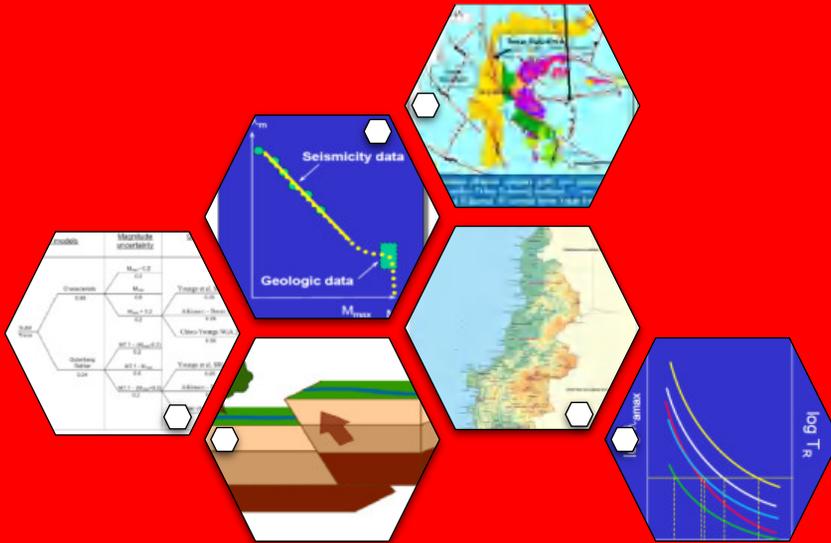


**IDENTIFIKASI ZONA RAWAN GEMPA PROVINSI SULAWESI BARAT  
UNTUK MITIGASI BENCANA DENGAN METODE *PROBABILISTIC  
SEISMIC HAZARD ANALYSIS (PSHA)***



**AHMAD HIDAYAH  
H061 20 1001**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA  
AS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**IDENTIFIKASI ZONA RAWAN GEMPA PROVINSI SULAWESI BARAT  
UNTUK MITIGASI BENCANA DENGAN METODE *PROBABILISTIC  
SEISMIC HAZARD ANALYSIS* (PSHA)**

**AHMAD HIDAYAH  
H061 20 1001**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA  
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**IDENTIFIKASI ZONA RAWAN GEMPA PROVINSI SULAWESI BARAT  
UNTUK MITIGASI BENCANA DENGAN METODE *PROBABILISTIC  
SEISMIC HAZARD ANALYSIS* (PSHA)**

**AHMAD HIDAYAH  
H061 20 1001**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Geofisika

pada



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA  
DEPARTEMEN GEOFISIKA  
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SKRIPSI****IDENTIFIKASI ZONA RAWAN GEMPA PROVINSI SULAWESI BARAT  
UNTUK MITIGASI BENCANA DENGAN METODE *PROBABILISTIC  
SEISMIC HAZARD ANALYSIS (PSHA)***

yang telah disusun dan diajukan oleh

**AHMAD HIDAYAH**  
**H061 20 1001**

Skripsi,

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Sarjana Geofisika pada tanggal 17  
September 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan  
pada

Program Studi Geofisika  
Departemen Geofisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

Mengesahkan:



Akhir,

ii, M.Si  
031003

Mengetahui:

Ketua Departemen,



Dr. Muh. Alimuddin H. Assegaf, M.Eng  
NIP.19709291993031003

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Identifikasi Zona Rawan Gempa Provinsi Sulawesi Barat untuk Mitigasi Bencana dengan Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Ir. Bambang Harimeji, M.Si sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 27 September 2024



**AHMAD HIDAYAH**  
**H061 20 1001**



## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si** selaku pembimbing utama yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, nasehat dan motivasi kepada penulis hingga terselesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Muhammad Fikri Hayqal Hiola, S.Tr, M.Si** selaku pembimbing penulis di BMKG Stasiun Geofisika Gowa yang telah tulus dan memberikan waktu untuk membimbing penulis di sela – sela kesibukannya.
3. Bapak **Drs. Erfan, M.Si** dan Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si, MT** selaku dosen penguji pada seminar hasil dan sidang skripsi, terima kasih atas segala kritik dan saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Muhammad Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen, Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Saadudin, S.Pd, M.Sc** selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu, memberikan saran dan motivasi selama perkuliahan serta penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh **Dosen Departemen Geofisika, Staf Departemen Geofisika dan Staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam** atas segala ilmu yang telah diajarkan serta pelayanan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.
7. Kedua orang tua tercinta Ayahanda **Muhammad Kelderak, S.Pd** dan Ibunda **Sumiati, S.Pdi** yang sangat luar biasa mendidik, mengorbankan waktu, mendukung dan mendoakan saya dalam mengerjakan skripsi ini.
8. Keluarga saya, terutama kedua kakak saya **Samawati Kelderak** dan **Hilal Hamdi Kelderak** serta adik saya **Aiya Mustaqim Kelderak** yang selalu memberikan semangat dalam mengerjakan skripsi ini.
9. Teman – teman seperjuangan di **Geofisika 2020 (Asmawan, Faiz, Alghi, Awi, Merli, Toktok, Dire, Ansyah, Ime, Astri, Regita, Iis, Salsa, Emi, Tazkia, Resti, Icha, Milka, Izzah, Aini, Alif, Angel, Arpah, Asi, Aurel, Aza, Echa, Cholis, Defina, Ema, Fadia, Golo, Guntur, Hasna, Ical, Ima, Indah, Vela, Mifta, Nikom, Nisa, Rezky, Rianul, Riska, Selfi, Tiwi, n, Yonas, Yudi, Agung, Fira, Gery, Qalby, Umi, Hamman, dan Ipul)**, terima kasih telah berjuang bersama – sama dari mahasiswa sampai menyelesaikan pendidikan S1 Geofisika. an **Pejuang Skripsi (Dire, Ema, Aini, Nisa, dan Hasna)** yang in menjadi *support system* selama perkuliahan dan menyusun



11. Teman – teman **Dapur Sigma (Bayu, Furqan dan Sobirin)** yang menemani berbagi cerita dan memberi semangat satu sama lain.
12. Teman – teman **Student Volunteer dan Keluarga Besar Kantor Urusan Internasional Universitas Hasanuddin (Indra, Rean, Farid, Fitrah, Fio, Jasmine, Naurah, Rizka, Sonia, Uga, Cahya, Kak Gilang, Kak Keyla, Kak Tory, Kak Kiki, Kak Dewa, Kak Ira, Kak Ical, Kak Afifah, Kak Irfan, Ibu Risti, Ibu Rafika, Ibu Arni, Ibu Nasrah, Ibu Citha, Pak Ridho, Pak Heru dan Pak Jamal)** yang menjadi tempat berbagi cerita dan selalu mendukung penulis selama perkuliahan ini.
13. Teman – teman **Scholars (Agung dan Yusuf)** yang selalu memberikan motivasi dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Teman – teman **KP BMKG TEWS (Tazkia, Riska, Redondo, Rianul, Sari, Ayu, Risda dan Agustin)** yang telah membantu dan membersamai selama Kerja Praktik.
15. Teman – teman **Ekspedisi Sapanang (Farhan, Lorca, Yayat, Hairul, Dhika, Nisa, Rizka, Pipi, Sisi, Sasa, dan Risma)** yang selama 40 hari masa KKN hingga saat ini memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
16. Teman – teman **SMA (Faqih, Fahrizal, Alldy, Yuli, dan Ilma)** yang menjadi tempat cerita dan dan memberi semangat satu sama lain.
17. **Ahmad Hidayah** selaku penulis dari skripsi ini yang sudah berjuang sampai di titik ini dan tetap bertahan dari segala tekanan yang ada serta tetap semangat hingga bisa menyelesaikan skripsi ini.

serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih untuk semuanya.

Makassar, 27 September 2024  
Penulis



Ahmad Hidayah



## ABSTRAK

AHMAD HIDAYAH. **Identifikasi Zona Rawan Gempa Provinsi Sulawesi Barat untuk Mitigasi Bencana dengan Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)** (dibimbing oleh Ir. Bambang Harimeji, M.Si).

**Latar Belakang.** Daerah Sulawesi Barat merupakan salah satu kawasan rawan bencana gempa bumi di Indonesia. Salah satu penyebab gempa bumi di wilayah tersebut karena adanya sesar naik berasosiasi dengan lipatan atau dikenal dengan sebutan Mamuju-Majene *Fold Thrust Belt* (FTB). Sesar naik ini umumnya bergerak dari arah utara ke selatan, melintasi perairan hingga daratan Sulawesi Barat. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan menggunakan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dan menganalisis zona rawan gempa berdasarkan kurva bahaya gempa di Sulawesi Barat. **Metode.** Penelitian ini menggunakan data gempa dari katalog BMKG dan USGS selama periode 1973–2023. Adapun tahap penelitiannya mulai dari identifikasi pemodelan sumber gempa, karakterisasi sumber gempa, penentuan *logic tree* dan fungsi atenuasi serta analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) berupa peta *hazard* dan kurva *hazard*. **Hasil.** Analisis bahaya gempa di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2 % dalam 50 tahun (periode ulang gempa 2475 tahun) pada Wilayah Sulawesi Barat diperoleh rentang nilai percepatan yaitu 0.1 – 0.9 g untuk PGA, 0.4 – 2.5 g untuk periode pendek ( $T = 0.2$  detik), dan 0.1 – 0.7 g untuk periode panjang ( $T = 1$  detik). **Kesimpulan.** Analisis PSHA menunjukkan bahwa nilai PGA yang tinggi, dominan berada pada Kabupaten Mamuju Utara, Mamuju Tengah, dan Mamuju. Hal ini disebabkan karena ketiga kabupaten tersebut paling dekat dengan sumber sesar, diantaranya adalah sesar Palukoro dan sesar Selat Makassar.

**Kata kunci:** *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*, percepatan tanah maksimum, spektra percepatan, gempa bumi, mitigasi bencana



## ABSTRACT

AHMAD HIDAYAH. **Identification of Earthquake-Prone Zones in West Sulawesi Province for Disaster Mitigation Using the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) Method** (supervised by Ir. Bambang Harimei, M.Si).

**Background.** West Sulawesi is one of the earthquake-prone areas in Indonesia. One of the causes of earthquakes in this region is the presence of a thrust fault associated with folding, known as the Mamuju-Majene Fold Thrust Belt (FTB). This thrust fault generally moves from north to south, crossing both the waters and the land of West Sulawesi. **Objective.** This study aims to determine the Peak Ground Acceleration (PGA) using the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) method and to analyze earthquake-prone zones based on the seismic hazard curve in West Sulawesi. **Method.** This study uses earthquake data from the BMKG and USGS catalogs for the period 1973 – 2023. The research stages include identifying the earthquake source model, characterizing the earthquake source, determining the logic tree and attenuation function, and conducting the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) in the form of hazard maps and hazard curves. **Results.** The seismic hazard analysis in the bedrock for a 2% probability of exceedance in 50 years (earthquake recurrence period of 2475 years) in West Sulawesi shows a range of acceleration values: 0.1 – 0.9 g for PGA, 0.4 – 2.5 g for short periods ( $T = 0.2$  seconds), and 0.1 – 0.7 g for long periods ( $T = 1$  second). **Conclusion.** The PSHA analysis indicates that the highest PGA values are predominantly in North Mamuju, Central Mamuju, and Mamuju Regencies. This is due to the close proximity of these regencies to fault sources, including the Palukoro Fault and the Makassar Strait Fault.

**Keywords:** Probabilistic Seismic Hazard Analysis, peak ground acceleration, spectral acceleration, earthquake, disaster mitigation



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
SKRIPSI .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Dan Manfaat .....	2
1.2.1 Tujuan.....	2
1.2.2 Manfaat.....	2
1.3 Landasan Teori.....	2
1.3.1 Struktur Geologi Sulawesi.....	2
1.3.2 Sulawesi Barat.....	3
1.3.2.1 Sejarah Gempa Bumi di Sulawesi Barat .....	4
1.3.3 Gempa Bumi.....	5
1.3.4 Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa.....	6
1.3.5 Karakterisasi Sumber Gempa.....	7
1.3.5.2 Magnitudo Maksimum dan <i>Slip Rate</i> .....	8
1.3.6 Peak Ground Acceleration (PGA) .....	8
1.3.7 Analisis Resiko Gempa.....	8
1.3.8 Fungsi Atenuasi .....	9
1.3.9 Logic Tree.....	10
 eismic Hazard Analysis (PSHA) .....	12
<b>REVISI PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
.....	15
.....	15
.....	15

2.2.2 Bahan .....	16
2.3 Pengumpulan Data .....	16
2.4 Pengolahan Data .....	16
2.4.1 Konversi Skala Magnitudo .....	16
2.4.2 Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa.....	16
2.4.3 Karakterisasi Sumber Gempa.....	17
2.4.4 Penentuan Fungsi Atenuasi.....	19
2.4.5 Logic Tree.....	19
2.4.6 Analisis Seismik Hazard .....	20
2.5 Bagan Alir Penelitian .....	20
<b>BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 Analisis <i>Probabilistic Seismic Hazard</i> .....	21
3.1.1 Percepatan Tanah Maksimum di Batuan Dasar .....	21
3.1.2 Percepatan Tanah di Batuan Dasar Pada Kondisi Spektra 0.2 Detik .....	22
3.1.3 Percepatan Tanah di Batuan Dasar Pada Kondisi Spektra 1 Detik .....	23
3.2 Perbandingan dengan Hasil Penelitian SNI 2017 .....	25
3.2.1 Percepatan Tanah Maksimum di Batuan Dasar (PGA).....	25
3.2.2 Percepatan Tanah Maksimum T = 0.2 Detik.....	25
3.2.3 Percepatan Tanah Maksimum T = 1 Detik.....	26
3.3 Kurva Bahaya Gempa ( <i>Seismic Hazard Curve</i> ).....	27
3.3.1 Kurva Bahaya Gempa Kabupaten Mamuju Utara .....	27
3.3.2 Kurva Bahaya Gempa Kabupaten Mamuju Tengah .....	28
3.3.3 Kurva Bahaya Gempa Kabupaten Mamuju.....	29
3.3.4 Kurva Bahaya Gempa Kabupaten Polewali Mandar .....	29
<b>BAB IV KESIMPULAN .....</b>	<b>31</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>32</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>34</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Peta Tektonik dan Geologi Pulau Sulawesi.....	3
<b>Gambar 2.</b> Peta Geologi Provinsi Sulawesi Barat.....	4
<b>Gambar 3.</b> Model <i>Logic Tree</i> Sumber Gempa Patahan.....	11
<b>Gambar 4.</b> Model <i>Logic Tree</i> Sumber Gempa Subduksi.....	11
<b>Gambar 5.</b> Model <i>Logic Tree</i> Sumber Gempa <i>Background</i> .....	12
<b>Gambar 6.</b> Bentuk Kurva <i>Seismic Hazard</i> dan Aplikasinya pada Perkiraan Desain PGAd untuk Periode Waktu $T_d$ dan Probabilitas Kejadian $P_d$ .....	13
<b>Gambar 7.</b> Bentuk Kurva <i>Seismic Hazard</i> dan Aplikasinya pada Perkiraan Desain PGAd untuk Periode Waktu $T_d$ dan Probabilitas Kejadian $P_d$ .....	13
<b>Gambar 8.</b> Peta Lokasi Penelitian.....	15
<b>Gambar 9.</b> Peta Patahan dan Subduksi Daerah Sulawesi Barat dan Sekitarnya..	17
<b>Gambar 10.</b> Bagan Alir Penelitian.....	20
<b>Gambar 11.</b> Peta Percepatan Tanah di Batuan Dasar (PGA) Provinsi Sulawesi Barat untuk Probabilitas Terlampaui 2 % dalam 50 Tahun.....	22
<b>Gambar 12.</b> Peta Percepatan Tanah di Batuan Dasar (PGA) Provinsi Sulawesi Barat Pada Kondisi Spektra $T = 0.2$ detik untuk Probabilitas Terlampaui 2 % dalam 50 Tahun.....	23
<b>Gambar 13.</b> Peta Percepatan Tanah di Batuan Dasar (PGA) Provinsi Sulawesi Barat Pada Kondisi Spektra $T = 1$ detik untuk Probabilitas Terlampaui 2 % dalam 50 Tahun.....	24
<b>Gambar 14.</b> Peta Percepatan Tanah di Batuan Dasar (PGA) untuk Probabilitas Terlampaui 2 % dalam 50 Tahun.....	25
<b>Gambar 15.</b> Peta Percepatan Tanah di Batuan Dasar $T = 0.2$ detik untuk Probabilitas Terlampaui 2 % dalam 50 Tahun.....	26
<b>Gambar 16.</b> Peta Percepatan Tanah di Batuan Dasar $T = 1$ detik untuk Probabilitas Terlampaui 2 % dalam 50 Tahun.....	27
<b>Gambar 17.</b> Kurva Hazard Kabupaten Mamuju Utara.....	28
<b>Gambar 18.</b> Kurva Hazard Kabupaten Mamuju Tengah.....	28
<b>Gambar 19.</b> Kurva Hazard Kabupaten Mamuju.....	29
<b>Gambar 20.</b> Kurva Hazard Kabupaten Polewali Mandar.....	30



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Katalog Kejadian Gempa Bumi Merusak Daerah Sulawesi Barat .....	4
<b>Tabel 2.</b> Hubungan parameter – parameter resiko gempa .....	9
<b>Tabel 3.</b> Konversi Magnitudo .....	16
<b>Tabel 4.</b> Parameter sumber gempa subduksi di radius 500 km dari Sulawesi Barat .....	17
<b>Tabel 5.</b> Parameter sumber gempa sesar di radius 500 km dari Sulawesi Barat ..	17
<b>Tabel 6.</b> Fungsi Atenuasi .....	19



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Contoh Perhitungan Manual .....	34
<b>Lampiran 2.</b> Tabel Nilai Percepatan Tanah Maksimum (PGA) Provinsi Sulawesi Barat untuk Probabilitas Terlampaui 2 % dalam 50 Tahun .....	41
<b>Lampiran 3.</b> Peta Percepatan Tanah Maksimum Provinsi Sulawesi Barat untuk Probabilitas Terlampaui 10 % dalam 50 Tahun .....	51



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pulau Sulawesi berada pada pertemuan tiga lempeng diantaranya pertemuan lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Lempeng tersebut saling menumbuk sehingga mengakibatkan wilayah pulau Sulawesi dan sekitarnya memiliki kondisi geologi yang sangat kompleks. Dampak dari tumbukan lempeng tektonik ini juga dapat mengakibatkan Pulau Sulawesi menjadi wilayah yang sangat rentan terhadap bencana gempa bumi. Pulau Sulawesi dan sekitarnya, khususnya daerah bagian barat yang letaknya di darat maupun di laut merupakan daerah yang dekat dengan sumber gempa bumi dan penyebab tsunami akibat proses tektonik (Indri et al., 2022).

Daerah Sulawesi Barat merupakan salah satu kawasan rawan bencana gempa bumi di Indonesia. Salah satu penyebab gempa bumi di wilayah tersebut karena adanya sesar naik berasosiasi dengan lipatan atau dikenal dengan sebutan Mamuju-Majene *Fold Thrust Belt* (FTB). Sesar naik ini umumnya bergerak dari arah utara ke selatan, melintasi perairan hingga daratan Sulawesi Barat (Baillie & Decker, 2022).

Sejarah kebencanaan mencatat bahwa bencana gempa bumi yang terjadi di Sulawesi Barat pada tanggal 15 Januari 2021 bukanlah yang pertama kali terjadi, Sulawesi Barat setidaknya pernah terjadi gempa bumi  $M \geq 6$  SR terjadi pada tahun 1820, 1969, 1976, 1984. Gempa tersebut menimbulkan banyak korban jiwa dan luka – luka. Hal ini disebabkan karena gempa bumi yang terjadi juga memicu tsunami (Hartono et al., 2021).

Oleh sebab itu, perlu adanya perhatian khusus untuk wilayah Sulawesi Barat yang tidak lepas dari pengaruh bencana gempa tersebut mengingat hingga sekarang gempa merupakan bencana yang belum dapat diprediksi baik waktu, kekuatan maupun tempat kejadian. Salah satu upaya untuk meminimalisir dampak bencana gempa adalah dengan membuat peta bahaya gempa yang tercermin dalam peta percepatan tanah. Metode yang digunakan dalam pemetaan bahaya gempa yaitu *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) yang akan digunakan dalam penelitian ini. Keunggulan dari metode PSHA adalah memperhitungkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis, seperti ukuran, lokasi, dan frekuensi sehingga faktor-faktor ketidakpastian ini dapat diidentifikasi, dilengkapi dengan pendekatan yang rasional untuk memperoleh informasi lebih lengkap tentang kejadian gempa, serta mampu memprediksi bahaya gempa di suatu lokasi terhadap berbagai sumber gempa



## 1.2 Tujuan Dan Manfaat

### 1.2.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan menggunakan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)
2. Menganalisis zona rawan gempa bumi berdasarkan Kurva Bahaya Gempa di Sulawesi Barat

### 1.2.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Peta Percepatan Tanah untuk probabilitas terlampaui 2 % dalam 50 tahun dapat memberikan informasi bahaya gempa di Provinsi Sulawesi Barat
2. Kurva Bahaya Gempa (*Seismic Hazard Curve*) dapat menginformasikan sumber gempa paling dominan di beberapa kabupaten, Provinsi Sulawesi Barat

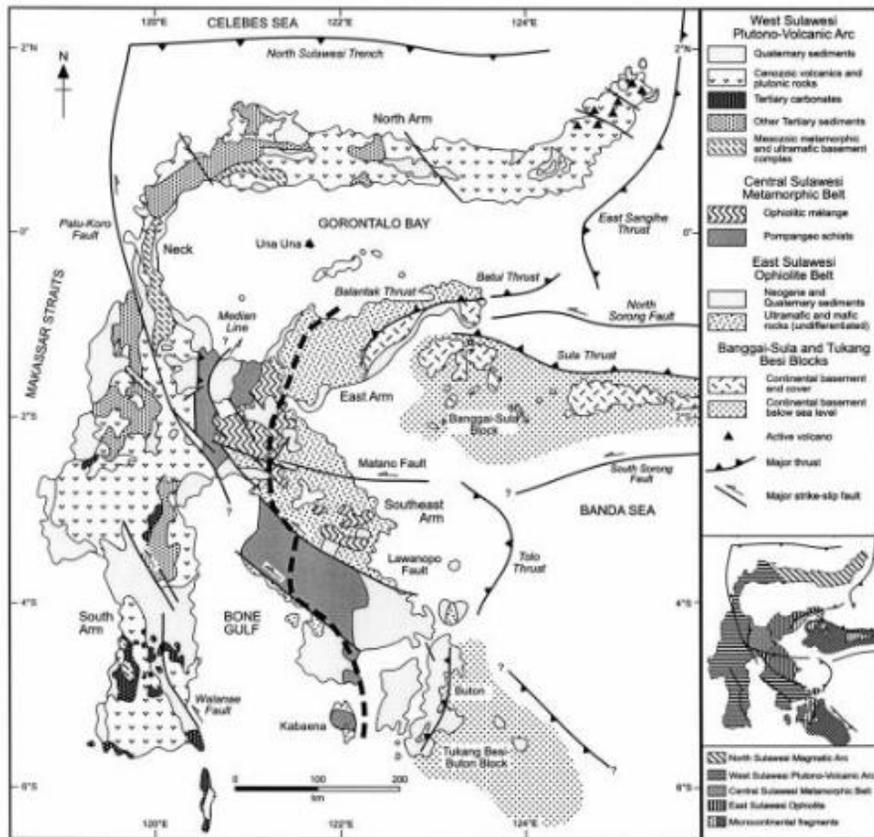
## 1.3 Landasan Teori

### 1.3.1 Struktur Geologi Sulawesi

Sulawesi yang terletak di bagian tengah kepulauan Indonesia dengan luas wilayah sebesar 174.600 km<sup>2</sup>. Pulau ini memiliki bentuk yang khas menyerupai huruf K dengan empat semenanjung yang mengarah ke timur, timur laut, tenggara, dan selatan. Sulawesi berbatasan dengan Borneo di barat, Filipina di utara, Flores di selatan, Timor di tenggara, dan Maluku di timur. Wilayah Sulawesi dan sekitarnya merupakan daerah yang kompleks karena merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar: lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke barat, dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara, serta lempeng kecil lainnya yaitu lempeng Filipina.

Tumbukan antara keempat lempeng tersebut membuat Pulau Sulawesi memiliki empat lengan dengan proses tektonik yang berbeda-beda, membentuk satu kesatuan mosaik geologi. Pulau ini seakan dirobek oleh berbagai sesar seperti sesar Palu-Koro, sesar Poso, sesar Matano, sesar Lawanopo, sesar Walanae, sesar Gorontalo, sesar Batui, sesar Tolo, sesar Makassar, dan lain-lain, yang menyebabkan berbagai jenis batuan bercampur dan membuat posisi stratigrafinya menjadi sangat kompleks Filipina (Sompotan, 2012).





**Gambar 1.** Peta Tektonik dan Geologi Pulau Sulawesi (Hall & Wilson, 2000)

Di bagian utara Sulawesi terdapat palung Sulawesi Utara yang terbentuk akibat subduksi kerak samudera dari Laut Sulawesi, sedangkan di bagian tenggara terdapat sesar Tolo yang merupakan tempat subduksi antara lengan tenggara Sulawesi dengan bagian utara Laut Banda. Kedua struktur utama ini dihubungkan oleh sesar Palu-Koro dan Matano. Di bagian barat Sulawesi terdapat Selat Makassar yang memisahkan Sulawesi bagian barat dengan Busur Sunda (Somptan, 2012).

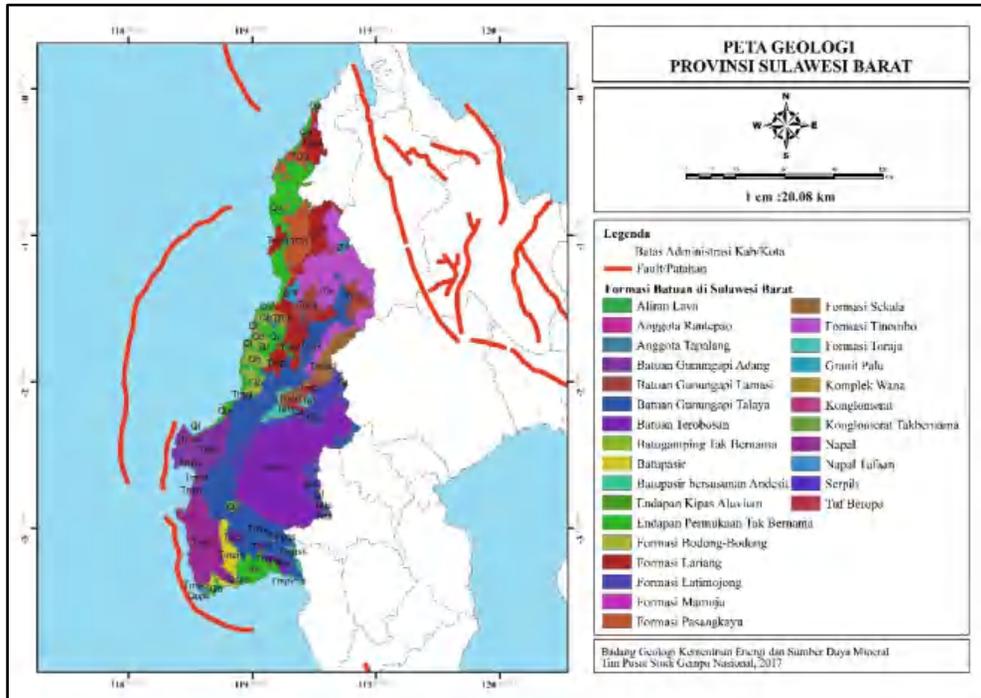
### 1.3.2 Sulawesi Barat

Sulawesi Barat merupakan wilayah yang tergolong aktif tingkat kegempaan yang terdapat di laut dan di darat. Sulawesi Barat memiliki struktur geologi yang terbilang



ki berbagai formasi geologi yang terbentuk pada zaman yang geologi pada daerah Sulawesi Barat diantaranya Formasi kayu dan Mamuju. Kemudian, morfologi Sulawesi Barat morfologi lengan selatan. Bagian utara dari lengan selatan ini rang banyak gunung di Sulawesi. Dari daerah Majene dan pegunungan dari selatan ke utara. Terdiri dari lapisan Tersier,

dengan sebuah penutup rangkaian Pulau karang dekat Majene. Lebih jauh ke timur Massif Granit dari Pegunungan Quarles muncul dengan bagian timur terdapat Gunung Tolondo Kalando (2884 m). Sebagian besar terdiri dari susunan Andesit yang diterobos oleh intrusi Diorit dan Grano-Diorit (Hanafi & Arifin, 2010).



**Gambar 2.** Peta Geologi Provinsi Sulawesi Barat

### 1.3.2.1 Sejarah Gempa Bumi di Sulawesi Barat

Sumber gempa bumi wilayah Sulawesi Barat mulai dari jalur sesar naik yang berarah relatif utara – selatan dan tersebar di laut hingga daratan Sulawesi Barat. Berdasarkan data katalog kejadian gempa bumi merusak di Indonesia, daerah Sulawesi Barat telah mengalami sepuluh kejadian gempa bumi merusak. Empat kejadian diantaranya mengakibatkan terjadinya tsunami, yaitu tahun 1928, 1967, 1969 dan 1984 (Supartoyo et al., 2014).

**Tabel 1.** Katalog Kejadian Gempa Bumi Merusak Daerah Sulawesi Barat (Supartoyo et al., 2014)

No	Waktu Kejadian	Skala MMI	Kerusakan
1	1928	VI-VII	Tsunami melanda daerah Mamuju Utara dan Pasang Karya
2	1967	VII-VIII	Tsunami mengakibatkan 58 orang meninggal, 100 orang luka-luka, 12 orang hilang/tenggelam



3.	23 Februari 1969	VII-VIII	64 orang meninggal, 97 orang luka-luka, 1287 bangunan hancur. Terjadi retakan tanah sepanjang 50 meter. Tsunami diutara Majene, runup mencapai 1,5 – 4 meter
4.	6 September 1972	IV	Kerusakan ringan pada beberapa bangunan
5.	8 Januari 1984	VII	2 orang meninggal, 5 orang luka berat, 84 orang luka ringan, 101 bangunan rusak berat, 236 bangunan rusak sedang, 339 bangunan rusak ringan. Daerah mamuju terjadi longsor dan tsunami
6.	17 Februari 2002	V	Beberapa bangunan rusak di daerah Majene
7.	16 Juni 2010	VII	Muncul retakan tanah disertai semburan gas dan lumpur
8.	29 September 2018	VI	Beberapa bangunan rusak di Mamuju
9.	15 Januari 2021	VII	104 orang meninggal, 6489 orang luka-luka, ratusan bangunan rusak, terjadi retakan tanah, likuifaksi dan longsor.
10.	8 Juni 2022	V	9 orang luka-luka, kerusakan Gedung PLN dan PKK Sulbar di Mamuju

### 1.3.3 Gempa Bumi

Gempa bumi (*earthquake*) adalah getaran di permukaan bumi yang disebabkan oleh peristiwa pergerakan tiba-tiba dari suatu tubuh batuan karena proses pelepasan energi diluar batas elastis batuan (Kumala & Wahyudi, 2016). Gempa bumi di Indonesia seringkali terjadi mengingat Indonesia merupakan tempat pertemuan tiga buah lempeng tektonik yang membentuk jalur-jalur gempa dan jalur vulkanisme yang memberikan dampak begitu besar terhadap distribusi penyebaran gempa di (Santoso, 1997).



at Unggulan Sains Dan Teknologi Kegempaan, 2021) gempa n empat jenis berdasarkan penyebabnya, yaitu: tonik

- Gempa bumi tektonik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas tektonik. Aktivitas tektonik ini meliputi pergeseran lempeng tektonik dan terjadi secara mendadak yang mempunyai kekuatan dari kecil hingga besar.
2. Gempa Bumi Tumbukan  
Gempa bumi tumbukan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh tumbukan meteor atau asteroid yang jatuh ke permukaan bumi.
  3. Gempa bumi Runtuhan  
Gempa bumi runtuhan adalah jenis gempa bumi yang disebabkan oleh runtuhan tanah atau kapur. Pada umumnya gempa bumi ini terjadi di daerah pertambangan atau kapur dan termasuk ke dalam jenis gempa lokal.
  4. Gempa bumi vulkanik (gunung api)  
Gempa bumi vulkanik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas magma dari dalam perut bumi yang umumnya terjadi sebelum gunung meletus. Dimana jika keaktifannya semakin tinggi bisa menimbulkan ledakan yang menyebabkan gempa bumi.

Kemudian, Gempa bumi juga dapat diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan kedalaman hiposentrum gempa bumi, yaitu sebagai berikut (Hartuti, 2009):

1. Gempa bumi dalam yaitu gempa bumi yang terjadi dengan kedalaman hiposentrum  $>300$  km di bawah permukaan bumi.
2. Gempa bumi menengah yaitu gempa bumi yang terjadi dengan kedalaman hiposentrum berkisar antara 60 km sampai 300 km di bawah permukaan bumi.
3. Gempa bumi dangkal yaitu gempa bumi yang terjadi dengan kedalaman hiposentrum  $<60$  km di bawah permukaan bumi.

#### 1.3.4 Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa

Zona sumber gempa didefinisikan sebagai area yang mempunyai derajat gempa yang sama, di setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan yang sama akan terjadinya gempa di masa mendatang (Irsyam et al., 2010). Model sumber gempa diperlukan sebagai hubungan antara kejadian gempa dengan model perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat bahaya gempa bumi. Dalam pemodelan, batasan suatu zona sumber gempa yang digunakan adalah sebagaimana berikut (Sunardi, 2013).

1. Jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dengan batasan hingga 500 km.
2. Kedalaman sumber gempa dengan batasan hingga 300 km.
3. Fungsi atenuasi yang digunakan untuk setiap model adalah fungsi atenuasi sesuai dengan karakteristik kegempaan dan model sumber gempa di Indonesia.



er gempa dalam program *Probabilistic Seismic Hazard* USGS diklasifikasikan dalam tiga jenis zona sumber gempa,

1. Zona subduksi, yaitu zona kejadian gempa yang terjadi di dekat batas pertemuan antara lempeng samudera yang menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Kejadian gempa akibat *thrust fault*, *normal fault*, *reverse slip* dan *strike slip* yang terjadi sepanjang pertemuan lempeng dapat diklasifikasikan sebagai zona subduksi. Dalam penelitian ini, zona subduksi yang dimaksud adalah zona megathrust, yakni sumber gempa subduksi dari permukaan hingga kedalaman 50 km. Untuk sumber subduksi dengan kedalaman lebih dari 50 km (zona *benioff*) akan dimodelkan sebagai sumber *deep background*.
2. Zona *fault*, yaitu zona kejadian gempa patahan dangkal (*Shallow Crustal Fault*) dengan mekanisme *strike-slip*, *reverse*, atau normal yang terjadi pada patahan-patahan yang sudah terdefinisi dengan jelas. Selain itu, terdapat juga informasi *slip rate*, dip, panjang patahan dan lokasinya.
3. Zona *background*, yaitu sumber gempa yang belum diketahui secara jelas, tetapi pada tempat tersebut didapati adanya beberapa kejadian gempa (kejadian gempa yang belum diketahui sesarnya). Dalam program PSHA dari USGS, jika lokasi/posisi *strike* sumber *background* diyakini/diketahui keberadaannya maka sumber dapat dimodelkan sebagai *Fixed-strike*. Sebaliknya jika sumber tersebut tidak diketahui dengan jelas, maka sumber *background* dimodelkan sebagai sumber titik untuk magnitudo kurang dari 6, dan sebagai *random strike* untuk gempa dengan magnitudo lebih dari atau sama dengan 6. Panjang sumber gempa ditentukan dari besarnya magnitudo (Wells & Coppersmith, 1994).

### 1.3.5 Karakterisasi Sumber Gempa

Karakteristik kegempaan suatu wilayah tercermin dalam parameter seismik yang dipergunakan dalam analisis bahaya gempa. Parameter yang digunakan dalam analisis bahaya gempa di antaranya adalah *b-value*, *a-value*, *slip rate*, magnitudo maksimum, jenis mekanisme, dimensi patahan dan lain-lain (Sunardi, 2013).

#### 1.3.5.1 Parameter a-b

Parameter a-b merupakan model matematis yang menggambarkan tentang aktivitas suatu gempa yang terjadi pada batuan dasar di suatu daerah. Parameter a – b didapatkan dari *Gutenberg-richter recurrence relationship* (Gutenberg & Richter, 1944). Nilai a menunjukkan keaktifan seismik yang sedang diamati dan tergantung pada periode pengamatan, luas daerah pengamatan dan tingkat seismisitas di daerah tersebut. Sedangkan nilai b menunjukkan kemiringan atau gradien dari persamaan linier hubungan frekuensi dan magnitudo. Parameter a-b juga dapat

dikatakan sebagai



parameter seismisitas yang menggambarkan karakteristik di suatu daerah.

*berg-Richter*,  $N$  adalah frekuensi terjadinya gempa dengan per satuan waktu, menurun secara eksponensial dengan tudo gempa. Hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

- N = frekuensi terjadinya gempa  
 a = aktivitas seismik  
 b = parameter seismotektonik  
 M = magnitudo gempabumi

### 1.3.5.2 Magnitudo Maksimum dan *Slip Rate*

Magnitudo maksimum merupakan gambaran magnitudo terbesar yang dapat terjadi pada suatu segmen patahan atau wilayah seismotektonik tertentu. Magnitudo maksimum dapat pula ditentukan menggunakan katalog gempa atau hasil yang telah ditentukan oleh peneliti terdahulu.

*Slip rate* merupakan laju pergeseran atau pergerakan relatif di sepanjang patahan geologi per tahun. *Slip rate* diukur dalam satuan kecepatan, biasanya dalam milimeter per tahun (mm/tahun), dan menggambarkan kecepatan akumulasi tegangan tektonik yang akan dilepaskan sebagai gempa bumi. Nilai *slip rate* (laju geser permukaan) merupakan salah satu parameter yang penting dalam proses analisis bahaya kegempaan di suatu wilayah (Sunardi, 2013).

### 1.3.6 *Peak Ground Acceleration* (PGA)

*Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah nilai terbesar dari getaran tanah yang terjadi di suatu lokasi sebagai akibat dari gempa bumi. Sejak lama, nilai maksimum percepatan tanah telah menjadi salah satu parameter utama untuk mengukur kekuatan suatu gempa bumi. Menurut Kramer (1996), percepatan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi mencerminkan gaya inersia yang bekerja pada massa struktur. Gaya inersia ini muncul karena kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya. Namun, hasil ini perlu disesuaikan dengan kondisi geologi dan karakteristik zona seismik di lokasi yang menjadi fokus penelitian (Kumala & Wahyudi, 2016).

Percepatan tanah maksimum dinyatakan dalam  $g$  (*Gravitational Acceleration* =  $g$ ) atau  $m/s^2$  ( $1 g = 9,81 m/s^2$  atau dalam gal, dimana  $1 gal$  sama dengan  $0,01 m/s^2$  atau  $1 g = 981 Gal$ ). Nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan menunjukkan tingkat resiko bencana yang terjadi. Nilainya dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan mitigasi bencana, desain struktur bangunan dan rencana tata ruang. Karena kondisi kompleks yang mempengaruhi PGA gempa bumi berkekuatan sama dapat memberikan hasil yang berbeda dengan banyak gempa bumi berkekuatan moderat menghasilkan nilai PGA signifikan lebih besar dari besar (Irwansyah & Winarko, 2012).



#### o Gempa

mpa dapat dianalisis dengan memperkirakan nilai percepatan ektrem respons di batuan dasar untuk periode ulang tertentu. robabilitas total, dengan mempertimbangkan kemungkinan tentu yang dinyatakan sebagai resiko tahunan (RA), diketahui

bahwa nilai risiko tahunan (RA) ini berbanding terbalik dengan periode ulang rata-rata. Sehingga, didapatkan hubungan seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2) di bawah ini (Sunardi, 2013).

$$T = \frac{1}{R_A} \quad (2)$$

Resiko gempa adalah kemungkinan terlampauinya (*probability of exceedance*) suatu gempa dengan intensitas tertentu serta periode ulang rata-rata tertentu selama suatu masa bangunan. Resiko gempa dapat dinyatakan dalam bentuk sebagaimana pada persamaan (3) di bawah ini.

$$R_n = 1 - (1 - R_A)^N \quad (3)$$

Dimana  $R_n$  merupakan besarnya resiko gempa, sedangkan  $R_A$  merupakan resiko tahunan yang sama dengan  $1/T$ , dan N merupakan masa guna bangunan serta T yang merupakan periode ulang rata – rata gempa.

**Tabel 2.** Hubungan parameter – parameter resiko gempa (SNI 1726:2012)

Annual rate	T (Periode Ulang)	Rn (Nilai resiko gempa)	N (Umur bangunan)
	Tahun	%	Tahun
0.002105	475	10	50
0.000404	2475	2	50
0.000202	4950	2	100

### 1.3.8 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi merupakan suatu fungsi yang menggambarkan hubungan antara intensitas gerakan tanah (I), magnitudo (M) dan jarak (R) dari suatu sumber titik dalam daerah sumber. Secara umum, fungsi atenuasi tergantung pada faktor-faktor berikut antara lain:

1. Tipe mekanisme sumber gempa daerah yang ditinjau.
2. Jarak episenter.
3. Kondisi lapisan kulit bumi yang dilintasi oleh gelombang gempa.
4. Kondisi tanah lokal di sekitar lokasi.

Fungsi atenuasi merupakan suatu fungsi khas yang diturunkan dari data gempa pada suatu daerah tertentu. Sejumlah peneliti telah mempublikasikan beberapa fungsi atenuasi berdasarkan catatan gempa yang pernah terjadi. Namun, hingga saat ini belum ada fungsi atenuasi yang dihasilkan dari catatan gempa di



eh karena itu, untuk analisis *seismic hazard* ini akan digunakan daerah lain yang memiliki kemiripan tektonik dan geologi. Dasar pemilihan fungsi atenuasi yang paling penting adalah tipe kejadian gempa, dimana secara umum dikategorikan menjadi subduksi, zona gempa *background* dan zona gempa *shallow* (Sangape, 2009).

Pada penelitian ini, fungsi-fungsi atenuasi yang digunakan merupakan fungsi-fungsi atenuasi yang dipergunakan dalam Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017), yaitu:

Sumber gempabumi sesar maupun *shallow background* menggunakan fungsi atenuasi:

- Boore-Atkinson NGA (Atkinson, 2008)
- Campbell-Bozorgnia NGA (Campbell & Bozorgnia, 2008)
- Chiou Young NGA (Chiou & Youngs, 2008)

Sumber gempa *Megathrust* menggunakan fungsi atenuasi:

- Geomatrix Subduction (Youngs, 1997).
- Atkinson-Boore BC rock and global subduction (Atkinson & Boore, 2003)
- Zhao, dengan variable  $V_{s30}$  (Zhao et al., 2006)

Sumber gempabumi *deep background* menggunakan fungsi atenuasi:

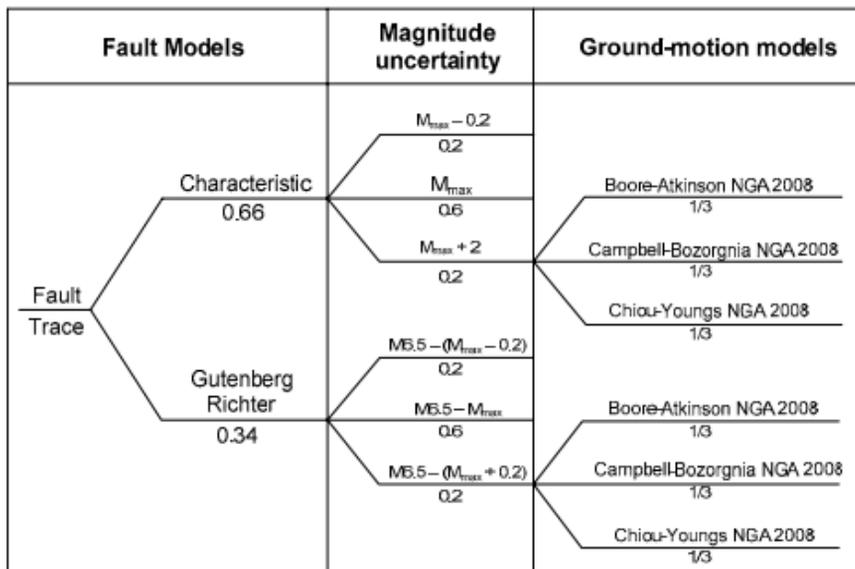
- AB intraslab seismicity Cascadia region BC-rock condition (Atkinson & Boore, 2003)
- Geomatrix slab seismicity rock, 1997 srl 2006 (Young et al., 1997).
- AB 2003 intraslab seismicity worldwide data region BC-rock condition (Atkinson-Boore, Worldwide 2003).

### 1.3.9 Logic Tree

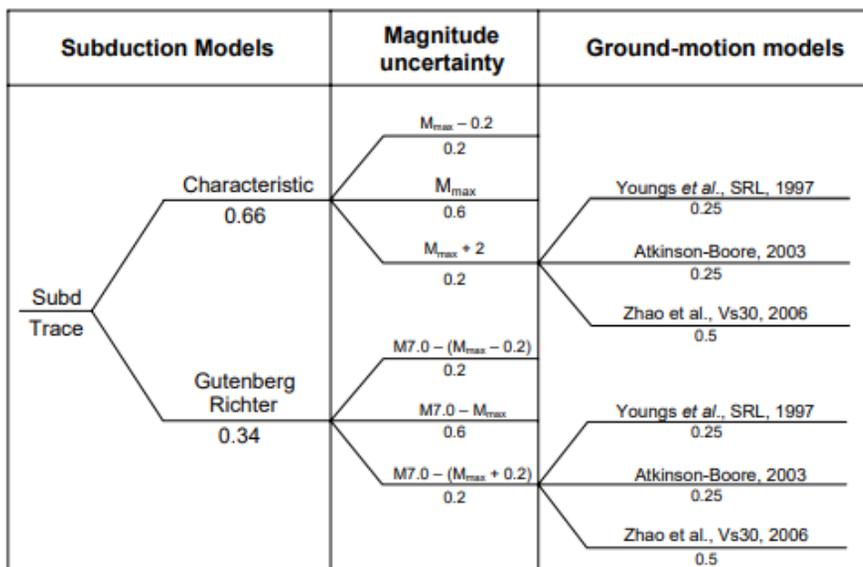
*Logic tree* merupakan suatu metode untuk memperhitungkan seluruh ketidakpastian dalam menentukan parameter-parameter dalam PSHA, yaitu pemilihan *recurrence model*, fungsi atenuasi, *recurrence rate*, dan magnitude maksimum (Kulkarni et al., 1984). Dengan metode ini kebebasan dalam menggunakan berbagai model lebih terkontrol tingkat keakuratannya karena *logic tree* memberikan faktor bobot yang berbeda-beda untuk masing-masing model sehingga antara satu model dengan model lainnya dapat dilakukan komparasi akurasi. Dengan *logic tree*, setiap alternatif yang dipilih dalam menentukan parameter-parameter di atas diberi suatu bobot yang menggambarkan tingkat kepercayaan terhadap parameter yang digunakan. Jumlah faktor bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan satu.

Dalam menggunakan *logic tree*, satu analisis resiko gempa diselesaikan untuk kombinasi model dan atau parameter yang berkaitan dengan tiap ujung cabang. Hasil tiap analisis diberikan oleh nilai bobot kemungkinan relatif dari dengan hasil akhir diambil sebagai penjumlahan dari nilai bobot setiap node *logic tree* dalam analisis bahaya gempa bumi ditunjukkan (Sengara et al., 2008).



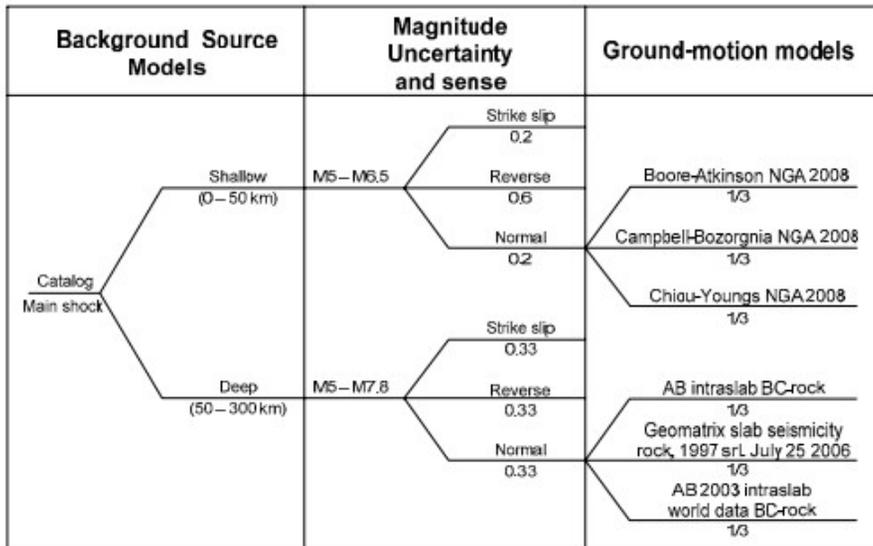


Gambar 3. Model Logic Tree Sumber Gempa Patahan



Gambar 4. Model Logic Tree Sumber Gempa Subduksi





Gambar 5. Model Logic Tree Sumber Gempa Background

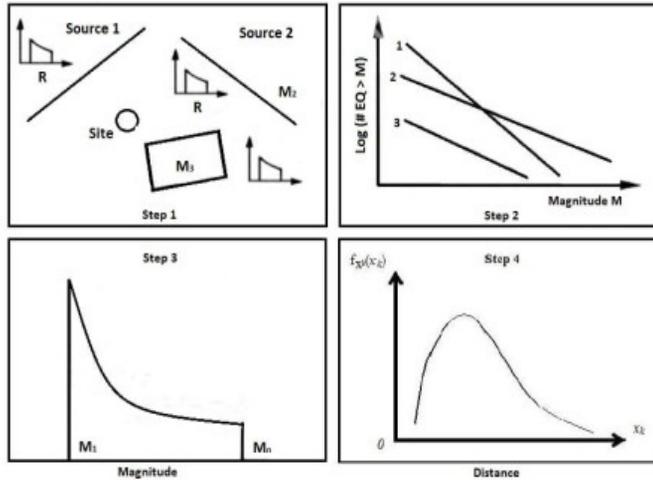
### 1.3.10 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Metode PSHA adalah metode analisis bahaya gempa *probabilistic* dengan memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari magnitudo, lokasi, dan waktu kejadian gempa, sehingga dapat diidentifikasi, diukur dan digabungkan pada suatu hubungan yang rasional untuk menghasilkan gambaran yang lebih detail dalam perhitungan analisis *hazard* gempa.

Reiter (1990) mengusulkan tahapan analisis gempa probalilistik untuk *Peak Ground Acceleration* (PGA) sebagai berikut (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017):

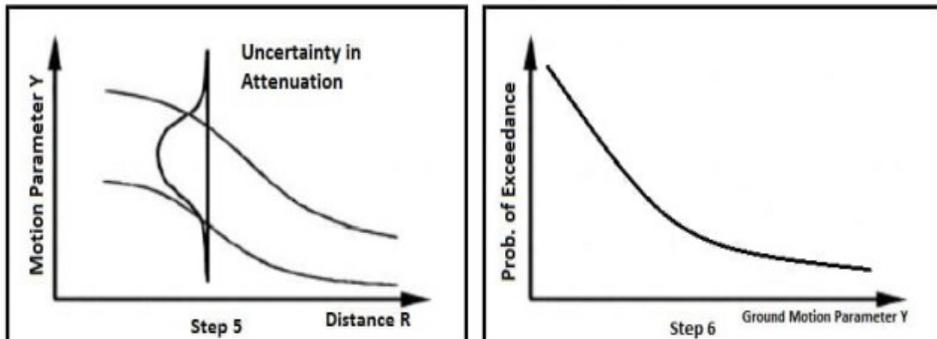
1. Identifikasi sumber-sumber gempa yang mempengaruhi suatu lokasi, mengkarakterisasi sumber gempa tersebut, dan membuat model sumber gempa.
2. Menghitung parameter *seismic* untuk setiap sumber gempa, diantaranya seperti a-b parameter atau hubungan antara magnitudo dan jumlah kejadian berdasarkan data historis.
3. Menghitung probabilitas magnitudo (berdasarkan parameter dari poin 2)
4. Memperhitungkan distribusi probabilitas jarak (berdasarkan parameter dari poin nomor 1, dibantu dengan data-data pengukuran dan pencitraan).





**Gambar 6.** Bentuk Kurva *Seismic Hazard* dan Aplikasinya pada Perkiraan Desain PGAd untuk Periode Waktu  $T_d$  dan Probabilitas Kejadian  $P_d$  (Reiter, 1990)

5. Menghitung percepatan maksimum pada suatu lokasi akibat kejadian gempa yang mungkin terjadi pada setiap titik sumber gempa dengan berbagai magnitudo yang mungkin terjadi. Langkah ini ditentukan dengan menggunakan fungsi atenuasi dengan memasukkan pula ketidakpastiannya.
6. Menentukan ketidakpastian kejadian gempa, besaran dan prediksi percepatan maksimum lokasi untuk menghasilkan probabilitas terlampauinya percepatan yang dimaksud dalam jangka waktu tertentu.



**Gambar 7.** Bentuk Kurva *Seismic Hazard* dan Aplikasinya pada Perkiraan Desain PGAd untuk Periode Waktu  $T_d$  dan Probabilitas Kejadian  $P_d$  (Reiter, 1990)



: kalkulasi gempa pada peta gempa pusat nasional. Dalam ikan bahwa magnitudo  $M$  dan jarak  $R$  sebagai variabel yang ang menerus. Bentuk umum teori probabilitas total dapat 'samaan sebagai berikut:

$$P[I \geq i] = \int_r \int_m P[I \geq i | M \text{ dan } R]. f_M(m). f_R(r) dm dr \quad (4)$$

dimana :

$f_M$  : fungsi distribusi dari magnitudo

$f_R$  : fungsi distribusi dari jarak hiposenter

$P[I \geq i | m \text{ dan } r]$  : probabilitas bersyarat dari intensitas  $I$  yang melampaui nilai  $i$  pada suatu lokasi yang ditinjau untuk kejadian gempa dengan magnitudo  $M$  dan jarak hiposenter  $R$  (Asrurifak et al., 2010).



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)