetapi terdapat masih terdapat rentang nilai pada nilai terendah nilai percepatan tanah maksimum. Perbedaan rentang nilai ini dapat dipengaruhi oleh perbedaan luas area yang dilakukan penelitian. Dimana penelitian dengan luasan lebih kecil memiliki resolusi hasil atau ketelitian lebih baik dibanding dengan penelitian pada skala regional. Selain itu perbedaan pada hasil juga dipengaruhi oleh metode yang digunakan, perbedaan hasil ini dimungkinkan karena adanya parameter dan konstanta yang berbeda pada setiap rumus atau metode pengolahan data.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Pada wilayah Bali terdapat rentang nilai percepatan tanah maksimum antara 10,25 hingga 88,07  $cm/s^2$ . Kabupaten Tabanan dan Buleleng memiliki nilai tertinggi dengan nilai 82,48  $cm/s^2$  pada koordinat 115.1° bujur timur dan 08.20° lintang selatan. Nilai percepatan tanah maksimum pada daerah selatan Wilayah Bali memiliki rentang nilai 10-20  $cm/s^2$ , khususnya daerah selatan Kabupaten Klungkung (P.Nusa Penida) dan bagian selatan Kabupaten Badung.

Pada pendugaan daerah kerawanan gempa bumi menggunakan hasil dari peta sebaran intensitas. Dimana intensitas tertinggi dengan nilai 7 wilayah bali terdapat pada Kabupaten Jembrana, Buleleng, Tabanan dan Karangasem. Sehingga daerah ini memiliki tingkat resiko gempa bumi pada skala intensitas 7 yang berarti gempa dapat menyebabkan tingkat kerusakan sedang dan guncangan akibat gempa terasa kuat oleh manusia.

### 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah jumlah titik-titik pengamatan dibuat lebih banyak dengan jarak antar titik lebih dekat. Selanjutnya digunakan data sekunder berupa mikrotremor untuk melihat faktor faktor yang mempengaruhi kondisi tanah penelitian. Sehingga didapat hubungan kondisi geologi dengan nilai Percepatan tanah maksimum.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DAFTAR PUSTAKA**

- Ayu, Ratnasari. 2017. Mikrozonasi Seismik Untuk Memetakan Potensi Bahaya Berdasarkan Perhitungan Ground Shear Strain di Kabupaten Karangasem, Bali. Malang: Universitas Brawijaya
- Daryono, Sutikno, Sartohadi, J. D., & Brotopuspito, K. . 2009. Efek Tapak Lokal di Graben Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. International Conference Earth Science and Technology, Yogyakarta, 6-7 Agustus 2009.
- Daryono. 2011. Identifikasi Sesar Naik Belakang Busur (Back Arc Thrust) Daerah Bali Berdasarkan Seismisitas dan Solusi Bidang Sesar. Artikel Kebumian, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisik, Jakarta.
- Elnashai, S., & Sarno, L. Di. 2008. Fundamental of Earthquake Engineering. Hongkong: A John Wiley & Sons, Ltd, Publication.
- Febriani, Y. Daruwati, I.& Hantika R.,2013. Analisis PGA dan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Data Mikroseismik Pada Daerah Rawan Gempa Bumi di Kota Bengkulu. Jurnal Ilmiah Edu Research,II(2), pp, 85-90.
- Gregory, K. J., 2010. The Earth's Land surface: Landforms and Process in Geomorphology. London: SAGE Publication Ltd.
- Hadiwidjojo, P., Samodra, H., & Amin, T. 1998. Peta Geologi Lembar Bali, Nusatenggara. Bandung: Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Hu Y.X, Liu S X, Dong W, 1996, Earthquake Engineering, E and F N SPON, London
- Hurukawa, N. 2008. Practical Analysis of Local earthquakes, International Institute of Seismology and Earthquake engineering. Tsukuba, Japan: Building Research Institute.
- Ibrahim, G., & Subardjo. 2004. Pengetahuan Seismologi. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- ichart F.E, Hall J.R, Woods R.D, 1970, Vibrations of Soils and Foundations, Prentice Hall Inc, New Jersey

- Kanamori H, 1983, Magnitude Scale and Quantification of Earthquakes, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam
- Kramer S.L, 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey
- Lay, T., & Wallace, T. C. 1995. Modern Global Seismology. USA: Academic Press.
- Miftahul, Kurniawan. 2016. Pemetaan Tingkat Resiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi di Wilayah Jawa Barat Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum dengan Metode Mc. Guirre. R.K. Malang:UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Noor, Djauhari. 2012. Pengantar Geologi. Bogor: Pakuan University Press.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa tahun 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman: Bandung
- Press, F. & R. Siever. 1986. Earth. 4th Edition. W.H. Freeman and Company. New York
- Pribadi, E., 2010. Delineasi zona rekahan pada reservoir Geothermal melalui Pengamatan Mikroseismik. Depok: Universitas Indonesia.
- Santoso, D., 2002, Pengantar Teknik Geofisika. ITB: Bandung
- Susilawati. 2008. Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Syamsuddin, M. 2017. Analisis Percepatan Tanah Maksimum Pada Provinsi Jawa Timur Menggunakan Metode Fukushima. Malang: Universitas Brawijaya.
- Widodo, P. 2012. Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan. Yogyakarta: Pustaka Pelajar
- Yanuarsih, T. 2012. Relokasi Gempabumi Utama dan Gempa Susulan Menggunakan Metode MJHD (Studi Kasus Mentawai 25 Oktober 2010). Depok: Universitas Indonesia.