

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH JENIS TANAH TERHADAP KEGEMPAAN
KOTA MAMUJU MENGGUNAKAN R-CRISIS**

***ANALYSIS OF SITE EFFECTS OF SEISMIC HAZARD AT MAMUJU
CITY USING R-CRISIS SOFTWARE***

ANDI ANGGRAINI HAMZAH

D011 17 1311



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**STUDI PENGARUH VARIASI TEBAL PELAT BETON BERTULANG BERONGGA
TERHADAP KAPASITAS LENTUR**

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI ANGGRAINI HAMZAH

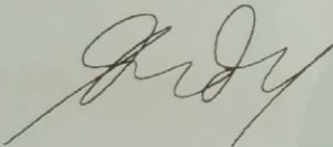
D011 17 1311

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 2 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

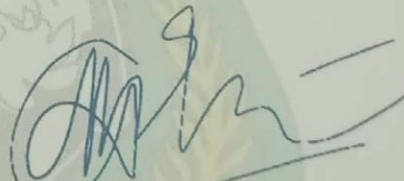
menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST, M.Eng.Sc
NIP. 197607072005011002



Dr. Eng. Kartika Sari, ST, MT.
NIP. 197312012000122001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Andi Anggraini Hamzah, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Analisis Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kegempaan Kota Mamuju Menggunakan R-Crisis**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 14 April 2021

Yang membuat pernyataan,



Andi Anggraini Hamzah

NIM: D11 17 1311

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kegempaan Kota Mamuju Menggunakan R-Crisis” guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih pada :

1. Bapak Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST., M.Eng.Sc selaku Pembimbing I dan Ibu Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing II yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
2. Saudara Andi Imam M Ardiyansyah, S.T. selaku asisten pembimbing yang telah membantu mengarahkan dan menyelesaikan skripsi penulis..
3. Cindy Roofany dan Oktaviane Pabendan selaku rekan akademik yang telah berkontribusi sebagai tim penelitian topik skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Makassar, 14 April 2021



Penulis

ABSTRAK

Analisis Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kegempaan Kota Mamuju Menggunakan R-Crisis

Oleh :

Andi Anggraini Hamzah

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegempaan kota Mamuju dengan menggunakan metode PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) melalui aplikasi geoteknik R-Crisis. R-Crisis, aplikasi computer yang berfungsi untuk menganalisis berbagai data geologi untuk memperoleh *Hazard Map* dan *Dissegregation Chart*. Selain itu, penelitian ini juga untuk melihat pengaruh jenis tanah terhadap kegempaan Kota Mamuju khususnya di kecamatan Simboro-Mamuju. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah studi pustaka.

Indonesia terletak pada jalur "*Ring of Fire*", salah satunya adalah Kabupaten Mamuju yang merupakan daerah dengan intensitas gempa cukup besar di pulau Sulawesi. Telah terjadi sebanyak 42 aktivitas gempa yang menyebabkan kerusakan parah hingga 21 Januari 2021 kemarin. Oleh karena itu perlu diketahui nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*), PSA (*Probabilistic Surface Acceleration*) dan kelas situs tanah yang akan dihasilkan dari penelitian ini dibutuhkan untuk merencanakan pondasi bangunan tahan gempa.

Kata Kunci : **R-Crisis, PGA, Kelas situs**

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	1
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Gempa.....	5
2.2 Sejarah Kegempaan di Indonesia	6
2.2.1 Sejarah Kegempaan di Mamuju	9
2.3 Sifat dan lokasi Sumber Gempa	14
2.4 Analisis Seismic Hazard PSHA	18
2.3.1 Magnitudo Maksimum dan <i>Slip Rate</i>	21
2.3.2 Intensitas Gempa.....	22
2.3.3 Analisis Probabilistik Metode Gumbel	23
2.3.4 Fungsi Atenuasi	25
2.3.5 Persamaan Atenuasi Boore and Atkinson (2008).....	26
2.3.6 Persamaan Atenuasi Campbell – Bozorgnia (2008).....	27
2.3.7 Persamaan Atenuasi Chiou-Youngs (2008) NGA	28
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Lokasi Penelitian	30

3.2 Peralalatan Penelitian	31
3.3 Pengumpulan Data	31
3.4 Pengolahan Data Gempa.....	33
3.4.1 Identifikasi Sumber Gempa	33
3.4.2 Plot Sumber area tinjauan Gempa ke Google Earth Pro	35
3.4.3 Konvert data *.kml ke *.shp melalui ArcMap	37
3.5 Kerangka Kerja Penelitian.....	39
3.6 Prosedur Penelitian R-Crisis	49
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Perbandingan Output Percepatan Tanah Maksimum di Batuan Dasar (PGA) R-Rrisis dengan SNI 1726:2019	60
4.2 Perbandingan Output Percepatan Tanah Maksimum di Batuan Dasar (PGA) R-Rrisis dengan Peta Zonasi Gempa	67
4.3 Persebaran Jenis Tanah Di Mamuju	72
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Tektonik Indonesia 2010 dan 2018.....	7
Gambar 2 Gempa di Indonesia Hasil Relokasi 2016.....	8
Gambar 3 Lingkungan tektonik a) Pulau Sulawesi b) Sulawesi Barat .	10
Gambar 4 Tatanan Tektonik Pulau Sulawesi (Hamilton, 1979) dan Pembagian Segmentasi Sesar Palukoro (Bellier et al., 2001).....	10
Gambar 5 Peta Sebaran Pusat gempa Bumi Merusak dan tahun Kejadian di Pulau Sulawesi (Supartoyo dan Surani, 2008)	12
Gambar 6 Struktur Geologi Regional Sulawesi (Daryono, 2016).	14
Gambar 7 Model segmentasi sumber gempa subduksi (Megrathrust)	15
Gambar 8 Data SRTM Penampakan Sesar Pallukoro-Sesar Poso.....	16
Gambar 9 Langkah langkah metode psha	20
Gambar 10 Lokasi Penelitian.....	30
Gambar 11 Peta Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan VS30 Gempa bumi Mamuju – Sulawesi Barat Tahun 2021 (BMKG 2021).....	31
Gambar 12 Buku Peta Sumber Gempa 2017	32
Gambar 13 Patahan-patahan sekitar Kota Mamuju	32
Gambar 14 Aplikasi Google Earth	35
Gambar 15 Plot Patahan dengan kedalaman yang sama yang mempengaruhi gempa Kota Mamuju.....	36
Gambar 16 Plot polygon area kecamatan Mamuju- Simboro beserta titik kantor Gubernur Kota Mamuju	36
Gambar 17 Aplikasi ArcGIS	37
Gambar 18 Proses convert *.kml ke *.shp menggunakan ARCMAP.....	38
Gambar 19 Proses plot peta control Persebarab Jenis Tanah.....	38
Gambar 20 Flowchart Kerangka Kerja Penelitian	43
Gambar 21 Flow Chart Olah Data R-Crisis.....	48
Gambar 22 Aplikasi R-Crisis.....	49
Gambar 23 Menu Input Data R-Crisis.....	49
Gambar 24 Input Map Data	50

Gambar 25 Input Grid of Sites	51
Gambar 26 <i>Input Source of geometry</i>	52
Gambar 27 <i>Input Data Spectral Ordinates</i>	53
Gambar 28 <i>Input Seismicity Data</i>	55
Gambar 29 <i>Input Attenuation Data</i>	56
Gambar 30 <i>Input Global Parameters</i>	57
Gambar 31 <i>Running GMPE Analysing</i>	58
Gambar 32 Hazard Map Mamuju –Simboro Periode ulang 200 Tahun	61
Gambar 33 Grafik Exc. Probability dan Intensitas Gempa Periode ulang 200 Tahun.....	61
Gambar 34 Hazard Map Mamuju –Simboro Periode ulang 500 Tahun	62
Gambar 35 Grafik Exc. Probability dan Intensitas Gempa Periode ulang 500 Tahun.....	62
Gambar 36 Hazard Map Mamuju –Simboro Periode ulang 1000 Tahun	63
Gambar 37 Grafik Exc. Probability dan Intensitas Gempa Periode ulang 1000 Tahun.....	63
Gambar 38 Hazard Map Mamuju –Simboro Periode ulang 2500 Tahun	64
Gambar 39 Grafik Exc. Probability dan Intensitas Gempa Periode ulang 2500 Tahun.....	64
Gambar 40 Hazard Map Mamuju –Simboro Periode ulang 5000 Tahun	65
Gambar 41 Grafik Exc. Probability dan Intensitas Gempa Periode ulang 5000 Tahun.....	65
Gambar 42 Hazard Map Mamuju –Simboro Periode ulang 10000 Tahun	66
Gambar 43 Grafik Exc. Probability dan Intensitas Gempa Periode ulang 5000 Tahun.....	66

Gambar 44 Peta Zonasi Gempa Indonesia periode ulang 50 Tahun ..	68
Gambar 45 Peta Zonasi Gempa Indonesia periode ulang 100 Tahun	68
Gambar 46 Peta Zonasi Gempa Indonesia periode ulang 200 Tahun	69
Gambar 47 Peta Zonasi Gempa Indonesia periode ulang 500 Tahun	69
Gambar 48 Peta Zonasi Gempa periode ulang 1000 Tahun.....	70
Gambar 49 Peta Zonasi Gempa Indonesia periode ulang 2500 Tahun	70
Gambar 50 Peta Zonasi Gempa periode ulang 10000 Tahun.....	71
Gambar 51 Peta VS30 Sulawesi Barat.....	72
Gambar 52 Hasil SPT Mamuju (1).....	74
Gambar 53 Hasil SPT Mamuju (2).....	75
Gambar 54 Hasil Site Effects Jenis Tanah Area Simboro-Mamuju	76
Gambar 55 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 Data Dan Parameter Sumber Gempa <i>Fault</i> Untuk Daerah Sulawesi Dan Sekitarnya.	34
Tabel 3 Spectral Ordinates	55
Tabel 4 Nilai Alpha-Beta Sesar.....	56
Tabel 5 Nilai Lamda (Log N) Sesar.....	56
Tabel 6 Perbandingan nilai PGA RCrisis dan SNI	67
Tabel 7 Perbandingan PGA antara peta zonasi gempa Indonesia dengan PGA output RCrisis	71
Tabel 8 Klasifikasi Jenis Tanah	73
Tabel 9 Tabel Persebaran Nilai Bs30 (<i>USGS Vs30 Map Viewer</i>)	76
Tabel 10 Koefisien Situs F_{PGA}	77
Tabel 11 Percepatan Batuan Dasar (PGA) 50-Percentile Kota Mamuju Berdasarkan Sejarah Kegempaan.....	78
Tabel 12 Percepatan Batuan Dasar (PGA) 84-Percentile Kota Mamuju Berdasarkan Sejarah Kegempaan.....	78
Tabel 13 Nilai Peak Surface Acceleration Kota Mamuju 50-percentile	80
Tabel 14 Nilai Peak Surface Acceleration Kota Mamuju 84-percentile	80
Tabel 15 Hubungan T dan S_a pada kelas situs SE (Tanah Lunak) Kota Mamuju	81
Tabel 16 Nilai Amplifikasi Kota Mamuju 50-percentile	82
Tabel 17 Nilai Amplifikasi Kota Mamuju 84-percentile	82

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari bawah permukaan secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Menurut Bayong Tjasyono (2006), yang dimaksudkan dengan gempa bumi yaitu suatu gerakan atau getaran yang terjadi pada kulit bumi yang dihasilkan oleh tenaga endogen. Tenaga endogen adalah kekuatan perut bumi yang terjadi karena adanya perubahan pada kulit bumi).

Dua gempa berkekuatan cukup besar mengguncang daerah Mamuju, Sulawesi Barat pada tanggal 14 dan 15 Januari 2021 lalu dengan kekuatan M 5,9 dan M 6,2. BMKG (2021) mencatat hingga 21 Januari 2021 telah terjadi 42 kali gempa bumi yang mengguncang Kabupaten Majene dan Mamuju, Sulawesi Barat. Gempa bumi tersebut diduga kuat disebabkan oleh aktivitas sesar naik kabupaten Mamuju (*Mamuju thrust*).

Gempa ini mengakibatkan berbagai kerusakan pada kota Mamuju. Kerusakan parah melanda kawasan pantai yang umumnya disusun oleh batuan lunak dengan kecepatan gempa 180 m/s dan dengan jarak 35 km, gempa tersebut akan mudah diresonansikan oleh jenis tanah lunak hingga merusak bangunan di kabupaten Mamuju. Bangunan dengan tinggi 4 lantai atau lebih mengalami kerusakan berat atau bahkan runtuh. Hal ini menguatkan dugaan adanya pengaruh signifikan jenis tanah terhadap kerusakan akibat gempa yang tinggi di Kabupaten Mamuju.

Dari gempa yang telah terjadi, perlu untuk dilakukan kajian untuk mengurangi kerugian atas gempa-gempa lain yang akan terjadi di Kota Mamuju. Untuk meninjau gempa bumi yang terjadi di Mamuju, parameter gempa bumi yang perlu diperhatikan yaitu lokasi gempa bumi, kedalaman dan kekuatannya. Metode yang akan digunakan untuk menganalisis gempa bumi Kota Mamuju adalah Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analyses* (PSHA). Analisis ini dapat dilakukan melalui software R-Crisis yang merupakan salah satu solusi terbaik untuk menjalankan analisis PSHA.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat diperoleh rumusan masalah, sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi geologis dan geoteknik kota Mamuju?
2. Bagaimana perbandingan nilai puncak percepatan batuan menggunakan R-Crisis dengan nilai PGA berdasarkan SNI 1726 : 2019 dan peta geologis buku Peta Gempa Indonesia 2018?
3. Bagaimana jenis tanah yang mempengaruhi kondisi kegempaan kota Mamuju?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan berdasarkan atas penelitian yang dilakukan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui kondisi geologis dan geoteknik kota Mamuju.

2. Mengetahui perbandingan nilai PGA menggunakan R-Crisis dengan nilai PGA berdasarkan SNI 1726 : 2019 dan peta geologis buku Peta Gempa Indonesia 2018.
3. Mengetahui jenis tanah yang mempengaruhi kondisi kegempaan kota Mamuju.

1.4 Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup pembahasan dari masalah kegempaan kota Mamuju pada tugas akhir ini yaitu :

1. Data gempa dan sesar/patahan dalam radius 150 km dari kota Mamuju pada peta sumber dalam radius 150 km dari kota Mamuju pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Tahun 2017.
2. Data gempa 100 tahun di kota Mamuju yang diambil dari katalog gempa lembaga geologi USGS (*United State Geological Survey*)
3. Data gempa kemudian dianalisis dengan metode PSHA pada *software* R Crisis.

1.5 Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Memaparkan teori-teori dasar dan tinjauan umum sehubungan dengan judul penulisan yaitu studi kasus Pengaruh Jenis Tanah pada Kegempaan Kota Mamuju.

BAB III : METODE PENELITIAN

Memaparkan metode dan teknis penelitian yang dilakukan serta cara pengolahan data hasil penelitian.

BAB IV : HASIL PEMBAHAN

Menyajikan data hasil penelitian dan analisis data untuk mencapai hasil penelitian.

BAB V : PENUTUP

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Gempa

Gempa merupakan salah satu fenomena alam yang dapat disebabkan oleh akibat peristiwa alam maupun akibat kegiatan manusia. Gelombang energi yang memancar dari pusat gempa dapat terjadi dari peristiwa mekanis maupun khemis. (Pujianto, 2007).

Menurut Bayoung, (2006) gempa bumi dapat dihasilkan dari tenaga endogen yang merupakan tenaga dari perut bumi yang terjadi karena adanya perubahan pada kulit bumi.

Sedangkan menurut Fowler (1990), gempa dapat diklasifikasikan berdasarkan kedalaman fokus yaitu gempa dangkal (kurang dari 70 km), gempa menengah (kurang dari 300 km), dan gempa dalam (lebih dari 300 km).

Pergerakan lempeng tektonik pada permukaan bumi maupun dibawah laut dapat menyebabkan akumulasi energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa sehingga efeknya sangat dirasakan ke permukaan bumi (Badan Metereologi dan Geofisika). Gempa dibedakan berdasarkan penyebab terjadinya gempa (Bolt, 1978), yaitu gempa tektonik (*tectonic earthquake*), gempa vulkanik (*vulcanic earthquake*), gempa runtuh (*collapse earthquake*), gempa ledakan (*explosion earthquake*). Gempa yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik umumnya lebih besar bila dibandingkan dengan jenis gempa lainnya.

Gempa tektonik terjadi karena pergerakan lempeng-lempeng tektonik yang saling berdesakan sehingga pergerakannya menyebabkan penimbunan energi. Energi yang tertimbun lama-kelamaan akan terlepas dan menyebabkan gempa tektonik.

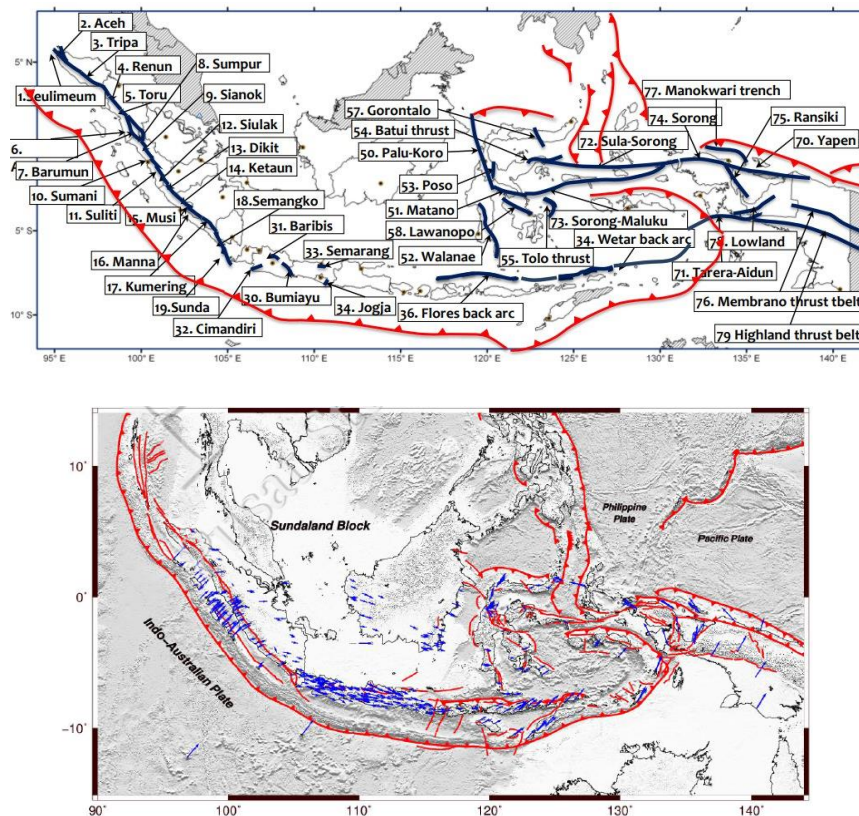
Sedangkan gempa vulkanik merupakan gempa yang terjadi karena adanya aktivitas magma di dalam perut bumi, sehingga gempa vulkanik biasanya hanya terjadi di sekitar wilayah yang terdapat gunung merapi.

Kekuatan gempa yang dirasakan berupa percepatan gempa di permukaan (*Peak Ground Acceleration / PGA*) dinyatakan dalam g. PGA adalah nilai percepatan tanah maksimum yang diukur selama gempa, biasanya diukur dengan alat yang disebut *accelerograph*. Percepatan gempa diukur dan dinyatakan dalam "g" (percepatan gravitasi bumi) yang satuannya m/s^2 ($1 g = 9,81 m/s^2$). PGA juga dapat dinyatakan dalam "gal", dimana $1 gal = 0,01 m/s^2$ ($1 g = 981 gal$).

2.2 Sejarah Kegempaan di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang terletak ada wilayah yang yang berbatasan dengan pertemuan empat lempeng tektonik besar yang sangat aktif, yaitu lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia serta lempeng mikro-Philipina. (Irsyam, M., dkk., 2010). Hal ini membuat Indonesia menjadi wilayah rawan bencana gempa bumi tektonik karena terletak pada wilayah "*Ring of Fire*" yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Hal ini menyebabkan Indonesia sebagai wilayah dengan tatanan tektonik yang kompleks.

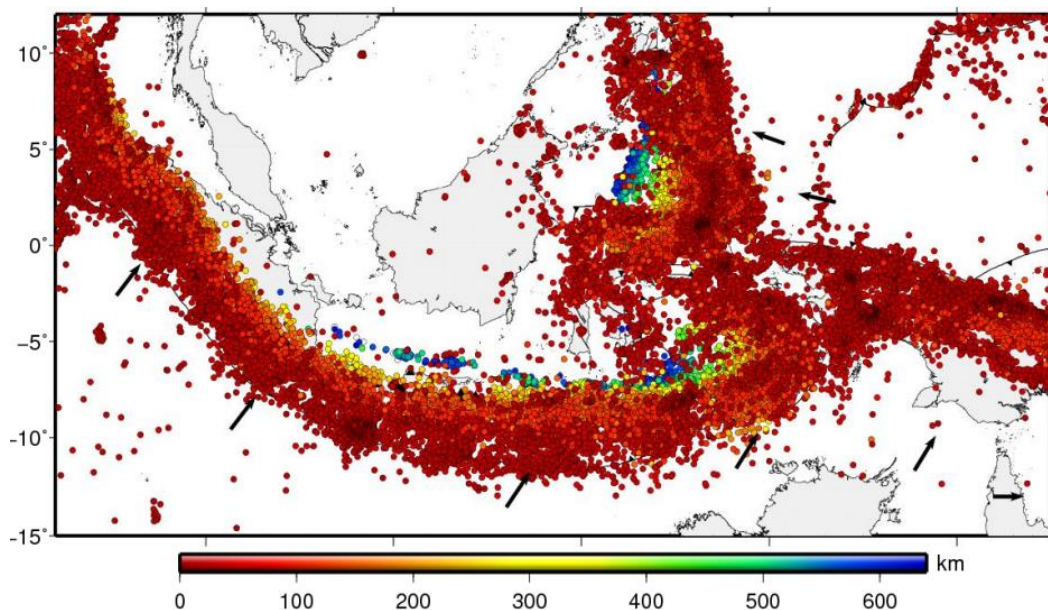
Terdapat beberapa tabrakan lempeng di Indonesia. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatera, Jawa, dan Nusa Tenggara, dan bertabrakan dengan lempeng Pasifik di bagian di bagian utara Irian dan Maluku Utara. Lempeng Indo-Australia cenderung bergerak kearah utara sedangkan lempeng Pasifik cenderung bergerak kearah barat laut dan lempeng Eurasia cenderung statis (Demianus, Nawipa, 2012).



Gambar 1 Peta Tektonik Indonesia 2010 dan 2018

Dari peta tektonik tersebut, menunjukkan bahwa Indonesia adalah wilayah dengan banyak pertemuan lempeng sehingga menyebabkan banyak terjadinya gempa akibat dari proses tektonik. Indonesia juga

memiliki banyak zona gempa subduksi aktif dari timur hingga barat Indonesia. Selain itu, sisa energi dari proses tumbukan antar lempeng juga akan menyebabkan terbentuknya sesar baik di lautan maupun daratan Indonesia.



Gambar 2 Gempa di Indonesia Hasil Relokasi 2016

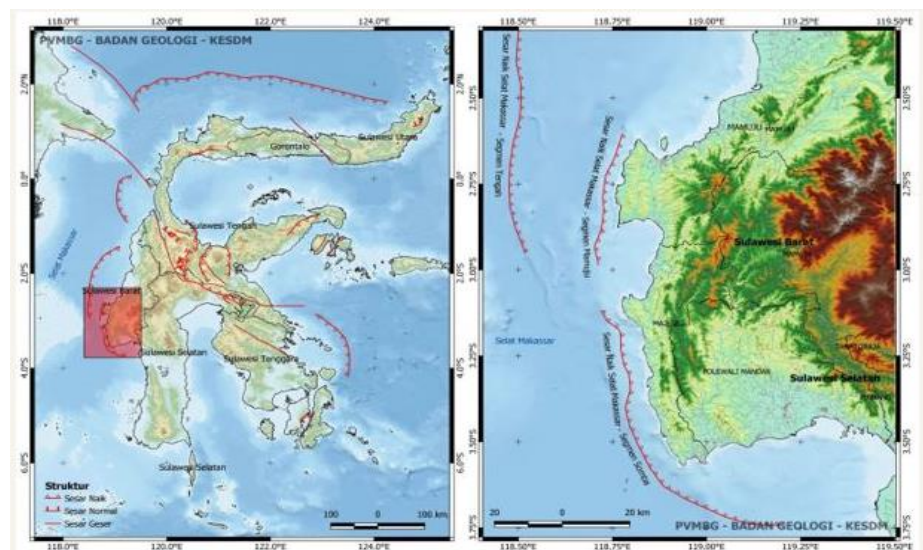
Di wilayah Indonesia telah terjadi banyak gempa dengan nilai magnitude tinggi dan menyebabkan kerusakan besar. Hal ini diakibatkan oleh lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Di Aceh Sumatra Barat terjadi gempa dengan magnitude 9,2 pada tahun 2004. Di Nias tahun 2005 dengan magnitude 8,7, di Bengkulu pada 2007 dengan magnitude 8,5 dan di Mentawai tahun 2010 dengan magnitude 7,8. Gempa di Aceh pada 2004 dinobatkan sebagai bencana alam terburuk urutan nomor 2 sepanjang masa oleh *National Geographic*. Gempa ini berdampak pada 14 negara, menyebabkan kematian lebih dari 220.000 jiwa, 1,5 juta penduduk

kehilangan tempat tinggal, serta kerugian ekonomi 10 miliar USD. (Mori dkk., 2007; Fritz dkk., 2007).

2.2.1 Sejarah Kegempaan di Mamuju

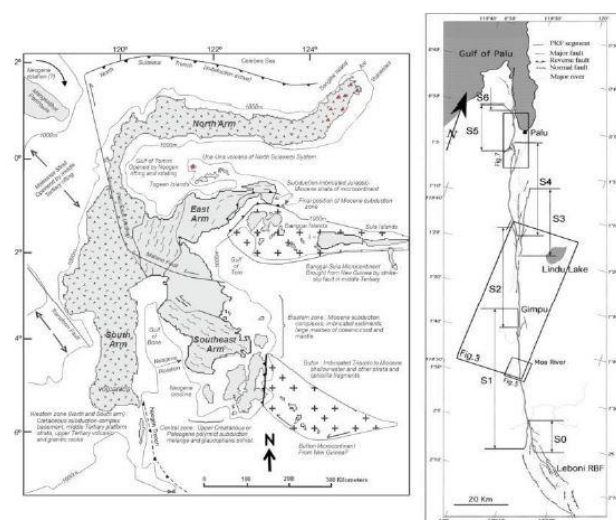
Kota Mamuju sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Barat terletak pada 2°8'24" LS - 2°57'46" LS dan 118°45'26" BT – 119°47'48" BT. Bagian dari Pulau Sulawesi secara aktif berubah bentuk dan sering mengalami kegempaan di bagian barat daya membentuk sesar naik. Secara geologi di Sulawesi Barat terdapat *Majene Fold and Thrust Belt / MFTB*. MFTB terbentuk akibat benturan mikrokontinen Banggai terhadap Sulawesi.

Berdasarkan catatan USGS, dalam kurun waktu 1969 hingga sekarang, gempa bumi dengan magnitudo M 5 hingga M 6 merupakan hal yang biasa terjadi. Di sekitar episenter gempa bumi Januari lalu, paling tidak telah terjadi 3 kali gempa bumi dengan magnitudo > 5, masing-masing terjadi pada 23 Februari 1969, 25 Juni 1984 (5,2 mb) dan 1 Agustus 1984 (7,0 Mw). Pusat gempa bumi 23 Februari 1969 terletak di sekitar Tamerrodo dan dua gempa lainnya berepisentris di Tapalang barat. Data-data kejadian gempa yang terjadi di Mamuju dan sekitarnya diperoleh dari data Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral (ESDM). Aktivitas gempa tersebut disebabkan oleh jalur patahan di pantai wilayah Mamuju.



Gambar 3 Lingkungan tektonik a) Pulau Sulawesi b) Sulawesi Barat

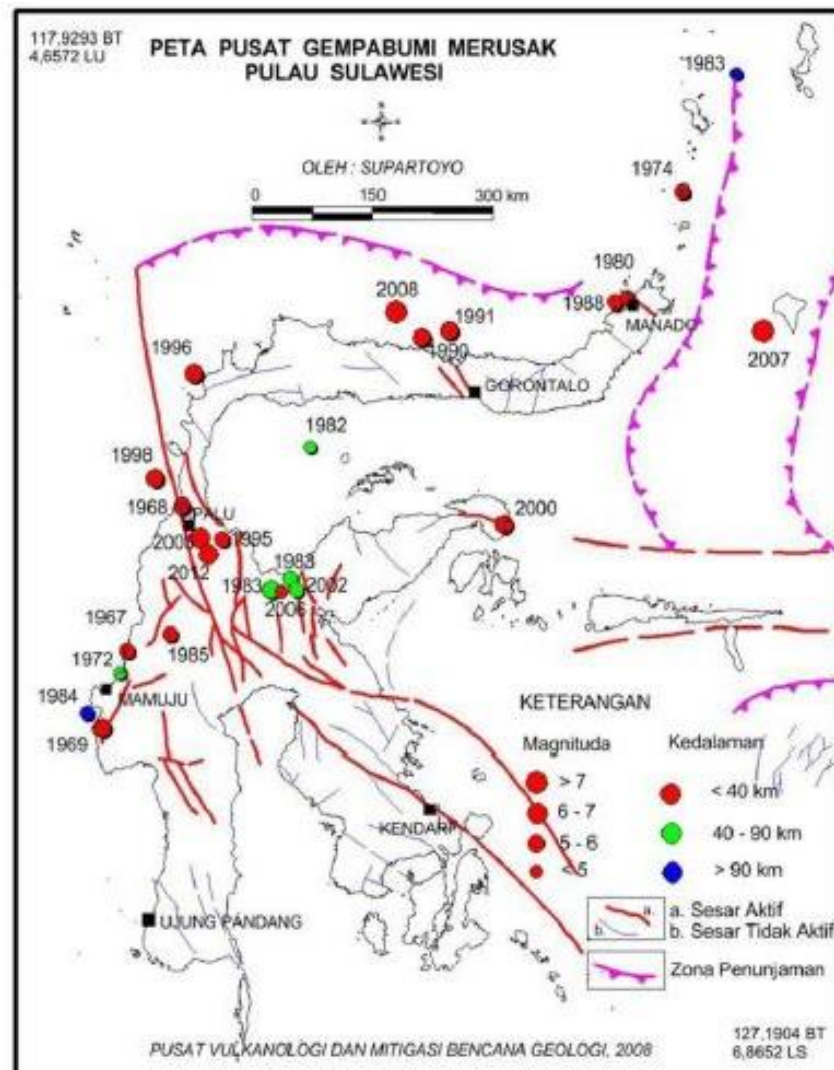
Hingga saat ini belum ada penelitian yang dapat memperkirakan dengan tepat mengenai kapan, dimana dan seberapa besar kekuatan gempa yang akan terjadi sehingga sangat penting untuk memberikan prediksi pergerakan tanah dalam perencanaan infrastruktur tahan gempa (Lanny Dian Kusuma, 2013).



Gambar 4 Tatanan Tektonik Pulau Sulawesi (Hamilton, 1979) dan Pembagian Segmentasi Sesar Palukoro (Bellier et al., 2001)

Menurut Hall dan Wilson (2000) suture Sulawesi terbentuk akibat proses tumbukan antara kontinen dan kontinen (Paparan Sunda dan Australia) yang merupakan daerah akresi yang sangat kompleks, tersusun oleh fragmen ofiolit, busur kepulauan dan kontinen. Pembentukan suture Sulawesi diperkirakan terjadi pada Kala Oligosen Akhir dan berlanjut hingga Miosen Awal. Hingga saat ini diperkirakan deformasi tersebut masih berlangsung.

Secara geologi, menurut Indrastono (2017) daerah Mamuju disusun oleh batuan gunung api Adang (Tma), batuan gunung api Talaya (Tmt), batu gamping Formasi Mamuju (Tmm), batugamping Anggota Tapalang Formasi Mamuju (Tmmt), dan endapan aluvium (Qa).



Gambar 5 Peta Sebaran Pusat gempa Bumi Merusak dan tahun Kejadian di Pulau Sulawesi (Supartoyo dan Surani, 2008)

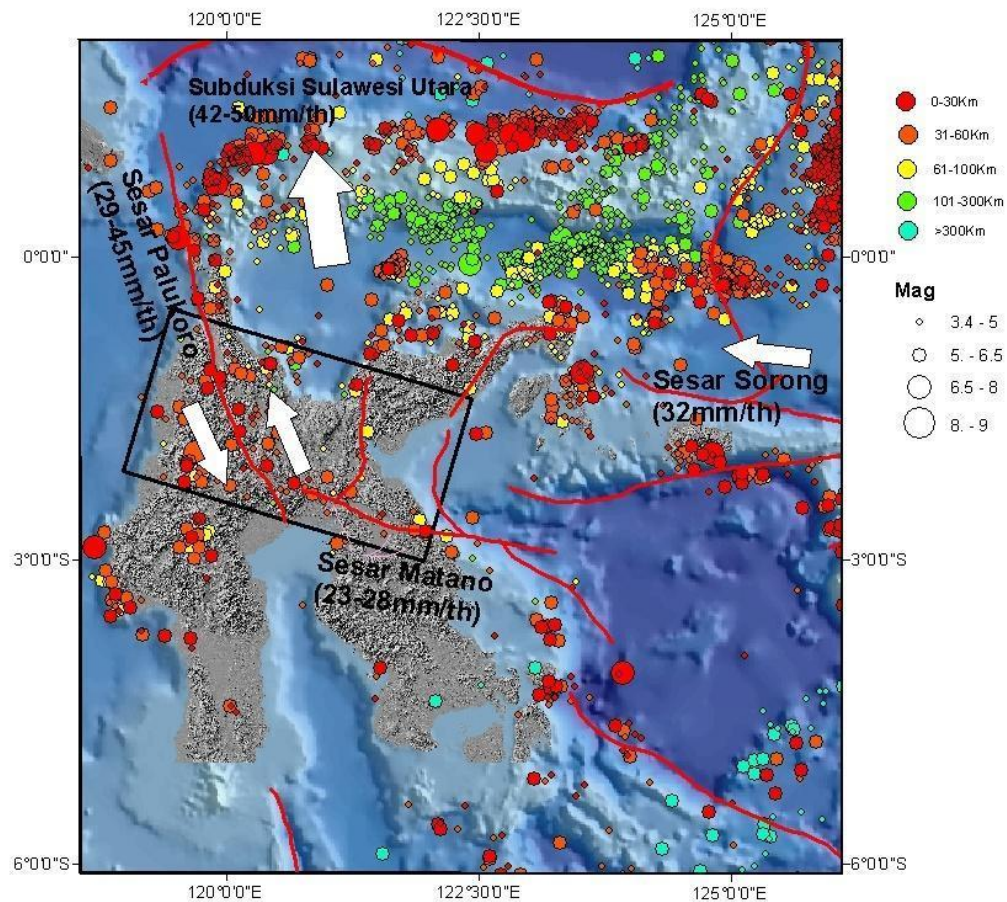
Aktivitas gunung api purba mengontrol pembentukan morfologi berupa perbukitan. Ini terlihat dari adanya beberapa pusat erupsi gunung api di Mamuju, terutama di daerah yang didominasi oleh batuan theprite, tephriphonolite, phonotephrite, dan phonolite. Batuan-batuan tersebut berkomporsi ultrapotasik yang terbentuk pada tataan tektonik benua aktif dengan kerak benua mikro blok Sulawesi.

Data-data kejadian gempa yang terjadi di sekitar wilayah Kota Mamuju yang diperoleh dari katalog USGS (*United State Geological Survey*) dapat dilihat dalam :

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

Dari table tersebut dapat dilihat bahwa selama 50 tahun terakhir, gempa yang terjadi disekitar Kota Mamuju memiliki kekuatan yang berkisar $5 \leq M \leq 9$. Vektor pergerakan adalah kompilasi hasil penelitian geodesi deformasi di Sulawesi. Peta dasar menggunakan SRTM 90 m dan ETOPO1, dengan titik gempa seperti berikut :



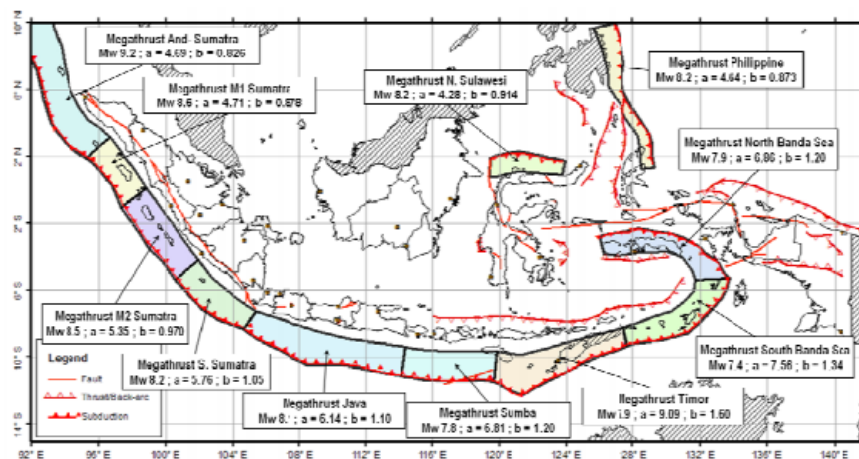
Gambar 6 Struktur Geologi Regional Sulawesi (Daryono, 2016).

2.3 Sifat dan lokasi Sumber Gempa

Setiap gempa yang terjadi tentunya memiliki sumber yang menyebabkan terjadinya gempa tersebut, dimana zona tersebut berpotensi untuk menyebabkan gempa lain di masa mendatang. Jalur/patahan merupakan zona retakan antara dua bongkahan batuan yang keberadaannya menjadikan kedua blok batuan bisa bergerak satu sama lain. Permukaan patahan dapat berupa bidang horizontal, vertical, atau memiliki sudut yang tidak teratur di antara kedua bongkahan. Sumber kejadian gempa berdasarkan mekanisme fisiknya dibagi menjadi :

1. Sumber gempa subduksi

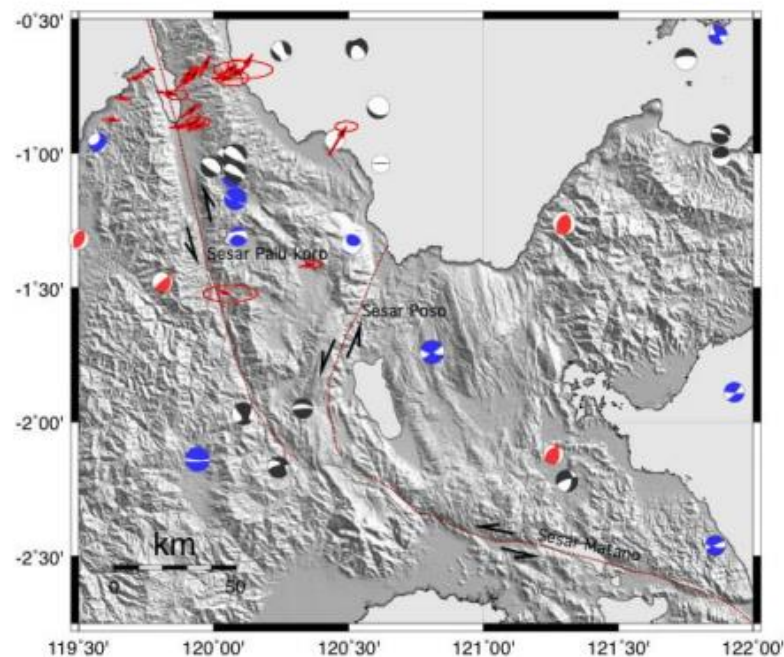
Sumber gempa subduksi yaitu zona sumber gempa dimana terdapat pertemuan lempeng yang posisi lempeng samudra menunjam ke dalam lempeng benua atau dua benua yang saling menumpu dan menghasilkan gempa-gempa besar. (Kertapati, 2006).



Gambar 7 Model segmentasi sumber gempa subduksi (Megathrust)

2. Sumber gempa sesar (fault)

Fault merupakan area sumber gempa dimana pada zona tersebut terdapat patahan dangkal (shallow crustal fault) dengan mekanisme strike slip, reverse, atau normal yang terjadi pada patahan-patahan lempeng. Penentuan lokasi sesar ini berdasarkan data penelitian yang telah dipublikasikan yang kemudian di-trace ulang dengan menggunakan aplikasi *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) yang berbentuk peta geomorfologi dan data gempa historis.



Gambar 8 Data SRTM Penampakan Sesar Pallukoro-Sesar Poso

3. Sumber gempa background

Sumber gempa background merupakan area sumbergempa yang belum dapat didefinisikan dengan jelas, namun area tersebut telah menyebabkan kejadian gempa sebelumnya. Gempa yang terjadi antara gempa kecil hingga tingkat sedang. Sumber gempa ini dapat dimodelkan dengan mengestimasi tingkat kejadian gempa yang akan datang dan gempa-gempa acak di luar fault (Petersen et al, 2008). Model ini memprediksi bahwa kejadian gempa yang lebih besar kemungkinan dapat terjadi di daerah sekitar gempa-gempa kecil sampai sedang yang telah terjadi sebelumnya. Oleh karena itu, pada daerah yang data *fault*-nya belum teridentifikasi dengan jelas,

tetapi di daerah tersebut mempunyai sejarah kejadian gempa, maka model ini sangat sesuai.

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 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). Patahan-patahan tersebut dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut :

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 batuanya 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 ($<10^\circ$) disebut thrust fault, sebaliknya disebut reverse fault.

3. Patahan Sesar Geser (*Strike Slip*)

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 blok batuan.

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

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.

Hal ini lah yang menyebabkan sangat penting untuk meneliti dan memprediksi kemungkinan terjadinya gempa lain dimasa mendatang dan memperkirakan resikonya agar dapat dilakukan kegiatan antisipasi.

2.4 Analisis Seismic Hazard PSHA

Analisis *seismic hazard* dilakukan untuk memberikan estimasi kuantitatif dari guncangan gempa pada suatu lokasi tertentu. Analisis *seismik hazard*

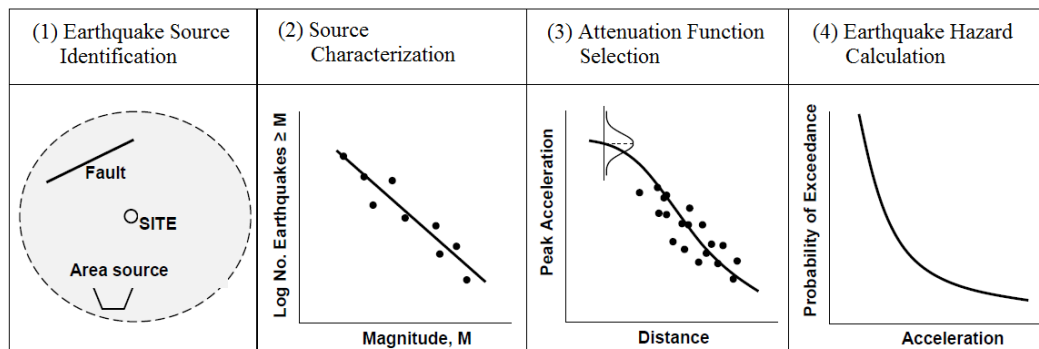
merupakan metode yang sering digunakan ahli gempa untuk memperkirakan tingkat guncangan tanah (*ground motion*) pada suatu wilayah. Karena adanya ketidak-pastian kejadian gempa pada suatu wilayah, maka PSHA selalu mengaitkan keberagaman (uncertainties) dan parameter kekuatan gempa (magnitude), lokasi kejadian gempa dan tingkat pengulangan kejadian gempa.

Salah satu langkah mendasar pada analisis seismik hazard adalah melakukan pemilihan fungsi atenuasi (*Ground motion Prediction Equation/GMPE*). Fungsi atenuasi merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat guncangan tanah akibat gempa dengan magnitudo, jarak dari sumber ke lokasi pengamatan dan sumber gempa tertentu. Dalam upaya meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa, para peneliti terus berusaha mengembangkan metode-metode perhitungan *hazard* gempa, salah satunya dikenal dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analisis* (PSHA).

PSHA dikembangkan berdasarkan teori probabilitas total yang dikemukakan oleh Cornell (1973). Metode ini terus mengalami perkembangan dan kini memiliki banyak kelebihan diantaranya memungkinkan memasukkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis. Faktor-faktor ketidakpastian dapat berupa ketidakpastian ukuran, lokasi maupun frekuensi kejadian gempa.

Faktor-faktor ketidakpastian tersebut dapat diidentifikasi dan diperkirakan untuk selanjutnya digabungkan dengan metode pendekatan

yang rasional di dalam PSHA guna memperoleh gambaran yang lebih lengkap tentang kejadian gempa. Keunggulan lain dari PSHA adalah mampu mengintegrasikan *hazard* dari suatu lokasi terhadap berbagai sumber gempa.



Gambar 9 Langkah langkah metode psha

Menurut L. Reiter (1990), tahapan metode PSHA terdiri dari 4 langkah, yaitu :

1. Identifikasi sumber gempa

Identifikasi sumber dilakukan terhadap tiap kondisi geometri sumber gempa, potensi gempa, serta lokasi reruntuhan yang terjadi di sekitar lokasi tersebut. Distribusi probabilitas seragam digunakan untuk masing-masing zona sumber dengan menganggap bahwa gempa yang terjadi memiliki besaran yang sama pada semua titik didalam zona sumber. Distribusi tersebut kemudian digabungkan dalam geometri sumber untuk mendapatkan distribusi probabilitas jarak sumber ke lokasi.

2. Karakterisasi korelasi perulangan kejadian gempa (*recurrence relationship*)

Pada tahap ini laju rata-rata akan terlampaunya suatu besaran gempa yang dipergunakan untuk karakterisasi tingkat gempa di masing-masing zona sumber. Parameter ini dapat dipergunakan untuk memprediksi nilai maksimum gempa dari sumber gempa.

3. Pemilihan fungsi atenuasi.

Ground motion yang dihasilkan oleh gempa pada suatu lokasi dengan ukuran tertentu pada lokasi tertentu di setiap zona sumber harus ditentukan menggunakan *predictive relationship* dengan memperhitungkan faktor ketidakpastian. Model probabilitas diturunkan untuk memprediksi kemungkinan tiap sumber dapat menimbulkan gempa dengan magnitudo tertentu dalam satu periode waktu tertentu.

4. Penggabungan parameter gempa

Penggabungan perkiraan lokasi gempa, ukuran gempa dan parameter *ground motion* dengan memperhitungkan faktor ketidakpastian dilakukan untuk mendapatkan probabilitas parameter *ground motion* akan terlampaui/*exceeded* dalam selang waktu tertentu.

2.3.1 Magnitudo Maksimum dan *Slip Rate*.

Magnitudo maksimum merupakan gambaran magnitudo gempa yang terbesar yang pernah terjadi diwilayah tersebut (*historic earthquake*), berdasarkan penelitian para ahli atau berdasarkan perhitungan geofisika serta berdasarkan kondisi tektonik dan pergeseran batuan suatu wilayah.

Untuk menentukan magnitudo maksimum suatu gempa dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Membandingkan gempa historik maksimum yang mungkin terjadi berdasarkan pertimbangan data tektonik yang ada, hal ini dilakukan pada daerah sumber gempa yang mempunyai data gempa historik yang cukup banyak.
2. Mengambil nilai magnitudo maksimum dari panjang segmen patahan yang dapat diketahui melalui persamaan Wells dan Coppermansmith (1994). Pada cara yang satu ini, terlebih dahulu perlu dilihat kembali pada sumber gempa yang data historik gempanya sedikit dan magnitudonya rendah namun berpotensi untuk menyebabkan gempa yang cukup besar magnitudonya. Sedangkan *slip rate* menggambarkan kecepatan pergerakan suatu zona sumber gempa relatif terhadap zona lainnya. Besar dan arah *slip rate* salah satunya bisa didapatkan dengan menggunakan metode survei GPS. Adapun risiko gempa adalah kemungkinan terlampauinya (*probability of exceedance*) suatu gempa dengan intensitas tertentu selama masa bangunan.

2.3.2 Intensitas Gempa.

Efek dari sumber gempa dapat tercermin kedalam intensitas makroseismiknya. Intensitas gempa menunjukkan ukuran gempa secara kualitatif berdasarkan tingkatan pengaruh kejadian gempa terhadap fenomena alam di permukaan dan dirasakan oleh manusia,

sarana infrastruktur dan lingkungan pada daerah tertentu. Intensitas dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat *strong ground motion* dan membandingkan pengaruh gempa di wilayah geografis yang berbeda-beda. Metoda perhitungan PGA umumnya dengan menggunakan rumus baku sebagai berikut:

$$PGA = A_{max} \times CF$$

$$CF = \frac{V_{pp}}{[Resolusi \times sensitivitas]}$$

dimana :

A_{max} = Amplitudo maksimum

CF = *Conversion Factor*

V_{pp} = Voltage peak to peak (volt)

Resolusi = 2²⁴

Sensitivitas = sensitivitas akselerometer (volt/g) 5V/g

2.3.3 Analisis Probabilistik Metode Gumbel

Analisis probabilistik metode Gumbel adalah metode analisis yang menggunakan teorema probabilitas yang berkaitan dengan nilai ekstrim. Dari metode ini akan diperoleh percepatan gempa di batuan dasar Kecamatan Mamuju-Sombara dengan periode ulang tertentu. Dalam penelitian ini digunakan periode ulang yang variatif dari 100 hingga 5000 tahun. Pengaruh dari setiap kejadian gempa ditinjau dengan persamaan Fungsi Atenuasi dengan berasumsi bahwa setiap kejadian gempa bersifat

independen terhadap titik tersebut. Persamaan distribusi gempa yang dipaparkan oleh Gumbel adalah :

$$G(M) = e^{(-\alpha e^{-\beta M})}; M \geq 0$$

dimana :

α = Jumlah gempa rata-rata pertahun,

β = parameter yang menyatakan hubungan antara distribusi gempa dengan magnitude,

M = momen magnitude gempa,

Bentuk persamaan distribusi dapat disederhanakan menjadi suatu persamaan garis lurus sebagai berikut :

$$\ln G(M) = -\alpha e^{-\beta M}$$

$$\ln(-\ln G(M)) = \ln \alpha - \beta M$$

Persamaan tersebut identic dengan persamaan linear :

$$y = A + Bx$$

dimana :

$$y = \ln(-\ln G(M))$$

$$\alpha = e^A$$

$$\beta = -B$$

x = percepatan, dalam gal

persamaan garis ini terdiri dari titik-titik x_j, y_j .

$$y_j = \ln(-\ln G(M)) = \ln\left(-\ln\left(\frac{j}{N+1}\right)\right)$$

dimana :

x = percepatan,

$x_j = a_j$ = percepatan gempa ke j ,

j = nomor urut kejadian,

N = selang waktu pengamatan

Karena titik-titik ini selalu membentuk garis lurus, maka digunakan metode kuadrat terkecil (least square) untuk menentukan garis yang paling tepat :

$$A = \frac{\sum y_j \cdot \sum x_j^2 - \sum x \cdot \sum (x_j \cdot y_j)}{n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2}$$

$$B = \frac{n \sum (x_j \cdot y_j) - \sum x_j \cdot \sum y_j}{n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2}$$

Sedangkan hubungan periode ulang (T) dengan percepatan (a) adalah sebagai berikut :

$$a = \frac{\ln(T \cdot \alpha)}{\beta}$$

2.3.4 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi merupakan fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas gerakan tanah setempat, magnitude gempa dan jarak dari sumber gempa. Persamaan atau fungsi atenuasi merupakan persamaan matematika yang menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa (magnitudo M dan jarak R) dengan parameter pergerakan tanah (spektra percepatan) di lokasi tinjauan. Faktor-faktor yang mempengaruhi fungsi atenuasi adalah :

1. Mekanisme gempa

Gempa tektonik diketahui merupakan gempa yang terjadi karena pergeseran lempeng / terlepasnya energi yang tertimbun dari desakan antar lempeng secara tiba-tiba. Perlu diketahui apakah gempa tektonik terjadi pada wilayah subduction atau di area kerak dangkal untuk mengetahui frekuensi gempa yang terjadi.

2. Jarak episentris

Jarak episentris bertujuan untuk menunjukkan adanya perubahan frekuensi gempa dengan adanya perbedaan jarak wilayah yang ditinjau ke titik episentris. Semakin dekat jaraknya, maka frekuensi repon yang diterima akan semakin tinggi.

3. Kondisi lapisan kulit bumi yang dilintasi oleh gelombang gempa

4. Kondisi tanah lokal di sekitar lokasi

Pemilihan fungsi atenuasi yang paling penting adalah berdasarkan mekanisme kejadian gempa, dimana secara umum dikategorikan dalam zona gempa subduksi, zona gempa *background* dan zona gempa *shallow crustal* (Hutape & Mangape, 2009).

2.3.5 Persamaan Atenuasi Boore and Atkinson (2008)

Persamaan ini dikembangkan untuk gempa yang berada pada area *shallow crustal* (*strike-slip*, *reverse*, dan *normal*). Model atenuasi Atkinson dan Boore (2003) dapat digunakan untuk sumber gempa subduksi pada zona megathrust dan beniof. Persamaan disusun dengan model regresi dari 1.574 data *motion ground* dari 58 kejadian gempa utama (*mainshock*)

gempa dangkal patahan aktif dengan rentang jarak 0 sampai 400 km dan rentang magnitude $M = 5$ sampai dengan $M = 8$. Parameter yang digunakan pada Boore and Atkinson (2008) NGA dapat dilihat persamaan berikut:

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S-30}, R_{JB}, M) + \epsilon\sigma_T$$

Pada kondisi $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2$$

Pada kondisi $M \geq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h)$$

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right) + c_3(R - R_{ref})$$

Nilai R dihitung dengan persamaan berikut

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2}$$

dimana :

M = magnitude momen

Rjb = jarak dari sumber gempa

Y = besar spectra percepatan

h = kedalaman sumber gempa

2.3.6 Persamaan Atenuasi Campbell – Bozorgnia (2008)

Persamaan atenuasi ini digunakan pada area *shallow crustal* (*strike slip, reverse, dan normal*). Dasar persamaan ini adalah 64 kejadian gempa yang tercatat di peta hazard 2010. Gempa-gempa tersebut memiliki rentang magnitude 4.3-7,9 dan nilai *rupture radius* 0,1-1999 km, dengan total jumlah

data 1561. Persamaan Cambell-Bozorgnia umumnya dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed}$$

Parameter-parameter persamaan di atas adalah sebagai berikut:

f_{mag} (fungsi yang nilainya bergantung pada besarnya magnitudo)

f_{dis} (fungsi yang nilainya bergantung pada jarak sumber ke *site*)

f_{flt} (fungsi yang nilainya bergantung pada *style faulting*)

f_{hng} (fungsi yang nilainya bergantung pada efek *hanging wall*)

2.3.7 Persamaan Atenuasi Chiou-Youngs (2008) NGA

Persamaan Chiou-Young merupakan persamaan atenuasi ketiga untuk area *shallow crustal* (*strike slip*, *reverse*, dan *normal*). Persamaan ini dikembangkan dengan menggunakan 3.551 data dari 173 kejadian gempa utama (*mainshock*) dan gempa susulan (*foreshock*). Persamaan Chiou-Youngs diturunkan untuk mendapatkan percepatan tanah dan *pseudo spectral acceleration* dengan rasio 5% dengan rentang periode dari 0,01-10 detik. Chiou-Youngs (2008) NGA merupakan pengembangan dari persamaan Sadigh dkk. (1997) sehingga kedua fungsi ini memiliki sedikit. Parameter-parameter yang diperhitungkan dalam Chiou-Young (2008) NGA, dapat dilihat pada persamaan-persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \ln(SA_{1130ij}) = & c_1 + c_{1a}F_{RVi} + c_{1b}F_{NMi} + c_7(Z_{TORi} - 4) + c_2(M_i - 6) \\ & + \frac{C_2 - C_3}{C_n} \ln(1 + e^{c_n(C_M - M_i)}) \\ & + C_4 \ln(R_{RUPij} + C_5 \cosh(C_6(M_i - C_{HM}, 0)_{max})) \\ & + (C_{4a} - C_4) \ln\left(\sqrt{R_{RUPij}^2 + C_{RB}^2}\right) \\ & + \left\{C_{Y1} + \frac{C_{Y2}}{\cosh((M_i - C_{Y3}, 0)_{max})}\right\} \cdot R_{RUPij} \\ & + c_9 \cdot \cos^2 \delta_1 \cdot \tanh\left(\frac{R_{RUPij}}{2}\right) \tan^{-1}\left(\frac{W_i \cos \delta_1}{2(Z_{TORi} + 1)}\right) \frac{1}{\pi/2} \left\{1 \right. \\ & \left. - \frac{R_{JBij}}{R_{RUPij} + 0.001}\right\} + \tau \cdot Z_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln(SA_{ij}) = & \ln(SA_{1130IJ}) + \phi_1 \left(\ln\left(\frac{V_{a30IJ}}{1130}\right) \cdot 0 \right) \min + \\ & \phi_2 \left(e^{\phi_3(V_{s30IJ} \cdot 113) \min - 360} - e^{\phi_3(11360 - 360)} \right) \cdot \ln\left(\frac{SA_{1130IJ} + \phi_4}{\phi_4}\right) + \sigma Z_{IJ} \end{aligned}$$

dimana :

R_{RUP} = jarak terdekat ke bidang *rupture* (km)

R_{JB} = jarak Joiner-Boore (km)

δ = sudut *dip rupture*

OW = lebar *rupture* (km)

Z_{TOR} = lebar *rupture* (km)

F_{RV} = 1 untuk $30^\circ \leq \lambda \leq 150^\circ$; nilai $F_{RV} = 0$ untuk mekanisme lain
(*reverse* dan *reverse-oblique*)

F_{NM} = 1 untuk $-120^\circ \leq \lambda \leq -60^\circ$; nilai $F_{NM} = 0$ untuk mekanisme lain
(*normal* dan *normal-oblique*)

λ = sudut *rake*

V_{s30} = kecepatan geser rata-rata untuk kedalaman tanah 30 m paling atas
(m/dtk)

τ = standar error untuk *inter-event*

σ = standar error untuk *intra-event*