

**TUGAS AKHIR**

**STUDI KEGEMPAAN KOTA MAMUJU DENGAN METODE  
*DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS***

***SEISMIC STUDY OF MAMUJU CITY USING DETERMINISTIC  
SEISMIC HAZARD METHOD***

**CINDY ROFAANY RANTESALU  
D011 17 1002**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2021**

# LEMBAR PENGESAHAN

## LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

### STUDI KEGEMPAAN KOTA MAMUJU DENGAN METODE DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS

Disusun dan diajukan oleh:

**CINDY ROFAANY RANTESALU**

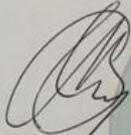
**D011 17 1002**

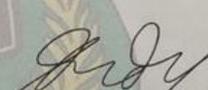
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 06 September 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

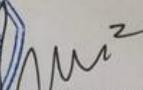
Pembimbing Pendamping,

  
**Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, Msc, Ph.D**  
NIP. 196007301986031003

  
**Dr. Eng. Ardy Arsvad, ST, M.Eng.Sc**  
NIP. 197607072005011002

Ketua Program Studi,



  
**Prof. Dr. H. M. Whardi Tiaronge, ST, M.Eng**  
NIP. 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

### PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cindy Rofaany Rantesalu  
NIM : D011 17 1002  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

#### **Studi Kegempaan Kota Mamuju dengan Metode Deterministic Seismic Hazard Analysis**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, 15 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan,

  
Cindy Rofaany Rantesalu  
NIM : D011 17 1002



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yesus atas kebijakan dan berkatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hassanuddin.

Tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat dan mudah. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagi pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu, ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu mama **Arni Bittikaka** dan papa **Rombe Rantesalu** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik secara materil maupun spiritual karena penulis tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini jika tanpa nasihat, motivasi dan do'anya yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Tuhan Yesus.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng,** selaku Ketua dan Bapak Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T, selaku Sekretaris Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak **Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T.** selaku Kepala Laboatorium Riset Geoteknik Lingkungan yang telah memberikan wawasan tambahan kepada penulis.
5. Bapak **Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D** selaku dosen pembimbing I, atas segala arahan dan bimbingan serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
6. Bapak **Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc** selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
7. Bapak **Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T** selaku Kepala Laboatorium Mekanika Tanah yang telah memberikan wawasan tambahan selama penulis menjadi asisten laboratorium.
8. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar yang telah banyak membantu dalam mendukung penulisan tugas akhir ini.
9. Keluarga besar **Laboratorium Mekanika Tanah**, Kak Zainal, Kak Thasya, Kak Mutia, Kak Gery, Kak Anto, Adam, Marchel,

Hasriyanti, Hasnidar, Alwan, Baso, Asmud, Egi, Novy, Meca, dan Feby.

10. Sahabat sehati seperjuangan, **Jaynart Hizkia Papalangi** yang setia di setiap kondisi melewati proses pengerjaan skripsi ini yang tentu tidak mudah bagi saya membagi focus dalam setiap kegiatan yang saya lalui.
11. **Teman-teman KKD Geoteknik**, terkhusus Anggraini Hamzah dan Oktavianne Pabendan, yang selama pengerjaan skripsi ini selalu memberikan support satu sama lain agar dapat menyelesaikan bersama-sama studi kasus kami.
12. Tim **“HORE” Nurul Annisa, Andi Safira, dan Nurul Putri Awaliah** yang senantiasa mendampingi dalam segala situasi selama perkuliahan di Fakultas Teknik sehingga masa kuliah menjadi lebih berwarna.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan yang telah diberikan, dan dukungan hingga terselesainya skripsi ini.

Tiada kata yang dapat mendeskripsikan rasa terima kasih penulis selain memohon kepada Tuhan Yang Maha Kuasa agar selalu melimpahkan berkat-Nya kepada kita semua, Amin. Akhir kata penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan sehingga dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, Agustus 2021

Cindy Rofaany Rantesalu

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xii
ABSTRAK.....	xvi
ABSTRACK .....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
A. Latar Belakang .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
B. Rumusan Masalah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
A. Definisi Gempa Bumi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
B. Sejarah Gempa Indonesia.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
C. Analisis Seismic Hazard .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
D. Teori Deterministic Seismic Hazard Analysis.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>defined.</b>	
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
A. Lokasi Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
B. Pengumpulan Data.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
C. Peralatan yang digunakan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

D. Prosedur Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
E. Analisa Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
F. <i>Flow Chart</i> Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
A. Gambaran Lokasi Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
B. Analisa DSHA Kota Mamuju .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
C. Desain Respon Spektrum Kota Mamuju	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>defined.</b>	
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
A. Kesimpulan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
B. Saran .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR PUSTAKA.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Tektonik Wilayah Indonesia dari Data Geodeti hingga Tahun 2016, Vektor Kecepatan Pada Referensu Sistem ITRF 2008.....	7
Gambar 2. Peta sumber gempa Indonesia (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010). Berikut ialah merupakan nama-nama dari setiap sesar yang ada di Indonesia dan juga menunjukkan pergerakan permukaan tanahnya .....	8
Gambar 3. Gempa di Indonesia hadil relokasi hingga 2016 (Katalog PuSGen, 2016) .....	9
Gambar 4. a) Gambar kiri merupakan tatanan tektonik Pulau Sulawesi (Hamilton. 1979), gambar kanan merupakan pembagian segmentasi Sesar Palu Koro (Bellier et al., 2001). b) Peta sebaran pusat gempabumi merusak dan tahun kejadian di Pulau Sulawesi (Supartoyo dan Surani, 2008)Peta Tektonik Wilayah Indonesia dari Data Geodeti hingga Tahun 2016, Vektor Kecepatan Pada Referensu Sistem ITRF 2008.....	11
Gambar 5. Peta sesar aktif di Pulau Sulawesi yang Terangkum Dalam Peta Gempa Nasional 2017 .....	12
Gambar 6. Struktur Geologi Regional di Pulau Sulawesi (Daryono, 2016). Vektor pergerakan adalah kompilasi hasil penelitian geodesi deformasi di Sulawesi. Peta dasar menggunakan SRTM 90 m dan ETOPO1 .....	14
Gambar 7. Tahapan proses bahaya gempa dengan metode DSHA .....	17
Gambar 8. Arah gerak batuan pada berbagai macam patahan.....	19
Gambar 9. Penentuan skala local Richter berdasarkan amplitude dan jarak episenter atau waktu tiba gelombang p-s.....	22
Gambar 10.a) Korelasi antara Mb dan Mw dari katalog ISC, BMKG, dan USGS. b) Korelasi antara MS dan MW dari katalog ISC, BMKG,	

dan USGS. c) Korelasi antara ML dan MW dari katalog ISC, BMKG, dan USGS. ....	25
Gambar 11.a) Peta a-value untuk data gempa dari tahun 1991-2016. Hasil a-value dari kedua periode tersebut memberikan pola yang cukup miring. ....	26
Gambar 13. Lokasi Penelitian .....	36
Gambar 14. Gempa yang terjadi sepanjang tahun 1971-2021 di sekitar Kota Mamuju dengan kedalaman 0 - 150 km dan Magnitudo $4.5 < M < 8.0$ (USGS). ....	37
Gambar 15. Gempa yang terjadi sepanjang tahun 1921-2021 di sekitar Kota Mamuju dengan kedalaman 0 – 200 km dan Magnitudo $4.5 < M < 8.0$ (USGS) .....	38
Gambar 16. Buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. ....	38
Gambar 17. Peta geologi Kabupaten Mamuju tengah 2019.....	39
Gambar 18. Peta Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan VS30 Gempabumi Mamuju – Sulawesi Barat Tahun 2021.....	40
Gambar 19. Patahan-patahan yang mempengaruhi kejadian gempa di sekitar Kota Mamuju .....	41
Gambar 20. Jarak Makassar Strait – Mamuju Thrust ke Kantor Gubernur Sulawesi Barat.....	53
Gambar 21. Jarak Makassar Strait – Central Thrust ke Kantor Gubernur Sulawesi Barat.....	53
Gambar 22. Jarak Makassar Strait – Somba Thrust ke Kantor Gubernur Sulawesi Barat.....	54
Gambar 23. Jarak Palukoro – Moa (Fault) Thrust ke Kantor Gubernur Sulawesi Barat.....	54
Gambar 24. Jarak Palukoro – Saluki (Fault) Thrust ke Kantor Gubernur Sulawesi Barat.....	55
Gambar 25. Desain Respon Spektrum .....	62

Gambar 26. Hasil pengujian boring log and SPT test result yang dilakukan oleh PT. Yodya Karya untuk ground level 0.140 M.....	64
Gambar 27. Hasil pengujian boring log and SPT test result yang dilakukan oleh PT. Yodya Karya untuk ground level 2.814 M.....	65
Gambar 28. Grafik Respon Spektrum Desain Kota Mamuju Pada Tanah Lunak (SE) yang di akibatkan oleh beberapa patahan. ....	74
Gambar 29. Parameter gerak tanah SS, gempa maksimum yang diperimtbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spectrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%). Terlihat di gambar bahwa kota mamuju berada pada zona warna ungu yang memiliki nilai SS sebesar 2,0 – 2,5 g.....	75
Gambar 30. Parameter gerak tanah S1, gempa maksimum yang diperimtbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spectrum respons 1 detik. Terlihat di gambar bahwa kota mamuju berada pada zona warna coklat tua yang memiliki nilai S1 sebesar >1.5 g.....	76
Gambar 31. Grafik Respon Spektrum Desain Kota Mamuju Pada Tanah Lunak (SE).....	81

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data Kejadian Gempa di Sekitar Kota Mamuju dalam Kurun Waktu 50 Tahun.....	13
Tabel 2. Magnitudo Maksimum dan Jarak Sumber Gempa ke Titik Tinjau.....	55
Tabel 3. Percepatan batuan dasar (PGA) 50-percentile di Kota Mamuju berdasarkan sejarah kegempaan.....	56
Tabel 4. Percepatan batuan dasar (PGA) 84-percentile di Kota Mamuju berdasarkan sejarah kegempaan.....	57
Tabel 5. Koefisien Situs $F_{PGA}$ .....	58
Tabel 6. Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726-2019.....	59
Tabel 7. Nilai <i>Peak Surface Acceleration</i> Kota Mamuju 50 percentile ...	60
Tabel 8. Nilai <i>Peak Surface Acceleration</i> Kota Mamuju 84 percentile ..	60
Tabel 9. Nilai $S_S$ dan $S_1$ untuk setiap segment.....	63
Tabel 10. Koefisien situs, $F_a$ (SNI 1726-2019).....	67
Tabel 11. Nilai $S_{MS}$ Kota Mamuju.....	68
Tabel 12. Koefisien Situs, $F_V$ .....	68
Tabel 13. Nilai $S_{M1}$ Kota Mamuju.....	69
Tabel 14. Nilai $S_{DS}$ Kota Mamuju.....	70
Tabel 15. Nilai $S_{D1}$ Kota Mamuju.....	70
Tabel 16. Nilai $T_0$ Kota Mamuju.....	70
Tabel 17. Nilai $T_S$ Kota Mamuju.....	71
Tabel 18. Hubungan T dan $S_a$ pada kelas situ SE (Tanah Lunak) Kota Mamuju pada Segmen Palukoro Fault – Saluki.....	72
Tabel 19. Hubungan T dan $S_a$ pada kelas situ SE (Tanah Lunak) Kota Mamuju pada Segmen Palukoro Fault – Moa.....	72
Tabel 20. Hubungan T dan $S_a$ pada kelas situ SE (Tanah Lunak) Kota Mamuju pada Segmen Makassar Strait – Central.....	73

Tabel 21. Hubungan T dan $S_a$ pada kelas situ SE (Tanah Lunak) Kota Mamuju pada Segmen Makassar Strait – Mamuju .....	73
Tabel 22. Hubungan T dan $S_a$ pada kelas situ SE (Tanah Lunak) Kota Mamuju pada Segmen Makassar Strait – Somba .....	74

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Pemakaian Pertama Kali Pada Halaman
<b>PSA</b>	Pseudo-absolute acceleration response spectrum (g)	18
<b>PGA</b>	Peak ground acceleration (g)	18
<b>PGV</b>	Peak ground velocity (cm/s)	18
<b>S<sub>d</sub></b>	Relative displacement response spectrum (cm)	18
<b>M<sub>w</sub></b>	Moment magnitude	18
<b>R<sub>RUP</sub></b>	Closest distance to coseismic rupture (km), used in ASK13, CB13 and CY13. See Figures a, b and c for illustration	18
<b>R<sub>JB</sub></b>	Closest distance to surface projection of coseismic rupture (km). See Figures a, b and c for illustration	18
<b>R<sub>x</sub></b>	Horizontal distance from top of rupture measured perpendicular to fault strike (km). See Figures a, b and c for illustration	18
<b>R<sub>y0</sub></b>	The horizontal distance off the end of the rupture measured parallel to strike (km)	18
<b>V<sub>S30</sub></b>	The average shear-wave velocity (m/s) over a subsurface depth of 30 m	18
<b>U</b>	Unspecified-mechanism factor: 1 for unspecified; 0 otherwise	18

<b>F<sub>RV</sub></b>	Reverse-faulting factor: 0 for strike slip, normal, normal-oblique; 1 for reverse, reverse-oblique and thrust	18
<b>F<sub>NM</sub></b>	Normal-faulting factor: 0 for strike slip, reverse, reverse-oblique, thrust and normal-oblique; 1 for normal	18
<b>Dip</b>	Average dip of rupture plane (degrees)	18
<b>Z<sub>TOR</sub></b>	Depth to top of coseismic rupture (km)	18
<b>Z<sub>HYP</sub></b>	Hypocentral depth from the earthquake	18
<b>Z<sub>1.0</sub></b>	Depth to Vs=1 km/sec	18
<b>Z<sub>2.5</sub></b>	Depth to Vs=2.5 km/sec	18
<b>W</b>	Fault rupture width (km)	18
<b>V<sub>s30flag</sub></b>	1 for measured, 0 for inferred Vs30	18
<b>F<sub>AS</sub></b>	0 for mainshock; 1 for aftershock	18
<b>Region</b>	Specific regions considered in the models, Click on Region to see codes	18
<input type="checkbox"/> <b>DPP</b>	Directivity term, direct point parameter; uses 0 for median predictions	18
<b>PGA<sub>r</sub> (g)</b>	Peak ground acceleration on rock (g), this specific cell is updated in the cell for BSSA14 and CB14, for others it is taken account for in the macros	18
<b>Z<sub>BOT</sub> (km)</b>	The depth to the bottom of the seismogenic crust	18
<b>Z<sub>BOR</sub>(km)</b>	The depth to the bottom of the rupture plane	18
<b>deg</b>	Degree	22

<b>Sa(g)</b>	spektra percepatan dalam	31
<b>F</b>	suatu koefisien untuk menandai style of faulting yang dipakai (F=1 untuk reverse, F = 0,5 untuk oblique dan F=0 untuk tipe fault yang lain)	31
<b>HW</b>	oblique dan F=0 untuk tipe fault yang lain), HW adalah suatu dummy variable (HW=1 untuk site di hingging wall dan HW=0 untuk site di footing wall)	31
<b>S</b>	ialah variable dummy untuk kelas site (nilai S=0 untuk rock dan tanah dangkal dan Ss=1 untuk tanah dalam).	31
<b>h</b>	kedalaman sumber gempa dalam km, bila $h > 100$ maka $h = 100$ km	32
<b>fn</b>	$C_1 + C_2 M$	32
$\Delta$	$0.00724 \times 10^{0.507M}$	32
<b>Sc</b>	1 untuk NEHRP tanah tipe B ( $360 < V_s < 760$ m/dt), dan Sc bernilai 0 untuk tanah tipe lain	33
<b>S<sub>D</sub></b>	1 untuk NEHRP tanah tipe C ( $180 < V_s < 360$ m/dt), dan S <sub>D</sub> bernilai 0 untuk tanah tipe lain	33
<b>S<sub>E</sub></b>	1 untuk NEHRP tanah tipe D ( $V_s < 180$ m/dt), dan S <sub>g</sub> bernilai 0 untuk tanah tipe lain.	33
<b>g</b>	$10^{(1.2 - 0.13M)}$ untuk kejadian <i>interface</i> $g = 10^{(0.30 - 0.01M)}$ untuk kejadian <i>intraslab</i>	33
<b>Y</b>	<i>moment magnitude</i>	34

<b>f-terms</b>	Menunjukkan skala <i>ground motion</i> yang menunjukkan magnitude, attenuasi geometric, model keruntuhan, <i>hanging wall geometry</i> , <i>shallow site response</i> , <i>basin response</i> , <i>hypocentral depth</i> , <i>fault dip</i> , and <i>anelastic attenuation</i> , respectively.	34
$\partial$	sudut <i>dip rupture</i>	36
<b>DPP</b>	<i>direct point</i> parameter untuk directivity effect	36
$\Delta$ <b>DPP</b>	nilai rata-rata DPP	36
$\Delta$ <b>Z<sub>1.0</sub></b>	nilai rata-rata DPP	36

## ABSTRAK

Kota Mamuju sebagai daerah yang dilewati jalur gempa dan berada di daerah rawan gempa dimana gempa bumi ringan hingga berat seringkali terjadi dalam periode waktu yang cukup singkat. Sebagai ibukota Provinsi Sulawesi Barat, kondisi-kondisi tersebut perlu dilakukan studi tentang bahaya kegempaan Kota Mamuju, dimana secara geografis wilayah ini cukup dekat dengan patahan-patahan yang menjadi sumber gempa. Maka nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*), PSA (*Peak Surface Acceleration*), dan desain respon Spektrum untuk beberapa patahan yang sangat mempengaruhi kegempaan kota Mamuju yaitu Makassar Strait Mamuju, Makassar Strait Central, Makassar Strait Somba, Palukoro Moa, dan Palukoro Saluki. Adapun data Kelas Situs tanah, Nilai VS30 dibutuhkan untuk mengetahui jenis tanah yang berada di Kota Mamuju. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegempaan Kota Mamuju dengan metode DSHA (*Deterministic Seismic Hazard Analysis*). Digunakan Excel NGAWest-2 oleh PEER Berkley untuk membantu perhitungan pada penelitian ini. Hasil dari penelitian ini dengan metode DSHA menunjukkan bahwa Kota Mamuju sangat rawan terhadap bahaya gempa. Hal ini ditunjukkan dari hasil analisis dengan menggunakan beberapa persamaan atenuasi. Dengan persamaan-persamaan tersebut diperoleh nilai PGA untuk 50-percentile sebesar 0.4597 g dengan nilai PSA adalah 0.4137 g. Dan untuk nilai PGA untuk 84-percentile adalah 0.9705 g dan nilai PSA adalah 0.8735 g. Adapun kelas tanah Kota Mamuju berdasarkan data-data yang diperoleh kelas situs tanah Kota Mamuju ialah tanah lunak (SE).

## ABSTRACT

*Mamuju city is an area that is passed by the earthquake route and is located in an earthquake-prone area where mild to severe earthquakes often occur in a fairly short period of time. As the capital of West Sulawesi Province, it is necessary to study the seismic hazard of Mamuju City, where geographically this area is quite close to the faults that are the source of the earthquake. Then the value of PGA (Peak Ground Acceleration), PSA (Peak Surface Acceleration), and Spectrum response design for several faults that greatly affect the seismicity of Mamuju city, namely Makassar Strait Mamuju, Makassar Strait Central, Makassar Strait Somba, Palukoro Moa, and Palukoro Saluki. As for the Land Site Class data, the VS30 value is needed to determine the type of soil in Mamuju City. This study aims to analyze the seismicity of Mamuju City using the DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis) method. Excel NGAWest-2 from PEER Berkley to assist the calculations in this research. The results of this study using the DSHA method indicate that the city of Mamuju is very prone to earthquake hazards. This is shown from the results of the analysis using several attenuation equations. With these equations, the PGA value for 50-percentile is 0.4597 g and the PSA value is 0.4137 g. And the PGA value for 84-percentile is 0.9705 g and the PSA value is 0.8735 g. The soil class of Mamuju City based on the data obtained by Mamuju City's land site class is soft soil (SE)*

**Keywords:** *PGA, PSA, Site Class, Amplification, Spectrum Respons Design.*

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Gempa bumi sebagai fenomena alam merupakan guncangan bumi yang disebabkan oleh gelombang seismic yang bergerak di bawah permukaan bumi dan menyebabkan patahan permukaan getaran likuifaksi tanah longsor, bahkan tsunami. Gempa bumi yang terjadi secara tiba-tiba dalam waktu yang relatif singkat dan dapat menyebabkan kerusakan struktur, sarana infrastruktur permukiman penduduk dan bangunan sipil lainnya. Akibat dari besarnya aktivitas gempa bumi yang terjadi menimbulkan banyaknya kerugian pada daerah yang terdampak. Gempa bumi yang perlu mendapat perhatian karena mempunyai pengaruh yang sangat mengerikan adalah gempa tektonik. Maka untuk mengurangi kerugian akibat dampak yang ditimbulkan, perlu dilakukan studi kegempaan yang akurat. Studi kegempaan dengan metode *deterministic seismic hazard analysis* diperlukan untuk penentuan lokasi gempa, data-data tersebut kemudian akan didapatkan nilai percepatan getaran maksimum gempa.

Dalam melaksanakan studi kegempaan, beberapa disiplin ilmu harus dikombinasikan secara utuh dengan melakukan beberapa penyelidikan sehingga studi kegempaan akan mencakup parameter-parameter yang diambil dari hasil riset multi disiplin ilmu tersebut. Aspek penyelidikan tanah penting, karena tanah memberikan efek perbesaran (amplifikasi) atau penurunan (de-amplifikasi) pada rambatan gelombang gempa.

Kota Mamuju sebagai daerah yang dilewati jalur gempa dan berada di daerah rawan gempa dimana gempa bumi ringan hingga berat seringkali terjadi dalam periode waktu yang cukup singkat. Sebagai ibu Kota Provinsi Sulawesi Barat, Kota Mamuju mempunyai peranan penting terhadap pertumbuhan perekonomian di Sulawesi Barat karena merupakan pusat perekonomian dan pendidikan di wilayah Sulawesi Barat. Hal ini dapat dilihat dari perkembangan kota yang sangat cepat. Semakin banyaknya pembangunan pusat perbelanjaan, perhotelan, dan semakin menjamurnya perguruan tinggi membuat semakin padanya penduduk di Kota Mamuju. Berdasarkan kondisi – kondisi tersebut, perlu dilakukan studi tentang bahaya kegempaan Kota Mamuju, dimana secara geografis wilayah ini cukup dekat dengan patahan-patahan yang menjadi sumber gempa.

Dari hasil pemetaan bahaya gempa di Kota Mamuju, diharapkan memberikan informasi ilmiah mengenai tingkat bahaya kegempaan Kota Mamuju sehingga dapat menjadi dasar penataan ulang Kota Mamuju pasca gempa 2021.

## **B. Rumusan Masalah**

Dari Latar belakang masalah di atas, maka dibuat rumusan masalah:

1. Bagaimana kondisi geografis dan geologi Kota Mamuju
2. Bagaimana patahan yang mempengaruhi kondisi kegempaan Kota Mamuju

3. Berapa besaran PGA pada *bedrock* Kota Mamuju yang diakibatkan oleh patahan-patahan tersebut dengan metode DSHA (*Deterministic Seismic Hazard Analysis*).

### C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kondisi geografis dan geologi Kota Mamuju
2. Mengetahui patahan yang memengaruhi kondisi kegempaan Kota Mamuju
3. Mengetahui besaran *peak ground acceleration* pada *bedrock* dan permukaan tanah Kota Mamuju yang diakibatkan oleh patahan-patahan tersebut dengan metode *DSHA*

### D. Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan penelitian di atas, maka dalam penelitian ini diperlukan batasan ruang lingkup pembahasan.

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data gempa yang diambil adalah data gempa disekitar wilayah Kota Mamuju berdasarkan buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017
2. Data gempa yang diambil dari USGS (*United State Geological Survey*) di sekitar Kota Mamuju hingga Februari 2021
3. Data hasil analisis kegempaan dengan menggunakan metode DSHA

## **E. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan tugas akhir ini lebih terarah pada inti permasalahan dan kerangka isi. Gambaran umum mengenai isi penelitian ini, dapat dituliskan sebagai berikut :

### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Menjelaskan latar belakang penelitian ini dilakukan, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian

### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Memaparkan teori – teori dasar dan tinjauan umum sehubungan dengan judul penulisan yaitu Studi Kasus Kegempaan Kota Mamuju dengan Metode DSHA.

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Menerangkan teknis penelitian yang dilakukan serta cara pengolahan data hasil penelitian.

### **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menyajikan data hasil penelitian dan analisis data untuk mencapai hasil penelitian

### **BAB 5. PENUTUP**

Menerangkan tentang kesimpulan hasil analisis data penelitian dan saran sebagai hasil pandangan penelitian yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Definisi Gempa Bumi**

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismic. Gempa bumi biasa di sebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Bagian kerak bumi terbagi dalam lempengan-lempengan yang berbentuk tidak beraturan dan padat, bagian kerak bumi inilah tempat terjadinya gempa bumi. Ketika lempengan tersebut bergesekan satu sama lain, maka akan menyebabkan terjadinya pengumpulan tegangan sampai suatu saat tegangan tersebut melampaui kekuatan kerak bumi, sehingga terjadilah pelepasan energi secara mendadak, yang dikenal dengan gempa bumi.

Kejadian gempa bumi dipengaruhi oleh factor jarak pusat gempa, dan kedalaman patahan. Gempa bumi mempunyai sifat yang berlangsung singkat dengan kekuatan gempa tertentu dan waktu tertentu. Maka setiap daerah yang akan di tinjau akan diperoleh data kegempaan yang berbeda-beda baik ditinjau dari segi waktu maupun ditinjau dari segi tempatnya.

PGA sama dengan akselerasi tanah maksimum yang terjadi pada saat terjadi gempa di suatu lokasi. PGA sama dengan amplitudo percepatan absolut terbesar yang tercatat pada akselerogram di suatu lokasi selama gempa tertentu. Guncangan gempa umumnya terjadi di ketiga arah. Oleh karena itu, PGA sering kali dipecah menjadi komponen horizontal dan

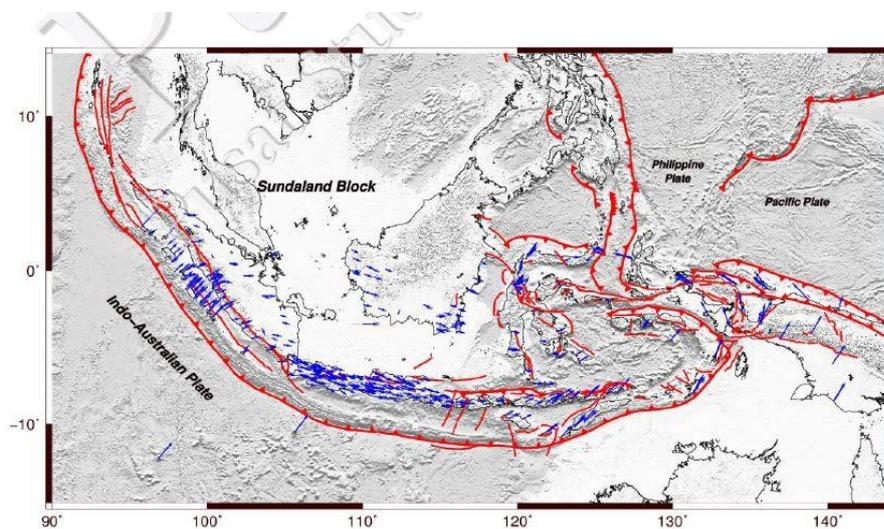
vertikal. PGA horizontal umumnya lebih besar daripada PGA dalam arah vertikal tetapi ini tidak selalu benar, terutama di dekat gempa bumi besar. PGA adalah parameter penting (juga dikenal sebagai ukuran intensitas) untuk rekayasa gempa, dasar desain gerakan tanah gempa sering didefinisikan dalam istilah PGA.

*Peak Horizontal Acceleration* (PHA) adalah jenis percepatan tanah yang paling umum digunakan dalam aplikasi teknik. Ini sering digunakan dalam rekayasa gempa (termasuk kode bangunan seismik ) dan biasanya diplot pada peta bahaya seismik. Dalam gempa bumi, kerusakan bangunan dan infrastruktur terkait lebih dekat dengan gerakan tanah, di mana PGA menjadi ukuran, bukan besarnya gempa itu sendiri. Untuk gempa bumi sedang, PGA merupakan penentu kerusakan yang cukup baik; pada gempa bumi yang parah, kerusakan lebih sering dikaitkan dengan kecepatan puncak tanah.

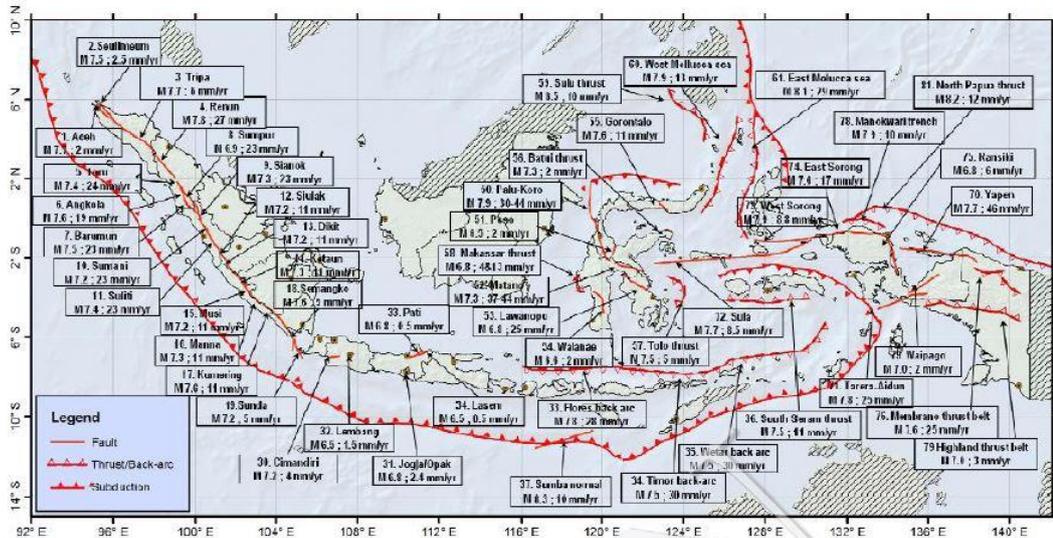
## **B. Sejarah Gempa Indonesia**

Wilayah Indonesia sangat rawan terhadap gempa. Hal ini disebabkan seluruh wilayah Indonesia berada di kawasan “Ring of Fire” atau cincin api Pasifik yang aktif akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Proses tersebut mengakibatkan guncangan dan berdampak pada ancaman gangguan kehidupan serta kerusakan infrastruktur bangunan. Pengurangan dampak dari risiko tersebut dapat dilakukan dengan manajemen penanggulangan bencana sedini mungkin terkoordinasi dan akurat.

Kondisi tektonik Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil atau *microblocks* menyebabkan daerah tersebut berpotensi mengalami banyak kejadian gempa. Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik. Penelitian lanjutan menggunakan informasi geodetic, geologis, dan seismologis menunjukkan bahwa tektonik di Indonesia dapat di bagi ke dalam beberapa lempeng kecil, yaitu Burma, Sunda, Laut Banda, Laut Maluku, Timor, Kepala Burung, Maoke, dan Woodlark (**Gambar 1**) dan selanjutnya penamaan sesar-sesar yang mengelili Indonesia yang menunjukkan pergerakan permukaan tanah (**Gambar 2**).

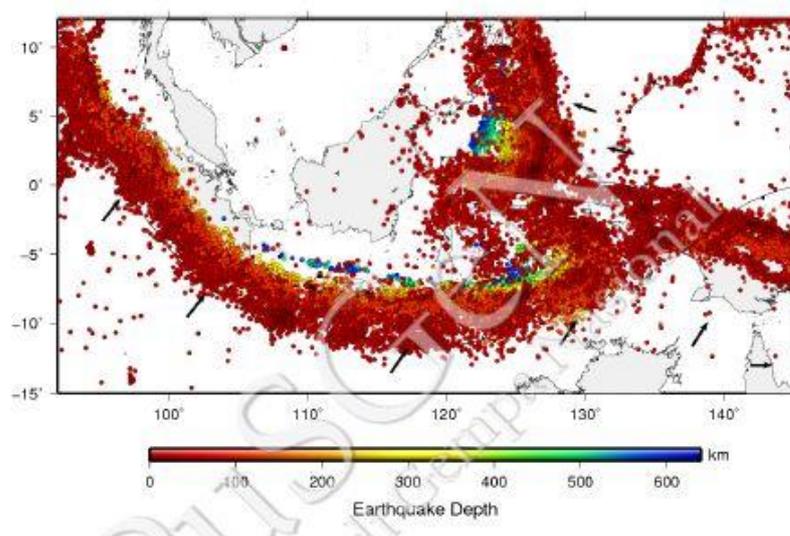


Gambar 1. Peta tektonik wilayah Indonesia dari data geodetic hingga tahun 2016, (vektor kecepatan pada referensi system ITRF, dalam Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2. Peta sumber gempa Indonesia (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010). Berikut ialah merupakan nama-nama dari setiap sesar yang ada di Indonesia dan juga menunjukkan pergerakan permukaan tanahnya

Sebagai akibat dari proses tektonik yang terjadi, peristiwa gempa sering terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia sebagaimana terlihat pada **Gambar 3** salah satu sumber gempa yang telah jelas teridentifikasi adalah zona subduksi aktif di bagian barat hingga bagian timur Indonesia. Selain itu, sisa energi dari proses tumbukan antar lempeng tersebut akan mengakibatkan adanya sesar di daratan atau lautan di beberapa pulau dan laut Indonesia.



Gambar 3. Gempa di Indonesia hadil relokasi hingga 2016 (Katalog PuSGen, dalam Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

### B. 1. Sejarah Kegempaan di Kota Mamuju

Secara geologi, daerah Mamuju dan sekitarnya disusun oleh sebaran batuan gunung api dan batuan sedimen laut (**Gambar 4**). Dari tua ke muda, batuan penyusun daerah ini terdiri atas batuan gunung api Talaya (Tmtv) berumur Miosen Tengah – Pliosen, batuan gunung api Adang (Tma) berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir, batugamping Formasi Mamuju (Tmm) berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir, batugamping Anggota Tapalang Formasi Mamuju (Tmmt) berumur Miosen Akhir, batugamping koral (Qt) berumur Holosen, dan endapan aluvial (Qa). Batuan gunung api Adang tersusun atas lava ponolit, piroklastika, dan tufitis memiliki nilai radioaktivitas tinggi yang berasal dari mineral penyusunnya. Secara regional,

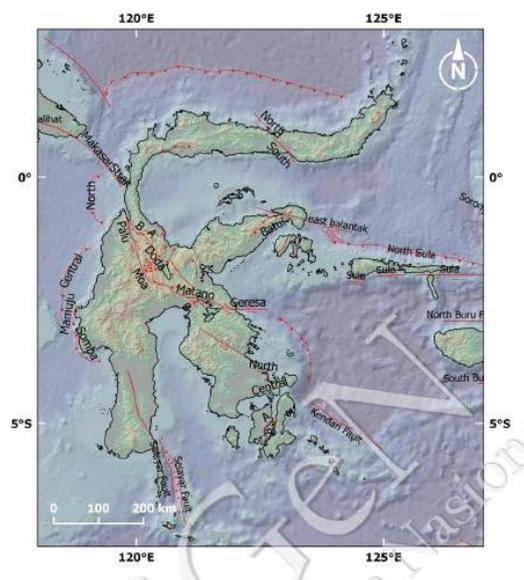
struktur geologi di daerah Mamuju dan sekitarnya memiliki arah umum timurlaut – baratdaya dan baratlaut – tenggara. Pembentukan struktur tersebut disebabkan oleh aktivitas tektonik dan berpengaruh terhadap pembentukan gunungapi.

Sebaran batuan gunung api merupakan batuan yang mendominasi daerah penelitian. Batuan gunung api Adang merupakan hasil dari proses vulkanisme yang memiliki beberapa pusat erupsi dan kubah lava, sehingga membentuk morfologi perbukitan dan pegunungan dengan lereng yang cukup terjal dan elevasi tinggi. Secara regional, daerah Mamuju dan sekitarnya merupakan perbukitan bergelombang dan pegunungan. Geomorfologi perbukitan bergelombang merupakan morfologi umum yang dijumpai hampir di seluruh daerah penelitian tersebar di bagian barat sampai tengah dengan elevasi < 620 mdpl. Geomorfologi pegunungan berada di bagian tengah sampai ke timur daerah penelitian dengan elevasi 620 – 1.660 mdpl (Indrastono. dkk, 2015) .



batugamping Formasi Mamuju (Tmm), batugamping Anggota Tapalang Formasi Mamuju (Tmmt), batugamping koral (Qt), dan endapan aluvial (Qa) (Indrastomo. dkk, 2015) b) Peta pusat gempa bumi merusak Pulau Sulawesi (Supartoyo dan Surani, dalam Bidang Seismologi Teknik - BMKG 2018)

Kota Mamuju yang merupakan daerah rawan gempa yang disebabkan oleh letaknya yang dikelilingi oleh beberapa sesar aktif seperti Sesar Makassar Thrust, Sesar Palu-Koro, dan Sesar Walanae seperti yang terlihat pada **Gambar 5**.

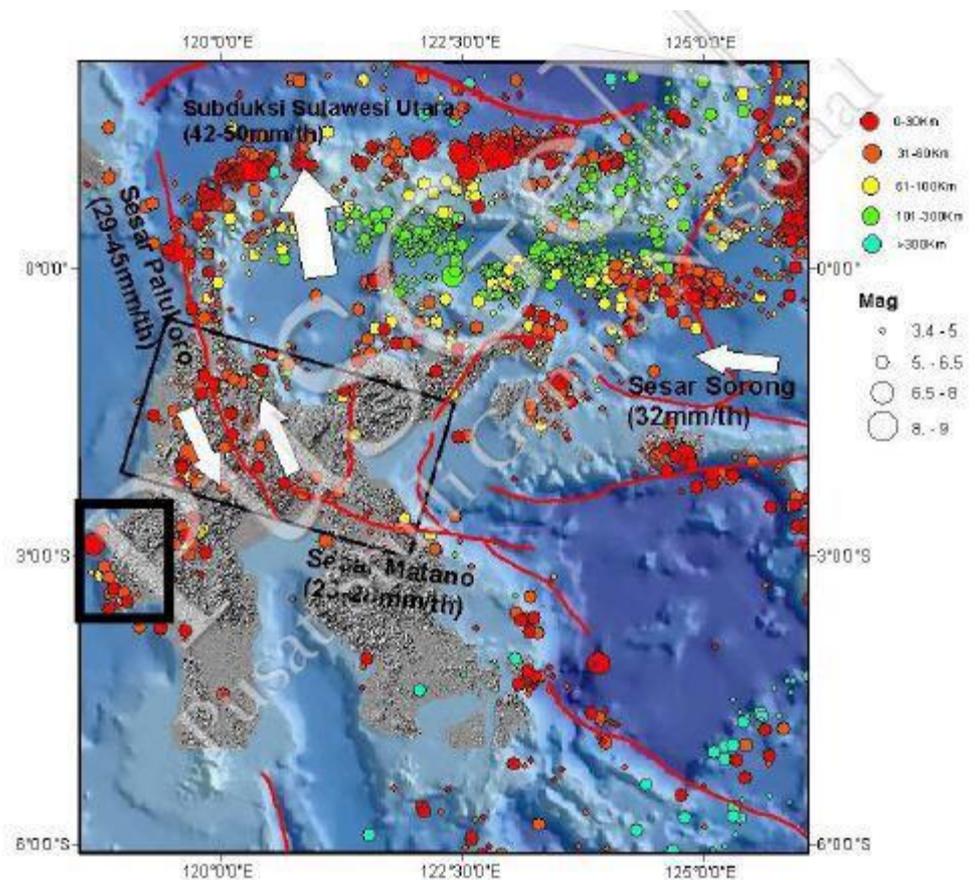


Gambar 5. Peta sesar aktif di Pulau Sulawesi yang Terangkum Dalam Peta Gempa Nasional 2017

Tabel 1. Data Kejadian Gempa di Sekitar Kota Mamuju dalam Kurun Waktu 50 Tahun

Waktu	Latitude	Longitude	Depth	Mag	Place
2021-01- 14T18:28:18.081Z	-2.9711	118.8893	18	6.2	Sulawesi, Indonesia
2021-01- 14T06:35:50.028Z	-2.9809	118.894	18	5.7	33 km S of Mamuju, Indonesia
2018-11- 14T23:01:21.840Z	-2.9068	119.3922	14.01	5.5	4km NNE of Mamasa, Indonesia
2015-02- 08T15:09:08.950Z	-2.4318	119.3699	37.28	5.6	13km WNW of Kalumpang, Indonesia
1986-05- 27T07:58:39.560Z	-2.825	119.727	35.7	5.5	Sulawesi, Indonesia
1984-01- 08T15:24:13.560Z	-2.823	118.806	33	7	Sulawesi, Indonesia
1979-09- 29T12:41:48.500Z	-2.81	119.573	21	5.9	Sulawesi, Indonesia
1971-05- 07T00:21:15.000Z	-2.751	119.69	26.8	6	Sulawesi, Indonesia

Berdasarkan **Tabel 1**, dapat dilihat bahwa gempa yang terjadi di sekitar Kota Mamuju dalam 50 tahun terakhir yang mempunyai kekuatan gempa berkisar  $5 \leq M \leq 9$ . Selain itu, data gempa juga diperoleh dari Buku Peta Gempa 2017. Titik-titik gempa tersebut dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Struktur Geologi Regional di Pulau Sulawesi (Daryono dalam Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Vektor pergerakan adalah kompilasi hasil penelitian geodesi deformasi di Sulawesi. Peta dasar menggunakan SRTM 90 m dan ETOPO1

### **C. Analisis Seismic Hazard**

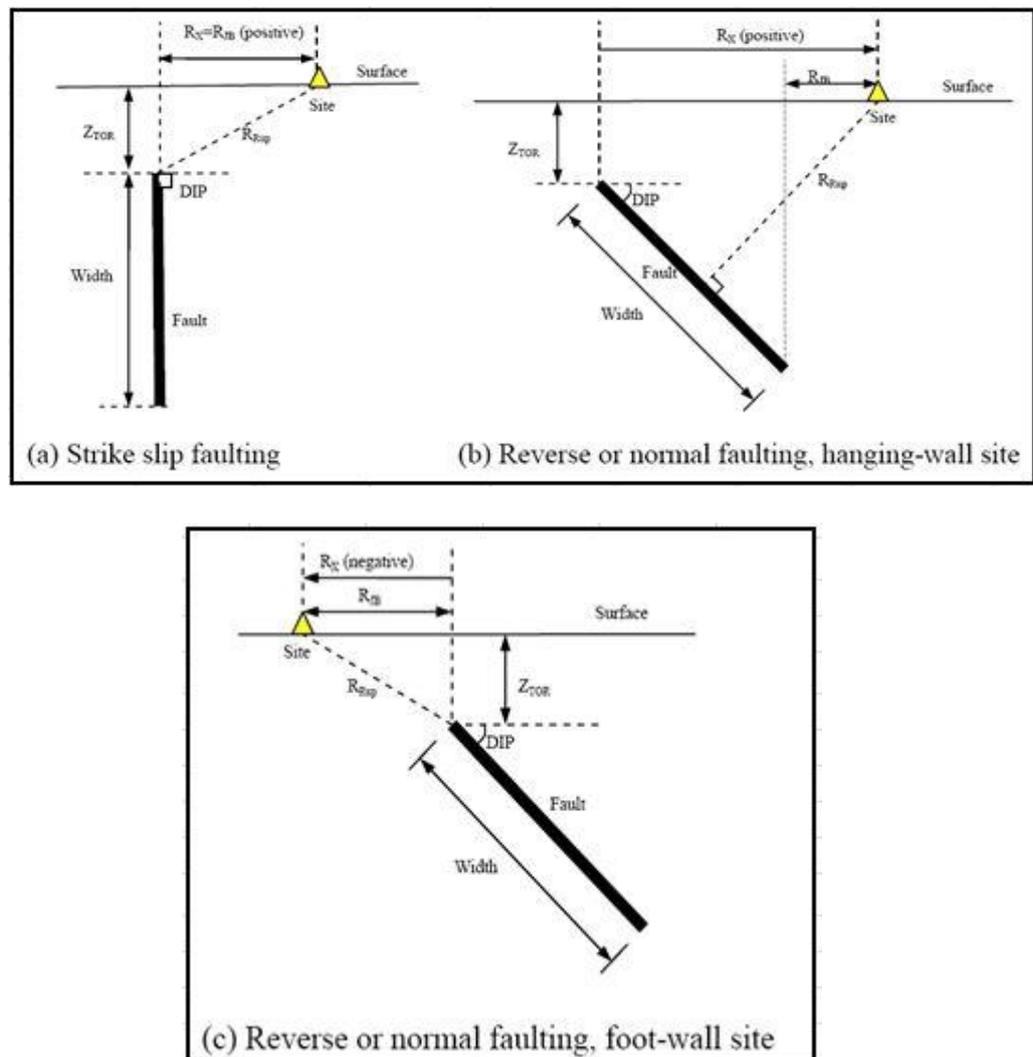
Analisis *Seismic Hazard* mencakup perkiraan kuantitatif dari guncangan dasar tanah pada sebuah daerah tertentu. *Seismic Hazard* dapat dianalisa secara deterministic dengan mengasumsikan sebuah scenario gempa, atau secara probabilistic, dimana ketidakpastian pada besarnya ukuran gempa, lokasi, dan waktu kejadian gempa kemudian diperhitungkan secara pasti (Anbazhagan, 2011).

Jika dikaitkan dengan proyeksi skenario sumber dan level magnitudo tertentu, cara menguantifikasi bahaya kegempaan untuk satu titik tertentu, pendekatan estimasi bahaya kegempaan dilakukan dengan skenario deterministik.

### **D. Teori Deterministic Seismic Hazard Analysis**

Metode DSHA dilakukan dengan mempertimbangkan skenario yang meliputi asumsi mengenai kejadian gempa dengan magnitudo tertentu yang akan terjadi pada lokasi yang telah ditetapkan. Metode ini umumnya digunakan untuk menghitung percepatan gempa pada perencanaan bangunan vital strategis dengan pertimbangan akan sangat membahayakan jika terjadi kerusakan akibat guncangan gempa. Reiter (dalam Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017) menggambarkan metode DSHA dalam empat tahapan proses seperti berikut ini.

1. Pengidentifikasian dan karakterisasi semua sumber gempa di suatu lokasi yang berpotensi menghasilkan *ground motion* yang signifikan. Karakterisasi sumber gempa di dalamnya termasuk pendefinisian setiap geometri sumber dan potensi gempa.
2. Penentuan parameter jarak sumber gempa ke lokasi kajian *site* untuk setiap zona sumber gempa. Pada metode DSHA ini ditentukan jarak terdekat antara zona sumber gempa dan *site* lokasi kajian dapat dilihat pada **Gambar 7**.
3. Pemilihan gempa (*controlling earthquake*) yang diperkirakan akan menghasilkan guncangan terbesar dengan cara membandingkan besar guncangan yang dihasilkan gempa pada jarak dan lokasi tertentu. *Controlling earthquake* umumnya digambarkan oleh besaran magnitude dan jarak dari *site* lokasi kajian.
4. Pendefinisian bahaya yang terjadi pada suatu lokasi dalam bentuk *ground motion* yang terjadi akibat pemilihan gempa (*controlling earthquake*). Karakteristik tersebut dideskripsikan oleh satu atau lebih parameter *ground motion* yang didapat dari persamaan empiris yang digunakan. Karakteristik bahaya gempa yang ditentukan dengan menggunakan percepatan puncak (*peak acceleration*), kecepatan puncak (*peak velocity*), dan ordinat spectrum respon (*response spectrum ordinates*).



Gambar 7. Tahapan penentuan lokasi gempa (Peer Barkley, 2014)

Metode DSHA umumnya diaplikasikan untuk mengestimasi percepatan gempa untuk konstruksi yang sangat membahayakan jika terjadi kerusakan seperti bangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) (Irsyam dkk., 1999), bendungan besar, konstruksi yang dekat dengan sesar aktif, dan untuk keperluan *emergency response*. Kelebihan metode ini adalah mudah digunakan untuk memprediksi gerakan gempa pada scenario terburuk.

Sementara itu, kelemahan metode ini adalah tidak mempertimbangkan probabilitas terjadinya gempa dan pengaruh berbagai ketidakpastian yang terkait dalam analisis (Kramer, 1996).

#### **D. 1 Mengidentifikasi sifat dan lokasi sumber-sumber gempa**

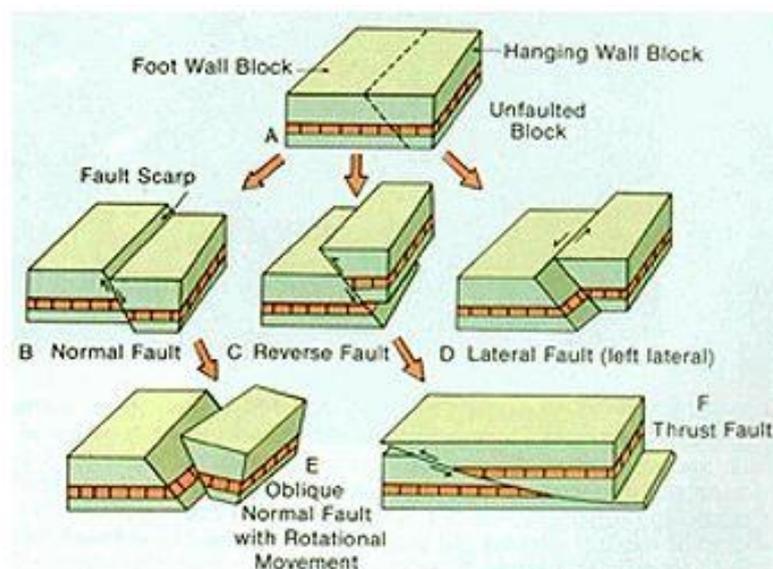
Jalur (patahan) atau area yang menjadi sumber gempa di suatu daerah diperlukan untuk permodelan pada tahap pengindetikian dan karakteristik gempa ini akan mencakup ketentuan-ketentuan sumber gempa dan potensinya.

Patahan adalah retakan atau zona retakan antara dua bongkahan batuan. Keberadaan patahan ini menjadikan kedua blok batuan bisa bergerak satu sama lain, gerakan batuan ini bias begitu cepat, yaitu dalam bentuk gempa. Pada suatu kejadian gempa, batuan pada salah satu sisi patahan tergelincir dengan tiba-tiba pada bongkahan batuan lainnya. Permukaan patahan dapat berupa bidang horizontal, vertical, atau memiliki sudut yang tidak teratur di antara kedua bongkahan.

Berdasarkan pergerakan kedua blok batuan tersebut menyebabkan arah gerak blok batuan di sepanjang bidang patahan. Sudut patahan terhadap permukaan (disebut sebagai dip) dan arah gelinciran sepanjang patahan dipakai geologist untuk membedakan jenis-jenis patahan. Patahan yang bergerak di sepanjang arah bidang

dip disebut sebagai patahan dip-slip. Patahan ini dapat dibagi dalam dua jenis yaitu normal (sesar turun) dan reverse fault (sesar naik).

Patahan yang bergerak horizontal disebut sebagai patahan strike-slip (sesar geser) dan dapat dibagi atas dua jenis yaitu right-lateral (sesar lateral kanan) atau left-lateral (sesar lateral kiri). Patahan yang bergerak di sepanjang arah dip dan juga bergerak horizontal disebut patahan oblique-slip (sesar miring) dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Arah gerak batuan pada berbagai macam patahan  
([sumberibnudwibandono.wordpress.com](http://sumberibnudwibandono.wordpress.com))

#### 1. Patahan Normal (Normal Fault)

Patahan normal atau sesar normal merupakan patahan yang mempunyai arah gerak blok batuan yang mengikuti arah gaya berat batuan yang menuju ke arah bawah sepanjang bidang patahan.

## 2. Patahan Berlawanan (Reverse Fault)

Patahan reverse adalah patahan dimana arah gerak blok batuan bergerak ke atas berlawanan dengan arah gerak patahan normal. Patahan jenis ini biasanya terjadi di daerah tertekan. Jika sudut dip sangat landai, patahan reverse ini sering disebut sebagai patahan thrust. Perbedaan reverse fault dan thrust fault lebih kepada besar sudut kemiringan dari bidang sesarnya. Apabila landai ( $<10$  deg) disebut thrust fault, sebaliknya disebut reverse fault.

## 3. Patahan Strike Slip (Sesar Geser)

Patahan strike-slip adalah patahan dimana kedua blok batuan bergeser satu sama lain dalam arah horisontal. Patahan tipe ini dibagi menjadi patahan right-lateral atau left-lateral tergantung arah dari gerakan dari bongkahan

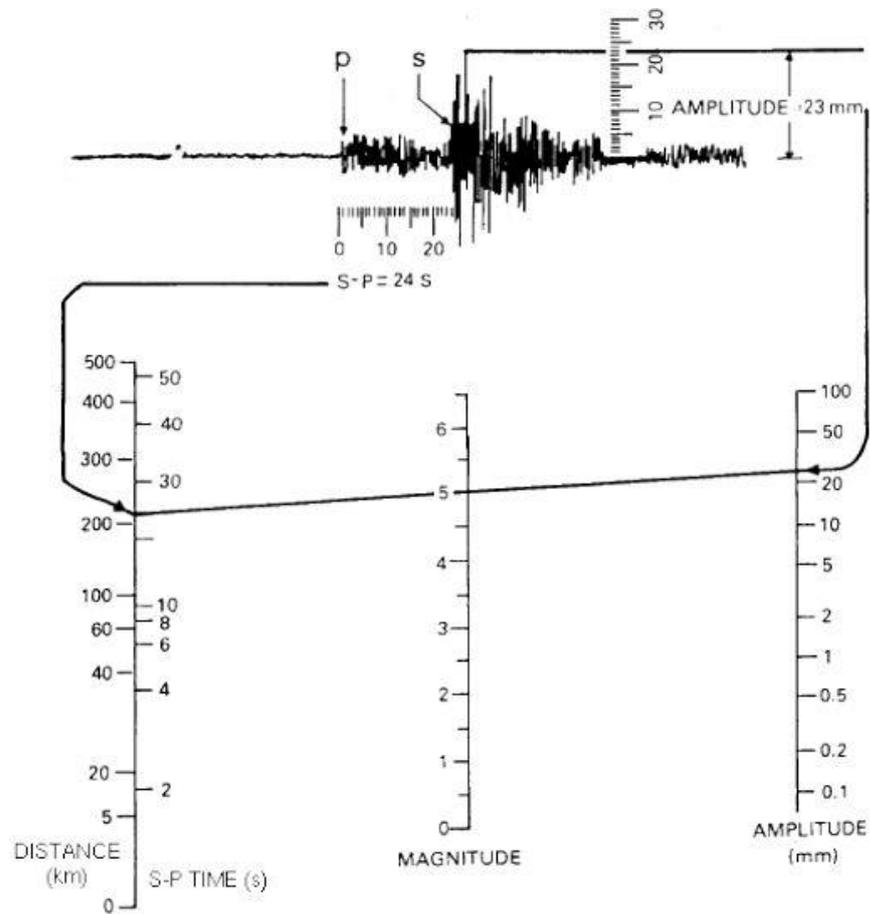
## 4. Patahan Oblique Slip Fault (Patahan Celah Miring)

Patahan celah miring atau yang disebut dengan oblique slip fault. Patahan jenis celah miring merupakan jenis patahan kombinasi, yakni kombinasi dari normal fault dan strike slip fault. Sehingga pergerakan batuan terjadi secara naik atau turun dan mengalami pergerakan horizontal ke kanan ataupun ke kiri. patahan ini terjadi karena disebabkan adanya gaya tekan dari atas maupun bawah dan juga gaya samping yang diberikan pada batuan.

Magnitudo gempa adalah ukuran kekuatan gempa bumi yang menggambarkan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa. Pengukuran gempa secara kuantitatif mulai diperkenalkan sejak ditemukannya alat untuk mengukur *Ground motion* yang timbul saat gempa terjadi. Hal ini menyebabkan adanya tipe magnitude yang dihitung untuk suatu *event* dapat beragam dari satu penulis ke penulis lainnya. Namun, dalam analisis *a-value* dan *b-value* untuk pemuktahiran peta gempa di Indonesia diperlukan satu tipe data magnitude yang sama yaitu data magnitude momen  $M_w$  yang tidak tersedia untuk setiap *event*. Untuk itu, diperlukan suatu konversi yang menghubungkan beragam tipe magnitude seperti  $M_s$ ,  $m_b$ , dan  $M_L$  ke dalam megnitudo momen.

- Magnitudo Local Richter ( $M_L / M_0$ )

Magnitudo Lokal Richter adalah skala magnitude yang diperkenalkan oleh Charles Richter pada tahun 1933 berdasarkan pengukuran menggunakan seismometer Wood-Anderson untuk gempa-gempa dangkal dan local sebagai logaritma (basis 10) amplitudo maksimum (dalam micrometer) yang terukur oleh seismometer Wood Anderson yang berada pada jarak 100 km episenter gempa (**Gambar 9**). Skala Richter ini merupakan skala yang paling umum digunakan, tetapi terbatas hanya untuk gempa-gempa local saja.



Gambar 9. Penentuan skala local Richter berdasarkan amplitude dan jarak episenter atau waktu tiba gelombang p-s (Ritcher, dalam Tim Pusat Studi Gempa Nasional)

Konversi magnitudo  $M_L$  ke dalam  $M_w$  tidak dilakukan karena hasil plot menunjukkan hasil yang hamper sebanding di antara keduanya dan dianggap magnitudo lokal ( $M_L$ ) dapat mempresentasikan magnitudo momen (**Gambar 10-c**)

- Magnitudo Gelombang Permukaan ( $M_s$ )

Magnitudo gelombang permukaan dikembangkan karena keterbatasan skala megnitudo lokal Richter yang tidak mendeskripsikan secara jelas jenis gelombang gempa yang terukur. Skala magnitudo gelombang permukaan sangat sesuai untuk pengukuran gempa pada jarak yang jauh dimana perambatan gelombang gempa didominasi oleh gelombang permukaan. Hal ini disebabkan karena gelombang badan sudah tidak terdeteksi pada jarak yang jauh. Skala magnitudo ini diperkenalkan oleh Gutenberg-Richter (1963) berdasarkan amplitude gelombang permukaan Rayleigh pada periode 20 detik dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_s = \log A + 1,66 \log \Delta + 2 \quad (2.1)$$

dimana  $A$  adalah perpindahan tanah maksimum (dalam  $\mu\text{m}$ ) dan  $\Delta$  adalah jarak episenter dari seismometer yang diukur dalam derajat.

Konversi magnitudo dari  $M_s$  ke  $M_w$  dilakukan dengan membuat persamaan garis lurus dari plot antara  $M_s$  dan  $M_w$ . Persamaan konversi diperoleh dari 6.718 kejadian gempa yang sama-sama memiliki  $M_s$  dan  $M_w$ . Rentang plot dibagi menjadi dua bagian yaitu kurang dari 6,1 dan lebih dari sama dengan 6,1 (**Gambar 10-b**) yang merupakan titik belok kurva.

Persamaan konversi yang didapat adalah seperti pada Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3) di bawah ini :

$$M_s = 0,6016M_w + 2,476 \quad (2.2)$$

untuk rentang megnitudo  $2,8 \leq M_s \leq 6,1$  dengan  $R^2$  0,8013, dan

$$M_s = 0,9239M_s + 0,5671 \quad (2.3)$$

untuk rentang megnitudo  $6,2 \leq M_s \leq 8,7$  dengan  $R^2$  0,8013

- Magnitudo Gelombang Badan ( $M_b$ )

Untuk gempa-gempa dalam dengan kedalaman episenter lebih dari 70 km dimana gelombang sudah tereduksi, ukuran gempa lebih sesuai dinyatakan dengan skala magnitude gelombang badan. Magnitude gelombang badan diperkenalkan oleh Gutenerg pada tahun 1945 mengukur gempa berdasarkan amplitude dari beberapa siklus gelombang-p yang tidak terpengaruh oleh kedalaman focus (Bolt, 1989). Skala magnitude gelombang permukaan dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$M_b = \log A - \log T + 0,01 \Delta + 5,9 \quad (2.4)$$

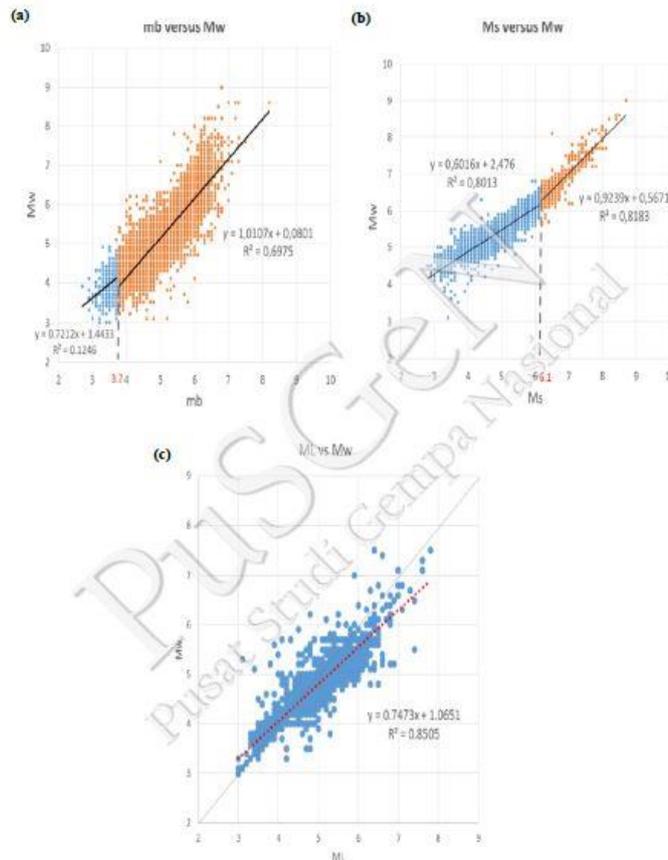
dimana  $A$  adalah amplitude momen (dalam  $\mu\text{m}$ ) dan  $T$  adalah periode gelombang-p (umumnya sebesar 1 s). magnitude ini umumnya digunakan ntuk mengukur gempa-gempa *interpolate*.

Konversi magnitude dari  $M_b$  ke  $M_w$  dilakukan dengan membuat persamaan garis lurus dari plot antara  $M_b$  dan  $M_w$ . Persamaan konversi didapat dari 19,162 kejadian gempa yang sama-sama memiliki  $M_w$  dan  $M_b$ . Dengan membagi rentang plot menjadi 2 bagian yaitu kurang dari 3,7 dan lebih dari sama dengan 3,7 (**Gambar 10-a**).

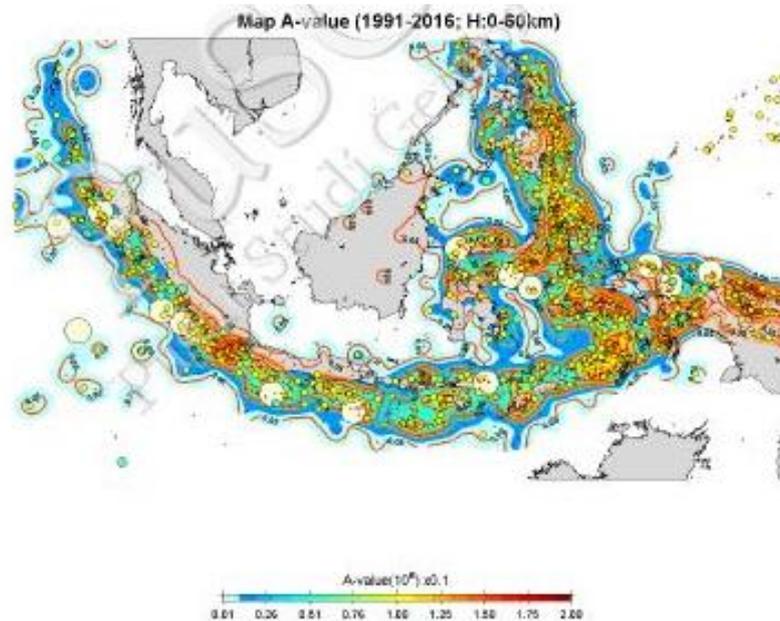
Persamaan konversi yang didapat adalah seperti persamaan (2.5) berikut:

$$M_W = 1,0107M_b + 0,0801 \quad (2.5)$$

untuk rentang magnitude  $3,7 \leq M_b \leq 8,2$  dengan  $R^2=0,6975$ .



Gambar 10. a) Korelasi antara  $M_b$  dan  $M_w$  dari katalog ISC, BMKG, dan USGS. b) Korelasi antara  $M_s$  dan  $M_w$  dari katalog ISC, BMKG, dan USGS. c) Korelasi antara  $M_L$  dan  $M_w$  dari katalog ISC, BMKG, dan USGS (Tim Pusat Studi Gempa, 2017).



Gambar 11. a) Peta *a-value* untuk data gempa dari tahun 1991-2016. Hasil *a-value* dari kedua periode tersebut memberikan pola yang cukup miring (Tim Pusat Studi Gempa, 2017).

Pada **Gambar 11** menunjukkan data gempa dengan kedalaman focus kurang dari atau sama dengan 60km dari tahun 1991-2016. Peta ini juga menunjukkan bahwa gempa dalam kurun waktu 1991-2016 yang terjadi di Indonesia masuk ke dalam kategori gempa dangkal atau *shallow crustal*.

## D. 2 Menentukan jarak sumber gempa ke titik tinjau

Dalam tahap mendesain suatu skenario kekuatan getaran gempa, sangat berpengaruh pada jarak dari sumber gempa ke lokasi yang di tinjau. Kekuatan getaran gempa akan berkurang seiring dengan bertambahnya jarak gempa ke titik yang ditinjau.

Pada tahap menentukan jarak dari lokasi titik yang ditinjau ke sumber gempa, jarak yang dihitung adalah jarak terdekat antara titik lokasi yang sedang ditinjau. Jarak tersebut akan digunakan untuk persamaan atenuasi seperti pada **Gambar 7**.

## D. 3 Menentukan “Controlling Earthquake”

Penentuan “*Controlling Earthquake*” mencakup mengenai evaluasi nilai PGA . Percepatan tanah maksimum merupakan dampak gelombang gempa bumi di lokasi yang ditinjau yang ditentukan oleh perbedaan jarak sumber pada lokasi yang ditinjau. Dengan mengetahui nilai kekuatan gempa maksimum dari suatu patahan dan jarak terdekat sumber patahan ke titik yang ditinjau, maka kita dapat mengestimasi percepatan horizontal dengan menggunakan rumus persamaan atenuasi.

Faktor jarak pusat gempa ke lokasi yang ditinjau sangat mempengaruhi besar atau kecilnya daya guncang di permukaan.

Getaran suatu gempa akan terus berkurang seiring dengan bertambahnya jarak menjauhi episentrum gempa tersebut. Para ahli saat ini telah mengembangkan persamaan regresi tentang hubungan jarak dengan getaran yang ditimbulkan oleh gempa.

Fungsi atenuasi telah banyak berkembang dan kurum waktu dua dekade terakhir. Hal ini dipicu oleh tersedianya data-data strong motion dari kejadian-kejadian gempa yang terjadi. Pada analisa bahaya kegempaan biasanya dapat dengan cara deterministic ataupun probabilistic. Adapun persamaan atenuasi telah banyak dikembangkan saat ini seperti Abrahamson dan Silva, Boore dan Stewart and Seyhan dan Atkinson, Campbell dan Bozorgnia, Chiou dan Youngs, Idris, sehingga pemilihan persamaan atenuasi yang digunakan berdasarkan karakteristik dan lokasi gempa.

- **Abrahamson & Silva (2008)**

Abrahamson dan Silva mengembangkan atenuasi PGA menjadi atenuasi PSA yang berdasar pada data gempa dan parameter-parameter tertentu. Data gempa yang dipakai semuanya termasuk gempa dangkal (shallow crustal earthquakes). Atenuasi Abrahamson dan Silva (1997) selanjutnya disingkat menjadi atenuasi A-S

(1997). Setelah mengalami proses regresi secara bertahap maka rumusan atenuasi A-S dinyatakan dalam:

$$\ln S_{a(g)} = f_1(M, R_{rup}) + Ff_3(M) + HWf_4(M, R_{rup}) + Sf_5(pga_{rock}) \quad (2.6)$$

dimana,  $S_{a(g)}$  ialah spektra percepatan dalam (g),  $R_{rup}$  ialah jarak terdekat ke bidang rupture (km),  $M$  ialah magnitude momen,  $F$  ialah suatu koefisien untuk menandai style of faulting yang dipakai ( $F=1$  untuk reverse,  $F = 0,5$  untuk oblique dan  $F=0$  untuk tipe fault yang lain),  $HW$  adalah suatu dummy variable ( $HW=1$  untuk site di hingging wall dan  $HW=0$  untuk site di footing wall) untuk memperhitungkan pengaruh parameter hingging wall ataupun footing wall, dan  $S$  ialah variable dummy untuk kelas site (nilai  $S=0$  untuk rock dan tanah dangkal dan  $Ss=1$  untuk tanah dalam).

- **Persamaan GMPE Atkinson dan Boore Worldwide Data (2003)**

Peta *hazard Indonesia* tahun 2010 menggunakan persamaan GMPE Atkinson dan Boore Worldwide Data (2003) untuk menghasilkan PGA di sumber gempa yang berada pada area subduksi *deep background (benioff Intraslab)* dan subduksi *interface*. Atkinson dan Boore

Wordwide Data (2003) menggabungkan *database* respon spektra dari ratusan catatan gempa dari seluruh dunia dengan *moment magnitude*  $M = 5$  s.d. 8.3. parameter dan fungsi atenuasi Atkinson-Boore 2003 dapat dilihat pada Persamaan

$$\log y = f_n(M) + C_2 h + C_4 R - g \log R + C_5 S_C + C_6 S_D + C_7 S_E \quad (2.7)$$

Pada kondisi  $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1 U + e_2 S_S + e_3 N_S + e_4 R_S + e_5 (M - M_h) + e_6 (M - M_h)^2 \quad (2.8)$$

Pada kondisi  $M \geq M_h$

$$F_M(M) = e_1 U + e_2 S_S + e_3 S_S + e_4 R_x + e_7 (M - M_h) \quad (2.9)$$

$$F_D(R_{JB}, M) = [C_1 + C_2 (M - M_{ref})] \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right) + C_3 (R - R_{ref}) \quad (2.10)$$

Nilai R dihitung dengan persamaan berikut

$$R = \sqrt{R^2 j b} \quad (2.11)$$

Amplifikasi lapangan dihitung dengan persamaan berikut

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (2.12)$$

Nilai  $F_{LIN}$  bersifat linier, dimana:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{30} + V_{ref}) \quad (2.13)$$

- **Campbell – Bozorgnia (2008) NGA**

Persamaan GMPE kedua sumber gempa pada area *shallow crustal (strike slip, reverse, dan fault)* di peta hazard 2010 adalah Campbell-Bozorgnia (2008) NGA. Terdapat 64 kejadian gempa utama yang menjadi basis persamaan, gempa-gempa tersebut memiliki rating magnitude 4.3-7.9 dengan *rupture radius* 0.1-199km, dengan total jumlah data 1561. Bentuk umum dari persamaan Campbell-Bozorgnia (2008) NGA dapat dilihat pada persamaan (2.14) berikut :

$$\ln \gamma = f_{mag} + f_{dia} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \quad (2.14)$$

- **Persamaan GMPE Chiou-Youngs (2014) NGA untuk gempa *fault* dan *shallow background***

Persamaan GMPE untuk area *shallow crustal (strike slip, reverse, dan fault)* adalah Chiou-Youngs (2008) NGA. Persamaan GMPE Chiou-Youngs (2014) NGA merupakan pengembangan dari persamaan Tahun 2008. Data yang digunakan untuk pengembangan ini sejumlah 20000 data dari 243 kejadian gempa yang terjadi di California, Jepang, New Zealand, Taiwan, dan Turkey dengan magnitude 3.1 –

7.6. Model GMPE Chiou-Youngs ini diturunkan untuk percepatan tanah puncak (PGA) dan pseudo – percepatan spektra dengan redaman 5% dengan menggunakan rentang peroda 0.01 sampai 10 detik. Persamaan GMPE Chiou-Youngs (2014) NGA dapat dilihat pada Persamaan 2.15.

$$\begin{aligned} \ln(y_{refij}) = & c_1 + \left\{ c_{1a} + \frac{c_{1c}}{\cosh(2\max(M_i - 4.5, 0))} \right\} F_{Rvi} + \left\{ c_{1b} + \frac{c_{1d}}{\cosh(2\max(M_i - 4.5, 0))} \right\} F_{YMi} \\ & + \left\{ c_7 + \frac{c_{7b}}{\cosh(2\max(M_i - 4.5, 0))} \right\} \Delta Z_{TORi} + \left\{ c_{11} + \frac{c_{11b}}{\cosh(2\max(M_i - 4.5, 0))} \right\} (\cos\delta_i)^2 \\ & + c_2(M_i - 6) + \frac{C_2 - C_3}{C_n} \ln(1 + e^{c_n(C_n - M_i)}) \\ & + C_4 \ln(R_{RUPij} + C_5 \cosh(C_6 \cdot \max(M_i - C_{HM}, 0))) + (C_{4a} - C_4) \ln(\sqrt{R_{RUPij}^2 + C_{RB}^2}) \\ & + \left\{ C_{Y1} + \frac{C_{Y2}}{\cosh(\max(M_i - C_{Y2}, 0))} \right\} \cdot R_{RUPij} \\ & + c_9 \max\left(1 - \frac{\max(R_{RUPij} - 40, 0)}{30}\right) \min\left(\frac{\max(M_i - 5.5, 0)}{0.8}, 1\right) e^{-c_{9a}(M_i - c_{9b})} \Delta DPP_{ij} \\ & + c_9 \cdot F_{HWij} \cos\delta_i \cdot \left\{ c_{9a} + (1 - c_{9a}) \tanh\left(\frac{R_{RUPij}}{2}\right) \right\} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{R_{Bij}^2 + Z_{TORi}^2}}{R_{RUPij} + 1} \right\} \end{aligned}$$

2.15

- **Idriss, dkk (2014) NGA**

Pada persamaan idris, dkk hanya kerak dangkal gempa bumi yang dipertimbangkan dalam proyek NGA. Terdapat 3.551 data dari 173 kejadian gempa utama dan gempa susulan yang digunakan untuk mengembangkan persamaan ini. Terdapat beberapa catatan yang dikecualikan dalam perhitungan NGA Flatfile yaitu : (1) Catatan di ruang bawah gedung manapun (2) Catatan di bendungan puncak, jari kaki, atau penyangga, dan (3) Catatan di lantai pertama

gedung bertingkat tiga atau lebih tinggi. Maka, jumlah rekam jejak flatfile berkurang menjadi 3.319 yang diperoleh di 125 kerak dangkal bumi.

*Flatfile* mencakup nilai PA dan dihitung percepatan pseudo-absolut PAA (T) untuk T = 0,01 detik. Nilai PAA (T) untuk T = 0,01 detik berkisar antara 0 sampai 2% lebih besar dari nilai PGA. Berikut ialah persamaannya

$$L_n[PAA(T)] = \alpha_1(T) + \alpha_2(T)M - [\beta_1(T) + \beta_2(T)M]L_n(R_{rup} + 10) + \gamma(T)R_{rup} + \phi(T)F \quad (2.16)$$

#### D. 4 Menentukan parameter-parameter ground motion

Pada studi kasus yang sedang kami lakukan, tahap penentuan parameter ground motion ini mencakup gambaran dari PGA yang diharapkan pada lokasi tertentu. Kerusakan dan keruntuhan bangunan akibat gempa bumi terjadi karena bangunan tidak mampu mengantisipasi getaran tanah (ground motion), PGA yang ditimbulkannya. Besarnya getaran tanah akibat gempa bumi dipengaruhi oleh tiga hal, sumber gempa (source), jalur penjalaran gelombang (path), dan pengaruh kondisi tanah setempat (site). Dapat dipahami bahwa sumber gempa yang besar dan dekat akan menimbulkan getaran tanah yang juga besar.

Demikian halnya kondisi tanah setempat berupa endapan sedimen tebal dan lunak juga akan menimbulkan

fenomena amplifikasi yang memperbesar nilai getaran tanah di permukaan. Selanjutnya, gelombang yang dihasilkan oleh getaran tanah maksimum merambat ke permukaan yang selanjutnya disebut dengan amplifikasi. Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang tanah yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang tanah mengalami perbesaran jika merambat suatu medium awal yang dilaluinya.

#### **A. Studi Penelitian Terdahulu**

Studi penelitian terdahulu merupakan kajian literature yang digunakan sebagai acuan dasar dalam pelaksanaan penelitian. Penelitian terlebih dahulu mempunyai peranan untuk memperluas dan memperalam teori yang akan digunakan dalam kajian penelitian yang akan dilakukan. Studi penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Skripsi “Mikrozonasi Bahaya Kegempaan Kota Makassar Berbasis Data Seismik dan Data Geoteknik” oleh Ryan Rante (2015). Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hassanuddin.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa percepatan getaran tanah maksimum di Kota Makassar, ketika terjadi gempa di sekitar Kota Makassar. Penelitian ini dilakukan dengan

menggunakan metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* yang nantinya hasil nilai dari PGA selanjutnya akan diolah dan didapatkan nilai Respon Spectrum untuk Kota Makassar. Penelitian ini juga menghasilkan peta mikrozonasi bahaya gempa, peta tersebut akan menampilkan daerah-daerah yang mengalami efek paling besar jika terjadi gempa di sekitar Kota Makassar.

2. Skripsi “Studi Percepatan Puncak Gempa Permukaan Tanah Di Wilayah Makassar Menggunakan Aplikasi *Equivalent-Linier Earthquake Response Analysis (EERA)*” oleh Muh. Ali Husyain. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hassanuddin.

Penelitian ini ialah untuk menganalisis percepatan gempa maksimum dengan menggunakan metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* yang selanjutnya akan dilakukan analisa data perhitungan respon spectrum gempa pada kondisi tanah di wilayah Kota Makassar.