

**ANALISIS BAHAYA SEISMİK DI PROVINSI BENGKULU
MENGUNAKAN METODA *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD
ANALYSIS (PSHA)***

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**RISKI KURNIAWAN
NIM. 16034019**

**DOSEN PEMBIMBING
SYAFRIANI, M.Si, Ph.D**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

**ANALISIS BAHAYA SEISMIK DI PROVINSI BENGKULU
MENGUNAKAN METODA *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD
ANALYSIS* (PSHA)**



**RISKI KURNIAWAN
NIM. 16034019**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

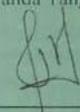
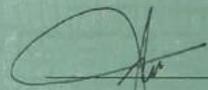
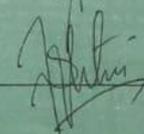
Nama : Riski Kurniawan
NIM : 16034019
Prodi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ANALISIS BAHAYA SEISMIK DI PROVINSI BENGKULU
MENGUNAKAN METODA *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD*
ANALYSIS (PSHA)

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi Departemen
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Juni 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Syafriani, M.Si., Ph.D.	
Anggota	: Dr. H. Ahmad Fauzi, M.Si.	
Anggota	: Drs. Letmi Dwiridal, M.Si.	

PERSETUJUAN SKRIPSI

ANALISIS BAHAYA SEISMIK DI PROVINSI BENGKULU
MENGUNAKAN METODA *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD
ANALYSIS* (PSHA)

Nama : Riski Kumiawan
NIM : 16034019
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

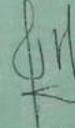
Padang, Juni 2022

Mengetahui:
Kepala Departemen Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 19690120 1993032 002

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Syafriani, M.Si., Ph.D.
NIP. 19740305 1989022 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Analisis Bahaya Seismik Di Provinsi Bengkulu Menggunakan Metoda *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)”, adalah asli karya sendiri.
2. Di dalam karya tulis ini berisi gagasan, rumusan, dari penelitian saya, tanpa bantuan pihak lain, kecuali pembimbing.
3. Di dalam Karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam ada pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Juni 2022

Darmayatan
METZAN
TEMBEL
5330DAJX80563043
Riski Kurniawan
16034019



ANALISIS BAHAYA SEISMIK DI PROVINSI BENGKULU MENGUNAKAN METODA *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (PSHA)*

ABSTRAK

Indonesia memiliki tingkat kegempaan yang tinggi baik di darat maupun di laut, sehingga Indonesia termasuk negara yang rawan terhadap gempa. Hal tersebut diakibatkan karena Indonesia terletak diantara tiga lempeng utama yaitu lempeng Eurasia di utara, lempeng Indo-Australia di selatan dan lempeng Pasifik di timur laut. Salah satu Provinsi rawan gempabumi di Indonesia adalah Provinsi Bengkulu. Kondisi ini disebabkan karena Provinsi Bengkulu merupakan jalur pertemuan lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia. Hal ini mengakibatkan banyaknya terjadi gempabumi di Provinsi Bengkulu. Karena hal tersebut perlunya membuat peta bahaya gempa di Provinsi Bengkulu sehingga masyarakat Provinsi Bengkulu dapat mengetahui tingkat bahaya gempa sebagai mitigasi bencana gempabumi.

Jenis penelitian ini deskriptif, yaitu dengan mengumpulkan data katalog gempabumi NEIC/USGS dengan periode tahun 1969-2019 dengan $M > 5$ S.R. Pengolahan data *hazard seismic* menggunakan metode *probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA). PSHA didasarkan pada parameter gempa yang menghasilkan pergerakan tanah terbesar. Besarnya intensitas pada suatu lokasi akibat gempabumi di daerah sumber gempa dengan magnitude M dan berjarak R dapat digunakan fungsi atenuasi. Fungsi atenuasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Joyner-Boore (1997) dan Young et al (1997).

Hasil yang diperoleh bahwa bahaya seismik yang terbesar terjadi pada PGA maksimum $T = 0.2$ detik sebesar $0.72\text{ g} - 2.63\text{ g}$ dan $T = 1$ detik sebesar $0.26\text{ g} - 0.85\text{ g}$ berada di wilayah Kepahiang. Tingkat bahaya seismik rendah bernilai $1.00\text{ g} - 1.54\text{ g}$ pada $T = 0.2$ detik dan $0.26\text{ g} - 0.43\text{ g}$ berada di wilayah Kabupaten Muko – Muko dan Kota Bengkulu. Hasil ini merupakan kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun.

Kata Kunci: Gempa, PGA, PSHA, Bahaya.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Bahaya Seismik di Provinsi Bengkulu dengan Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)”.

Penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik bantuan secara moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Syafriani, M. Si, Ph. D., selaku Pembimbing dan sekaligus ketua Prodi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang, yang telah meluangkan waktu, pikiran, saran dan tenaga serta kesabarannya untuk membimbing penulis dalam kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ahmad Fauzi, M.Si selaku Penguji 1 yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan saran kepada penulis.
3. Bapak Drs. Letmi Dwi Rizal, M.Si selaku Penguji 2 yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan saran kepada penulis.
4. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan M. Si selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
5. Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan IPA Universitas Negeri Padang.
6. Seluruh Tim Seismik, Fadil Ramadhani, Mela Yusrahman dan Mila Herman, Mudzullah Rajif, S.Si, yang telah melakukan penelitian bersama penulis dan banyak membantu serta memberikan semangat kepada penulis.

7. Anisa Rahmi, S.Si dan Helmita, S.Si yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi serta memberi semangat kepada penulis.
8. Keluarga tercinta yang telah menjadi alasan penulis untuk tetap berjuang dan tidak menyerah.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini masih sangat jauh dari kata sempurna, meskipun penulis sudah melakukan usaha terbaik untuk menjadikan skripsi ini lebih baik. Oleh karena itu penulis mengharapkan masukan, kritikan, dan saran yang dapat membantu untuk menjadikan skripsi ini lebih baik.

Padang, November 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	5
A. Gempabumi	5
B. <i>Probabilistic Hazard Seismic analysis (PSHA)</i>	16
C. Fungsi Atenuasi	22
D. Percepatan Tanah Maksimum	24
E. Parameter seismotektonik	26
F. Bahaya dan Resiko	27
G. Indek Bahaya Seismik	29
H. Tatanan Tektonik Provinsi Bengkulu	31
I. Geologi Provinsi Bengkulu	33
J. Geologi Kepahiang	36
K. Undang - Undang Tentang Mitigasi Bencana	40
L. Penelitian Relevan	44
M. Deskripsi Daerah Penelitian	45
N. Kerangka Berpikir	46
BAB III METODE PENELITIAN	45

A. Jenis Penelitian	45
B. Variabel Penelitian	45
C. Teknik Pengambilan Data	45
D. Teknik Pengolahan Data	46
E. Teknik Analisa Data	50
F. Teknik Interpretasi Data.....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
A. Hasil.....	52
B. Pembahasan	56
BAB V PENUTUP	56
A. Kesimpulan.....	56
B. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hubungan Antara Skala MMI dengan Nilai Percepatan Tanah.....	14
Tabel 2. Hubungan Parameter-Parameter Resiko Gempa.....	20
Tabel 3. Konversi Skala Magnitudo.....	39
Tabel 4. Percepatan Batuan Dasar Pada $T = 0,2$ detik.....	47
Tabel 5. Percepatan Batuan Dasar Pada $T = 1$ detik.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mekanisme Terjadinya Gempa	6
Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Intensitas dengan PGA	15
Gambar 3. Tahap dari Analisis Hazard Seismic Probabilitas	17
Gambar 4. Distribusi Gempabumi yang Terjadi di Provinsi Bengkulu.....	26
Gambar 5. Peta Provinsi Bengkulu	33
Gambar 6. Kerangka Berfikir Penelitian.....	34
Gambar 7. Peta Sekmentasi dan Mmaks Subduksi di Indonesia	41
Gambar 8. Peta Sekmen Sesar Pulau Sumatera	42
Gambar 9. Peta Bahaya Seismik di Provinsi Bengkulu T= 0,2 detik	46
Gambar 10. Peta Bahaya Seismik di Provinsi Bengkulu T= 1 detik	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Katalog Gempabumi	61
Lampiran 2. Parameter Bahaya Seismic a-b Value.....	67
Lampiran 3. Percepatan di Batuan Dasar pada $T= 0,2$ detik.....	67
Lampiran 4. Percepatan di Batuan Dasar pada $T= 1$ detik.....	75

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gempabumi merupakan bencana alam yang sering terjadi dan dapat merugikan masyarakat yang ada di Indonesia. Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya permukaan bumi akibat adanya pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada permukaan bumi akibat pelepasan energi di kerak bumi. Pelepasan energi inilah yang mengakibatkan terjadinya deformasi pada lempeng tektonik didalam kerak bumi (Syafriani, 2018). Pelepasan energi yang terjadi akibat gempabumi mengakibatkan pergeseran disuatu wilayah.

Kejadian gempabumi banyak mengakibatkan jatuhnya korban jiwa dan kerugian materi yang sangat parah. (Sunarjo, 2012). Banyaknya gempabumi di Indonesia diakibatkan karena Indonesia terletak diantara tiga lempeng utama yaitu lempeng Eurasia di utara, lempeng Indo-Australia di selatan dan lempeng Pasifik di timur laut. Akibat dari pertemuan tiga lempeng tersebut Indonesia memiliki tingkat kegempaan yang tinggi baik di darat maupun di laut (Arif Ismul Hadi dan Kirbani Sri Brotopuspito, 2015). Sehingga Indonesia termasuk negara yang rawan terhadap gempa.

Salah satu Provinsi rawan gempabumi di Indonesia adalah Provinsi Bengkulu. Kondisi ini disebabkan karena Provinsi Bengkulu merupakan jalur pertemuan lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia. Selain itu, Provinsi Bengkulu juga merupakan daerah yang dilalui jalur Sesar Sumatra (Arif Ismul Hadi dan Kirbani Sri Brotopuspito, 2015). Ada dua sumber gempa utama

terletak di Provinsi Bengkulu. Pertama adalah zona subduksi antara Lempeng Indo Australia dan Lempeng Eurasia. Kedua adalah sesar aktif yang melintasi Pulau Sumatera yaitu secara lokal dikenal sebagai Sesar Sumatera dan Sesar Mentawai (Arif Ismul Hadi dan Kirbani Sri Brotopuspito, 2015). Provinsi Bengkulu termasuk wilayah yang rawan terhadap gempa bumi akibat adanya sesar Sumatera yang aktif.

Sesar Sumatera terjadi akibat adanya lempeng Indo-Australia yang menabrak bagian barat Pulau Sumatera secara miring. Sesar Sumatera ini membentang dari Banda Aceh hingga Lampung dan sesar ini membagi pulau Sumatera menjadi dua bagian, di sebelah barat pulau Sumatera membentang zona subduksi yang sejajar dengan garis pantai Sumatera. Sementara di darat membentang sesar Sumatera yang membelah Pulau Sumatera menjadi dua dari teluk Andaman di ujung utara sampai teluk Semangko di ujung selatan yang sejajar dengan kelurusan zona subduksi (Arisbaya et al. 2015). Sesar Sumatera ini menjadi sumber gempa bumi di daratan. Dampak yang ditimbulkan akibat gempa bumi sering terjadi di Provinsi Bengkulu. Selama dua dekade terakhir, Provinsi Bengkulu mengalami dua gempa bumi yang kuat yaitu pada tanggal 4 Juni 2000 dengan kekuatan 7,9 Mw dan 12 September 2007 dengan besarnya 8,6 Mw. Tercatat, gempa bumi pada September 2007 telah mengakibatkan bencana dahsyat dan dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur, rumah penduduk, rumah sakit serta sarana dan prasarana (Mase, 2017). Sebagian besar juga mengakibatkan korban jiwa, kerugian material, dan kerugian materi yang terjadi akibat gempa bumi.

Setiap kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi di wilayah tertentu ditentukan oleh parameter-parameter gempa bumi salah satunya yaitu dengan menggunakan nilai percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA). Percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground acceleration* (PGA) adalah nilai terbesar percepatan tanah pada suatu tempat yang diakibatkan oleh getaran gempa bumi dalam periode waktu tertentu (Hadi, 2012). PGA merupakan salah satu parameter penting yang digunakan dalam studi tingkat bahaya dan resiko gempa bumi yang dapat menimbulkan kerusakan. Selain mencari nilai PGA maksimum, upaya mitigasi dapat dilakukan dengan mengetahui hazard seismik yang dapat bermanfaat dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Hazard seismik dapat menggambarkan efek gempa pada suatu lokasi yang akan membantu dalam rangka antisipasi dan meminimalisir korban jiwa maupun kerugian materi. Meminimalisir dampak bencana perlu dilakukan secara dini dan optimal. Para peneliti mengembangkan metode-metode perhitungan hazard seismik untuk meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa, salah satunya dikenal dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). PSHA dikembangkan berdasarkan teori probabilitas total yang dikemukakan oleh Cornell (1968). Penggunaan metode PSHA menggunakan teorema probabilitas total dan atenuasi Youngs dan Joyner-Boore. Dimana fungsi dari atenuasi digunakan untuk menggambarkan besarnya intensitas pada suatu lokasi akibat peristiwa gempa bumi di wilayah sumber gempa dengan magnitudo dan jarak dari lokasi gempa itu terjadi.

Berdasarkan permasalahan yang telah di jelaskan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bahaya seismik di Provinsi Bengkulu karena sering

terjadinya gempa bumi sehingga penting untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat serta upaya mitigasi bencana gempa bumi dan juga digunakan sebagai bahan acuan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di Provinsi Bengkulu.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan diatas, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Provinsi Bengkulu di lintasi oleh dua patahan, yaitu Patahan Sumatera, Mentawai, dan Zona Subduksi yang mengakibatkan sering terjadinya gempa bumi.
2. Diperlukannya mitigasi bencana dalam meminimalisir dampak dari gempa bumi.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya cakupan penelitian, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter magnitudo gempa bumi yang diteliti memiliki batasan magnitudo $M \geq 5.0$ SR.
2. Wilayah yang akan diteliti yaitu wilayah Bengkulu ($5^{\circ}40' - 2^{\circ} LS$ dan $40' - 104^{\circ} 0' BT$)
3. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data katalog gempa bumi yang tersedia di situs *National Earthquake Informations Center U.S Geology Survey (NEIC/USGS)* periode tahun 1970-2020.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana bentuk peta dari bahaya gempabumi di Provinsi Bengkulu menggunakan metoda *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)?
2. Bagaimana tingkat bahaya gempabumi di Provinsi Bengkulu setelah di kaji menggunakan metoda *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)?

E. Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini, untuk menjawab rumusan masalah yang telah diuraikan, maka adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Membuat peta bahaya gempabumi di Provinsi Bengkulu dengan metoda *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA).
2. Mengetahui tingkat bahaya gempa di Provinsi Bengkulu menggunakan metoda *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA).

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat Memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengetahui tingkat bahaya gempabumi sebagai bahan acuan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di Provinsi Bengkulu.
2. Melakukan mitigasi bencana di Provinsi Bengkulu.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Gempabumi

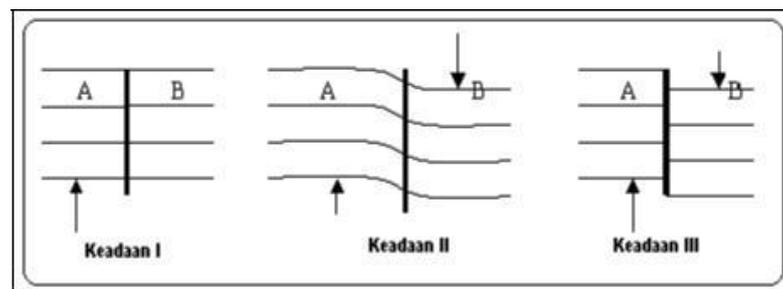
1. Gempabumi

Gempabumi adalah suatu peristiwa bergetarnya bumi yang dihasilkan dari gelombang seismik akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba akibat pergerakan/pergeseran lempeng tektonik. Gempabumi yang disebabkan oleh aktivitas pergerakan lempeng disebut gempabumi tektonik. Sedangkan gempabumi terjadi akibat aktifitas gunung berapi disebut sebagai gempabumi vulkanik. Pergerakan/pergeseran tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah yaitu berupa gelombang seismik. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu dipermukaan bumi seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan harta benda.

Suatu kejadian gempabumi dapat mengakibatkan kerusakan total pada bangunan-bangunan penting dan sarana infrastruktur serta menimbulkan korban jiwa yang tidak sedikit. Gempabumi merupakan peristiwa alam yang tidak dapat diprediksi dan dihentikan kejadiannya karena terjadi secara tiba-tiba. Kita hanya dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan untuk meminimalisir bahaya yang diakibatkan oleh gempabumi.

Teori yang menjelaskan mekanisme terjadinya gempabumi yang dikenal sebagai "Elastic Rebound Theory". Pada teori ini gempabumi terjadi pada daerah deformasi dimana terdapat dua buah gaya yang bekerja dengan

arah berlawanan pada batuan kulit bumi. Energi yang tersimpan selama proses deformasi berbentuk elastis strain dan akan terakumulasi sampai melampaui daya dukung batas maksimum batuan, hingga akhirnya menimbulkan rekahan atau patahan. Pada saat terjadi rekahan atau patahan tersebut energi yang tersimpan sebagian besar akan dilepaskan dalam bentuk gelombang ke segala arah baik dalam bentuk gelombang transversal maupun longitudinal. Peristiwa inilah yang disebut dengan gempa bumi. Mekanisme terjadinya gempa bumi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Terjadinya Gempabumi (Lowrie, 2007)

Keadaan I menunjukkan suatu lapisan yang belum terjadi perubahan bentuk geologi karena di dalam bumi terjadi gerakan yang terus-menerus, maka akan terdapat stress yang lama kelamaan akan terakumulasi dan mampu merubah bentuk geologi dari lapisan batuan.

Keadaan II menunjukkan suatu lapisan batuan telah mendapat dan mengandung stress dimana telah terjadi perubahan bentuk geologi. Untuk daerah A mendapat stress ke atas, sedangkan daerah B mendapat stress ke bawah. Proses ini berjalan terus sampai stress yang terjadi atau dikandung di daerah ini cukup besar untuk merubahnya menjadi gesekan antara daerah A dan daerah B. Lama kelamaan lapisan batuan sudah tidak mampu lagi untuk menahan stress sehingga terjadi suatu pergerakan atau perpindahan yang tiba-

tiba sehingga mengakibatkan terjadinya patahan. Peristiwa pergerakan secara tiba-tiba ini disebut gempabumi.

Keadaan III menunjukkan lapisan batuan yang sudah patah karena adanya pergerakan yang tiba-tiba dari batuan tersebut. Gerakan perlahan-lahan sesar ini akan berjalan terus menerus sehingga seluruh proses diatas akan diulangi lagi dan sebuah gempa akan terjadi lagi setelah beberapa waktu lamannya dan demikian seterusnya (Lowrie, 2007).

2. Klasifikasi Gempa

Gempabumi merupakan fenomena yang bersifat merusak dan menimbulkan bencana yang dapat digolongkan menjadi empat jenis menurut (Sunarjo, 2012) yaitu sebagai berikut.

a). Gempabumi Vulkanik (gunung api)

Gempabumi ini terjadi akibat adanya aktivitas magma yang bisa terjadi sebelum gunung api meletus. Apabila keaktifannya semakin tinggi maka akan menyebabkan terjadinya ledakan yang juga akan menimbulkan gelombang seismik. Gempabumi tersebut hanya terasa disekitar lokasi gunung api.

b). Gempabumi Tektonik

Gempabumi ini disebabkan oleh adanya aktivitas tektonik, yaitu pergeseran lempeng-lempeng tektonik yang mempunyai kekuatan sangat bervariasi. Gempabumi ini banyak menimbulkan kerusakan atau bencana alam di permukaan bumi karena getaran gempa yang kuat menjalar keseluruh bagian bumi.

c). Gempabumi runtuhan

Gempabumi ini biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun pada daerah pertambangan. Jenis gempabumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.

d). Gempabumi buatan

Gempabumi buatan adalah getaran pada bumi yang disebabkan oleh aktivitas dari manusia seperti ledakan dinamit, nuklir, atau palu yang dipukulkan ke permukaan bumi untuk kegiatan eksplorasi.

Berdasarkan kedalaman sumber gempabumi (h), gempabumi digolongkan atas tiga jenis yaitu sebagai berikut (Sunarjo, 2012).

- 1). Gempabumi dalam (deep) dengan $h > 300$ km.
- 2). Gempabumi menengah (intermediate) dengan $70 \leq h \leq 300$ km.
- 3). Gempabumi dangkal (shallow) dengan $h \leq 70$ km.

3. Parameter gempabumi

Menurut Sunarjo (2012) parameter sumber gempabumi adalah sebagai berikut :

a). Episenter

Episenter merupakan pusat gempa di permukaan bumi sebagai proyeksi dari focus gempa didalam bumi yang tegak lurus terhadap *hypocenter*. Lokasi episenter dibuat dalam sistem koordinat kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur.

b). Origin time

Waktu kejadian gempabumi (origin time) adalah waktu terlepasnya tegangan (stress) yang berbentuk penjalaran gelombang seismik dan

dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan *Universal Time Coordinate* (UTC).

c). Kedalaman (depth)

Kedalaman sumber gempa bumi merupakan ukuran kedalaman di pusat terjadinya patahan yang diukur dari permukaan bumi (episenter) tegak lurus terhadap hiposenter. Kedalaman sumber gempa merupakan ukuran kedalaman pusat terjadinya patahan yang diukur dari permukaan bumi. Menurut Sunarjo (2012) kedalaman sumber gempa bervariasi mulai dari gempa dangkal ($h = 0 \text{ km} - 70 \text{ km}$), menengah ($h = 71 \text{ km} - 300 \text{ km}$), dan dalam ($h > 300 \text{ km}$) yang batas harganya tergantung dari keadaan tektonik setempat.

d). Magnitudo

Kekuatan gempa bumi atau magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa bumi yang menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan seismograf. Richter memperkenalkan konsep magnitudo (kekuatan gempa di sumbernya) secara umum dengan satuan skala richter dan dilambangkan dengan M (Sunarjo, 2012). Kekuatan gempa bumi dinyatakan dengan besaran magnitudo dalam skala logaritma basis 10. Suatu harga magnitudo diperoleh sebagai hasil analisis tipe gelombang seismik tertentu (berupa rekaman getaran tanah yang tercatat paling besar) dengan memperhitungkan koreksi jarak stasiun pencatat ke episenter. Bentuk umum magnitudo gempa bumi diperlihatkan pada persamaan berikut (Lay dan Wallace, 1995).

$$M = \log\left(\frac{A}{T}\right) + f(\Delta, h) + Cs + Cr \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

M = magnitudo gempabumi

A = amplitudo gerakan tanah (mikron)

T = perioda (s)

$f(\Delta, h)$ = koreksi episenter dan kedalaman

Cs = koreksi untuk penempatan stasiun

Cr = koreksi wilayah sumber

Menurut Lay dan Wallace (1995) saat ini terdapat empat jenis magnitudo yang umum digunakan yaitu sebagai berikut :

a). Magnitude Local (ML)

Magnitudo Local (ML) pertama kali diperkenalkan oleh Richter di awal tahun 1930-an dengan menggunakan data kejadian gempabumi di daerah California yang direkam oleh seismograf Woods-Anderson. Menurutnya dengan mengetahui jarak episenter ke seismograf dan mengukur amplitudo maksimum dari sinyal yang tercatat di seismograf maka dapat dilakukan pendekatan untuk mengetahui besarnya magnitudo gempabumi yang terjadi. Magnitudo lokal mempunyai persamaan empiris yaitu sebagai berikut:

$$ML = \log A - 2.48 + 2.76 \log \Delta \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

M_L = magnitudo lokal (SR)

A = amplitudo gerakan tanah (mikron)

Δ = jarak episenter (km)

b). Magnitude body (M_b)

Terbatasnya penggunaan magnitudo lokal untuk jarak tertentu membuat dikembangkannya tipe magnitudo yang bisa digunakan secara luas. Salah satunya adalah M_b atau magnitudo body (*Body Wave Magnitude*). Magnitudo ini didefinisikan berdasarkan catatan amplitudo dari gelombang P yang menjalar melalui bagian dalam bumi. Magnitudo bodi secara umum dirumuskan dengan persamaan:

$$MB = \log \left(\frac{A}{T} \right) + Q(\Delta, h) \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

M_b = magnitudo badan (SR).

A = amplitudo gerakan tanah (mikron).

T = perioda (s).

$Q(\Delta, h)$ = faktor koreksi.

c). Magnitude surface M_s

Magnitudo yang diukur berdasarkan amplitudo gelombang permukaan disimbolkan dengan M_s . Dalam prakteknya (USA), amplitudo gerakan tanah yang dipakai adalah amplitudo maksimum gelombang permukaan, yaitu gelombang Rayleigh dalam satuan mikron dan seismogram periode panjang (*long period*) komponen vertikal dengan periode 20 ± 3 sekon dan periodenya diukur pada gelombang dengan amplitudo maksimum tersebut. Magnitudo permukaan secara umum dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$Ms = \log A_{20} + 1.66 \log \Delta \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

M_s = magnitudo permukaan (SR)

A_{20} = amplitudo gelombang permukaan (T=20s) (mikron)

Δ = Jarak episenter (Km)

d). Magnitude Moment (MW)

Kekuatan gempa bumi sangat berkaitan dengan energi yang dilepaskan oleh sumbernya. Pelepasan energi ini berbentuk gelombang yang menjalar ke permukaan dan bagian dalam bumi. Penjalaran gelombang ini mengalami pelemahan karena absorpsi dari batuan yang dilaluinya, sehingga energi yang sampai ke stasiun pencatat kurang dapat menggambarkan energi gempa bumi di hiposenter. Kanamori (1977) serta Lay dan Wallace (1995) memperkenalkan magnitudo momen (*moment magnitude*) yaitu suatu tipe magnitudo yang berkaitan dengan momen seismik namun tidak bergantung dari besarnya magnitudo permukaan.

$$M_w = (\log M_0 / 1.5) = 10.73 \dots \dots \dots (5)$$

dimana :

M_w = magnitudo momen (SR)

M_0 = momen seismik (N.m)

Berdasarkan teori elastik rebound diperkenalkan istilah momen seismik (*seismic moment*). Momen seismik dapat diestimasi dari dimensi pergeseran bidang sesar atau dari analisis karakteristik gelombang gempa bumi yang direkam stasiun pencatat khususnya

dengan seismograf periode bebas (broadband seismograph). Persamaan untuk momen seismik yaitu sebagai berikut (William et.al. 2003).

$$M_o = \mu DA \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

M_o = momen seismik (dyne.cm)

μ = modulus geser (dyne/cm²)

D = pergeseran rata-rata bidang sesar (cm)

A = luas sesar(cm²)

e). Magnitude of Completeness (MC)

Magnitude of completeness didefinisikan sebagai magnitudo terendah atau batas bawah magnitudo dimana 100% gempa yang terjadi pada suatu daerah dan periode tertentu telah terdeteksi atau terekam oleh stasiun gempa. Nilai dari MC dapat ditentukan menggunakan teknik berbasis katalog yaitu fitting model G-R terhadap FDR (*frequency magnitude distribution*). Penentuan b-value yang merupakan parameter persamaan Gutenberg-Richter (G-R). Menurut Mignan (2012) mengatakan estimasi dan pemetaan Nilai MC dapat menentukan kelengkapan, konsistensi, serta homogenitas dari data gempa pada suatu katalog. Selain itu, MC juga berpengaruh pada nilai a-value yang digunakan untuk menghitung indeks seismisitas gempa pada suatu daerah.

Penyeragaman magnitudo juga hal yang harus diperhatikan. Menurut Tim Pusat Studi Gempa Nasional (2017) mengatakan analisis a-value dan b-value dalam pemutakhiran peta gempa yang ada di

Indonesia dibutuhkan tipe magnitudo yang sama. Suatu kejadian gempa data magnitudo tidak semua tersedia. Sehingga dibutuhkan suatu konversi untuk menghubungkan semua macam tipe data magnitudo. Hubungan dari beberapa tipe data magniduto adalah sebagai berikut (Tim Pusat Gempa Nasional, 2017).

$$M_W = 1.0107 m_B + 0.0801, \text{ magnitudo } 3.7 \leq m_b \leq 8.2$$

$$M_W = 0.6016 m_S + 2.4761, \text{ magnitudo } 2.8 \leq m_s \leq 6.1$$

$$M_W = 0.9239 m_S + 0.5671, \text{ magnitudo } 6.2 \leq m_s \leq 8.7$$

$$M_W = 0.7473 m_L + 1.0651, \text{ magnitudo } 3 \leq m_b \leq 7.8$$

f). Intensitas

Intensitas merupakan besaran yang menunjukkan kekuatan gempabumi berdasarkan kerusakan yang diakibatkannya. Skala ini lebih subjektif karena nilainya tergantung pada orang yang mengamati. Namun saat ini sudah dikembangkan alat untuk menentukan besarnya skala intensitas yaitu berdasarkan nilai percepatan tanah di suatu wilayah, sehingga skala yang di dapat lebih objektif. Skala intensitas tersebut golongan menjadi 12 skala yang sampai sekarang disebut sebagai Skala MMI (*Modified Mercalli intensity*). Skala ini digunakan untuk menggolongkan setiap kejadian gempa yang telah terjadi. Dalam kaitannya dengan nilai percepatan tanah, USGS (*United State Geological Survey*) telah membuat sebuah korelasi antara Skala MMI, nilai percepatan tanah, nilai kecepatan tanah serta dampak kerusakan yang dapat ditimbulkan.

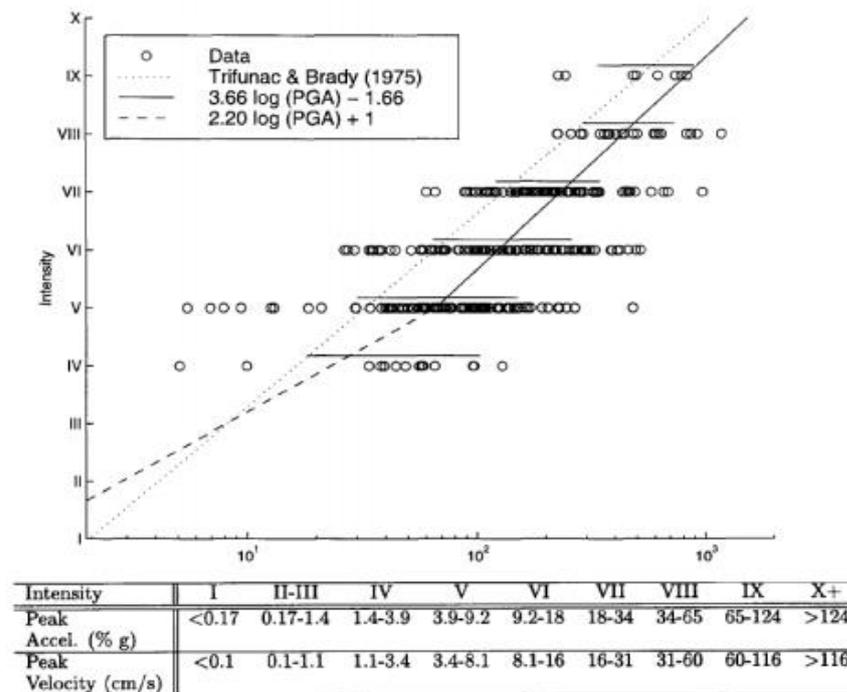
Tabel 1. Hubungan antara Skala MMI dengan nilai Percepatan tanah

Skala Intensitas	Percepatan Tanah(g)	Kecepatan Tanah(cm/s)	Goncangan yang dirasakan	Dampak yang dirasakan
I	< 0.017	< 0.1	Tidak dirasakan	Tidak Ada
II-III	0.017 - 0.14	0.1 – 1.1	Lemah	Tidak Ada
IV	0.14 - 0.39	1.1 – 3.4	Ringan	Tidak Ada
V	0.39 – 0.92	3.4 – 8.1	Sedang	Sangat Ringan
VI	0.92 – 1.8	8.1 – 16	Kuat	Ringan
VII	1.8 – 3.4	16 – 31	Sangat Kuat	Sedang
VIII	3.4 – 6.5	31 – 60	Hebat	Sedang sampai berat
IX	6.5 – 12.4	60 – 116	Sangat Hebat	Berat
X+	> 12.4	> 116	Sangat Ekstrim	Sangat berat

(Sumber: Mufidatul, dkk, 2018)

Korelasi antara nilai percepatan tanah maksimum dengan skala MMI tersebut sering digunakan untuk mengkategorikan suatu wilayah yang telah mengalami gempabumi.

Hubungan antara skala intensitas dan percepatan puncak, intensitas goncangan pada skala rendah berhubungan secara wajar dengan PGA (*Peak Ground Motion*) dan PGV (*Peak Ground Velocity*), sedangkan pada intensitas tinggi berkorelasi baik dengan kecepatan puncak. Secara mendasar, percepatan puncak melewati level intensitas tinggi ketika kecepatan puncak mengalami kenaikan seperti yang dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Intensitas dengan PGA (Wald, et al, 1999).

B. Probabilistic Hazard Seismic analysis (PSHA)

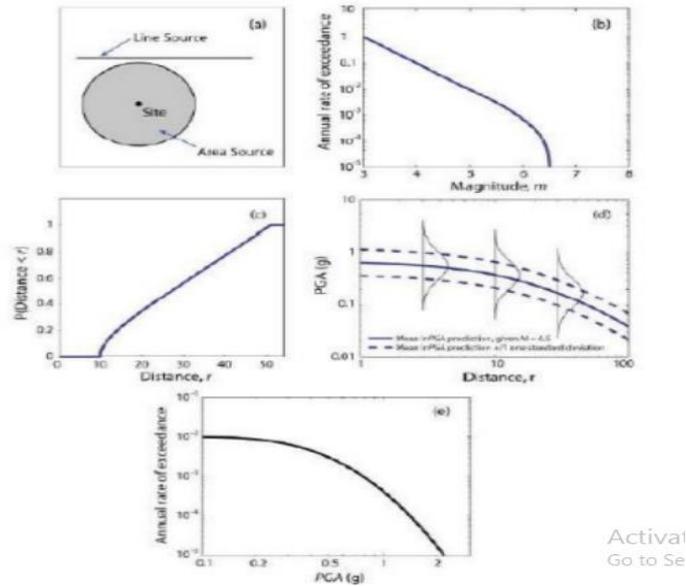
Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) pertama kali dikembangkan oleh Cornell pada tahun 1968, kemudian dilanjutkan oleh Merz pada tahun 1973 setelah itu lebih lanjut dikembangkan oleh Mc. Guire pada tahun 1976. PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) merupakan metode yang digunakan untuk menentukan seberapa bahaya kegempaan. Metoda ini menggunakan pengukuran perkiraan besaran peluang suatu daerah atau lokasi dengan jarak (R) dari pusat sumber gempa yang mengalami pergerakan tanah. Lebih lanjut metoda PSHA ini dijelaskan melalui teori yang mengasumsikan bahwa magnitude gempa (M) dengan jarak tertentu (R) merupakan variabel acak independen yang menerus. Analisis ini bertujuan untuk menentukan probabilitas terlampauinya nilai percepatan gempa pada suatu periode ulang

tertentu. Teori ini mengansumsikan bahwa gempa dengan *magnitude* dan *distance* sebagai suatu variabel acak.

Metoda PSHA ini pada prinsipnya adalah analisis deterministik dengan berbagai macam skenario dan didasarkan tidak hanya pada parameter gempa yang menghasilkan pergerakan tanah terbesar. Pada pendekatan PSHA ini frekuensi untuk setiap skenario pergerakan tanah yang akan terjadi juga diperhitungkan. Dengan demikian, pendekatan PSHA dapat digunakan untuk memprediksi seberapa besar probabilitas kondisi terburuk akan terjadi di lokasi studi (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010).

PSHA tidak hanya memperhitungkan worst case scenario tetapi juga berbagai level dan kemungkinan serta memperhitungkan semua sumber gempabumi yang akan terjadi di lokasi yang ditinjau. Konsep probabilitas juga mempertimbangkan ukuran, lokasi serta periode perulangan kejadian gempabumi sebagai evaluasi hazard seismik. Dalam PSHA, ketidakpastian tersebut diidentifikasi, dikuantifikasi dan dikombinasi untuk menghasilkan gambaran yang lebih lengkap mengenai bahaya seismik disuatu lokasi.

Baker (2008) membagi tahapan PSHA menjadi lima tahap yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahap Dari Analisis Hazard Seismik Probabilitas (Baker, 2008)

Gambar 3. ditampilkan tahapan-tahapan untuk pengolahan data PSHA, diantaranya:

1. Mengidentifikasi semua sumber gempabumi yang dapat menimbulkan kerusakan akibat ground motion.
2. Mengkarakterisasi distribusi magnitudo gempabumi.
3. Mengarakteristik distribusi jarak sumber ke lokasi yang berasosiasi dengan gempabumi yang berpotensi terjadi.
4. Memprediksi distribusi yang dihasilkan dari intensitas ground motion
5. Sebagai fungsi dari magnitudo gempa, jarak, dan lain-lain. Pada tahapan ini digunakan fungsi atenuasi yang dianggap cocok dengan wilayah penelitian.

Menurut Purbandini. 2017 untuk metode PSHA ini input data yang digunakan antara lain:

- a. Data dari sumber gempa yang dapat mengakibatkan bencana, seperti sumber gempa dengan jarak pusat 300-500 km dari lokasi atau daerah pengamatan.
- b. Total aktivitas kegempaan dari setiap sumber gempa.
- c. Karakteristik lokal suatu daerah (geogical and soil conditions).
- d. Kondisional probabilitas dari parameter sumber gempa.
- e. Persamaan model ground motion.

Rumus dasar dari teori probabilitas total yang dikembangkan oleh Mc Guire pada tahun 1976 berkaitan dengan konsep probabilitas yang dikembangkan oleh Cornell pada tahun 1968, yaitu sebagai berikut:

$$P[I \geq i \setminus m, r] = \iint P [I \geq i \setminus m, r] f_m f_r dmdr \dots\dots\dots(7)$$

Dimana : f_m = fungsi kepadatan probabilitas (probability density function) dari magnitudo

f_r = fungsi kepadatan probabilitas (probability density function) dari jarak hiposenter

$P[I \geq i \setminus m, r]$ = Kondisi probabilitas acak intensitas (I) yang melampaui nilai (i) pada suatu lokasi akibat magnitudo gempa (m) dan jarak hiposenter (r)

Nilai $P[I \geq i \setminus m, r]$ dapat dihubungkan dengan nilai *Cumulative Distribution Function* (CDF) $F_1(i)$ dari intensitas I pada magnitudo m dan jarak r yaitu:

$$P[I \geq i \setminus m, r] = 1 - f_1(i) \dots\dots\dots(8)$$

Pada dasarnya nilai dari $F_1(i)$ tergantung pada distribusi probabilitas yang digunakan dan parameter pergerakan tanah yang diasumsikan terdistribusi secara log normal.

Probability Density Function dari magnitudo, f_m diturunkan dari nilai frekuensi kejadian gempa tahunan. Frekuensi kejadian gempa tahunan yang biasanya dapat dipakai dalam analisa hazard seismik selalu mempertimbangkan adanya suatu gempa minimum yang dapat didefinisikan sebagai batas dimana tidak akan terjadi gangguan yang berarti pada lokasi daerah tinjauan.

Batasan magnitudo terhadap kejadian gempa tahunan menurut Mc Guire dan Arabasz pada tahun 1990, yaitu:

$$N(m) = v \frac{\exp[-\beta(m-m_0)] - \exp[-\beta(m_{max}-m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_{max}-m_0)]} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana : $v = \exp(a - \beta m_0)$

$m_0 =$ magnitudo (minimum 5)

Dari nilai frekuensi kejadian gempa tahunan tersebut dapat diturunkan nilai *probability density function* dari magnitudo, yaitu:

$$f_m(m) = \frac{d}{d_m} F_M(m) = \frac{\beta \exp[-\beta(m-m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_{max}-m_0)]} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

$$F_M(m) = \frac{N(m_0) - N(m)}{N(m_0) - N(m_{max})} \dots\dots\dots(11)$$

Probability density function untuk jarak f_R sangat ditentukan dari geometri sumber gempa yang juga tergantung pada kondisi geologi dan seismologi sumber gempa.

Hasil akhir dari analisis hazard ini meliputi peta percepatan maksimum di batuan dasar pada $T = 0$ detik atau biasanya juga disebut PGA (*peak ground acceleration*) untuk probabilitas terlampaui 10% dan 2% dalam kurun waktu 50 tahun. Resiko gempa adalah kemungkinan terlampaui (*probability of exceedance*) suatu gempa dengan intensitas tertentu selama masa bangunan (Bidang Seismologi Teknik, 2018). Nilai dari resiko gempa secara matematik dinyatakan pada persamaan berikut.

$$R_n = 1 - (1 - R_a)^N \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

R_n : resiko gempa

R_a : resiko tahunan 1/T

T : Periode ulang gempa

N : Masa bangunan

Nilai dari hubungan parameter-parameter annual rate, periode ulang (*return periode*), resiko gempa (*probability of exceedance*) dan umur bangunan yang akan ditinjau dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan Parameter-Parameter Resiko Gempa.

<i>Annual Rate</i>	T (periode ulang) Tahun	R_n (Nilai resiko gempa) %	N (umur bangunan) Tahun
0.0021050	475	10 (UBC 97)	50
0.0004040	2475	2 (IBC 2006)	50

(Bidang Seismologi Teknik, 2018).

Tabel 2. menunjukkan periode ulang gempa dalam dua periode yaitu periode ulang 475 tahun dan 2.475 tahun. Periode ulang 475 tahun dengan nilai resiko gempanya 10 % dan parameter annual rate 0.0021050 sedangkan pada periode ulang 2.475 tahun dengan resiko gempanya 2 % dan parameter annual rate 0.0004040.

C. Fungsi Atenuasi

Analisis bahaya seismik memerlukan fungsi atenuasi untuk menggambarkan besarnya intensitas pada suatu lokasi akibat peristiwa gempabumi di daerah sumber gempa dengan magnitudo M dan berjarak R dari lokasi sumber tersebut. Atenuasi itu sendiri adalah melemahnya suatu sinyal yang disebabkan oleh adanya jarak yang semakin jauh yang harus ditempuh oleh suatu sinyal tersebut. Atenuasi disebabkan oleh adanya penyebaran absorpsi gelombang. Penyebaran gelombang terjadi akibat berkas gelombang berubah, pola berkas gelombang tergantung pada perbandingan antara diameter sumber gelombang dan panjang gelombang. Absorpsi gelombang yaitu penyerapan energi yang diakibatkan selama menjalar di dalam medium.

Fungsi atenuasi di wilayah Indonesia belum dapat ditemukan hingga sampai saat ini. Para peneliti pada pemilihan fungsi atenuasi hanya didasarkan dari wilayah lain yang memiliki kemiripan tektonik geologi dengan wilayah Indonesia. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi fungsi atenuasi antara lain:

a. Mekanisme Gempa

Gempabumi besar biasanya terjadi karena adanya pergeseran lempeng tektonik yang biasanya terjadi di daerah zona subduksi atau patahan yang tampak pada permukaan bumi. Gempa yang terjadi pada daerah zona

subduksi ini biasanya gempa dalam yang menghasilkan gelombang permukaan yang lebih sedikit, sehingga memberikan respon spektra yang lebih rendah pada periode tinggi.

b. Jarak Episenter

Respon spektra dari gempa yang tercatat pada batuan dasar mempunyai bentuk yang berbeda tergantung jarak dari episenternya.

c. Kondisi Tanah Lokal

Kondisi tanah lokal sangat menentukan respon suatu daerah terhadap gelombang gempa. Respon gempa yang tiba pada batuan dasar dapat diperlemah karena tersaringnya getaran berfrekuensi tinggi. Berikut merupakan fungsi-fungsi atenuasi yang dapat digunakan dalam penelitian ini, yaitu: Youngs, et al (1979).

Model atenuasi untuk zona subduksi pada umumnya dapat dibagi dalam 2 (dua) kategori yaitu gempa pada zona megathrust (*interface*) dan pada zona Benioff (*interslab*). Bentuk persamaan dari fungsi atenuasi Youngs et al. yaitu:

$$\ln(PGA) = 0,2418 + 1,414M_w - 2,552 \ln[r_{rup} + 1,7818^{0,554M_w}] + 0,00607 H + 0,3846Z_t \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

PGA : *Peak ground acceleration* (g)

M_w : Magnitude momen

r_{rup} : jarak terdekat ke ruptere (Km)

H : Kedalaman (Km)

Z_t : Tipe sumber gempa (0 untuk interface dan 1 untuk

interslab) (Yohanes, 2014).

D. Percepatan Tanah Maksimum

Parameter getaran gelombang gempabumi yang dicatat oleh seismograf umumnya adalah simpangan kecepatan atau *velocity* dalam satuan kine (cm/dt). Selain *velocity* tentunya parameter yang lain seperti *displacement* (simpangan dalam satuan mikrometer) dan percepatan (*acceleration* dalam satuan gal atau cm/dt^2) juga dapat ditentukan. Parameter percepatan gelombang seismik atau percepatan tanah merupakan salah satu parameter yang penting dalam seismologi teknik atau *earthquakes engineering*. Besar kecilnya percepatan tanah tersebut menunjukkan resiko gempabumi yang perlu diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam perencanaan bangunan tahan gempa.

Setiap gempabumi yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat. Nilai percepatan tanah yang akan diperhitungkan pada perencanaan bangunan adalah nilai percepatan tanah maksimum. Meskipun gempabumi yang kuat tidak sering terjadi tetapi tetap sangat membahayakan kehidupan manusia. Salah satu hal yang penting dalam penelitian seismologi adalah mengetahui kerusakan akibat getaran gempabumi terhadap bangunan - bangunan di setiap tempat. Hal ini diperlukan untuk menyesuaikan kekuatan bangunan yang akan dibangun di daerah tersebut. Bangunan – bangunan yang mempunyai kekuatan luar biasa dapat saja dibuat, sehingga bila terjadi gempabumi yang bagaimanapun kuatnya tidak akan mempunyai tanggapan/reaksi yang tidak sama terhadap kekuatan gempabumi.

Nilai percepatan tanah dapat dihitung langsung dengan seismograf khusus yang disebut strong motion seismograph atau accelerograf. Nilai percepatan tanah sangat penting dalam menghitung koefisien seismik untuk bangunan tahan gempa, sedangkan untuk jaringan accelerograf yang tidak lengkap baik dari segi periode waktu maupun tempatnya, maka perhitungan empiris sangat perlu dibuat. Oleh sebab itu, untuk keperluan bangunan tahan gempabumi harga percepatan tanah dapat dihitung dengan cara pendekatan dari data historis gempabumi. Beberapa formula pendekatan antara lain:

- a. Hubungan rumus Richter (1935)

$$I_0 = 1,5 (m - 0,5) \dots\dots\dots(14)$$

$$\log a = 1/3 - 0,5 \dots\dots\dots(15)$$

Keterangan : M = magnitude

I_0 = Intensitas

a = percepatan tanah dalam satuan cm/dt atau gal

- b. Hubungan Rumus Murphy dan O'Brein (2001)

$$\log a = 0,14 I + 0,24 M - 0,68 \log \Delta + 0,7 \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan : a = percepatan tanah

I = intensitas gempabumi

M = magnitude

Δ = jarak episenter (km)

- c. Hubungan rumus Donovan (1973)

$$a = 1.080(\exp^{0,5M})/(r + 25)^{1,32} \dots\dots\dots(17)$$

Keterngan : a = percepatan tanah

M = magnitudo

r = jarak hiposenter (km)

d. Hubungan rumus Esteva (1974)

$$a = 5600(\exp^{0.5M})/(r + 25)^{1.32} \dots\dots\dots(18)$$

Keterangan : a = percepatan tanah

M = magnitudo

r = jarak hiposenter (km)

E. Parameter seismotektonik

Metode yang digunakan untuk menentukan nilai parameter seismotektonik disuatu wilayah dikenal dengan relasi Gutenberg-Richter. Relasi ini menyatakan bahwa frekuensi atau jumlah gempabumi adalah merupakan karakteristik basis dari aktifitas seismik di suatu daerah selama selang waktu tertentu. Parameter ini diperoleh dengan mendistribusikan kejadian gempa umumnya diasumsikan mengikuti hubungan frekuensi magnitudo. Adapun persamaan sistematisnya, yaitu :

$$\log N = a - bm \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan : N = Jumlah gempabumi dengan magnitudo lebih besar atau sama dengan M

a = Konstanta yang terkait karakteristik ruang, tingkat seismisitas.

b = Konstanta di stribusi gempabumi

Selain itu, persamaan *maximum likelihood* untuk memperoleh nilai b yaitu:

$$\alpha = \log N + \log (b \ln 10) + M_0 \dots\dots\dots(20)$$

$$b = \frac{\log e}{M_{rat} - M_0} \dots\dots\dots(21)$$

Keterangan : $\log e = 0.4343$

M_{rata} = Magnitudo rata-rata dari seluruh data

M_0 = Magnitudo minimum

Nilai konstanta a merupakan parameter seismik yang besarnya bergantung pada penentuan *volume* dan *time window*. Konstanta a dapat dikatakan juga sebagai suatu tetapan yang besarnya tergantung pada periode, luas daerah dan aktifitas daerah tersebut sangat aktif terhadap gempa bumi, kemudian sebaliknya untuk nilai konstanta a yang kecil (Raharjo, 2016).

Nilai konstanta b merupakan parameter tektonik suatu daerah dimana terjadi gempa bumi dan tergantung dari sifat batuan setempat. Secara global nilai konstanta b mendekati 1 yang berarti 10 kali penurunan aktivitas kegempaan dan menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang besar dan yang kecil (Raharjo, 2016).

F. Bahaya dan Resiko

Bahaya (hazard) merupakan suatu sumber potensi kerugian atau situasi dengan potensi yang menyebabkan kerugian (AS/NZS, 1999). Hammer (1989) mengatakan bahwa hazard merupakan kondisi yang berpotensi untuk menyebabkan injury terhadap orang, kerusakan peralatan atau struktur bangunan, kerugian material, atau mengurangi kemampuan untuk melakukan suatu fungsi yang telah ditetapkan. Hazard dapat dibedakan berdasarkan kejadiannya, yaitu hazard yang disebabkan oleh alam (bencana alam) dan disebabkan oleh manusia.

Hazard dapat dikelompokkan menjadi tujuh berdasarkan jenisnya

(Hendra, 2006):

- a. Biological Hazard (bahaya biologi), seperti virus, jamur, bakteri, tanaman, dan binatang yang menginfeksi manusia.
- b. Chemical Hazard (bahaya kimia), seperti bahaya yang ditimbulkan oleh bahan beracun dan berbahaya (B3), debu, larutan kimia, uap kimia, daya ledak bahan kimia, oksidasi, dan bahan kimia mudah terbakar.
- c. Ergonomic Hazard (bahaya ergonomi), seperti desain tempat kerja yang tidak sesuai, material handling, pencahayaan yang kurang, gerakan tubuh terbatas, desain pekerjaan yang dilakukan, dan pergerakan yang berulang-ulang.
- d. Physical Hazard (bahaya fisika), seperti radiasi, suhu panas, kebisingan, getaran, dan tekanan.
- e. Psychological Hazard (bahaya psikososial), seperti jam kerja panjang, trauma, lingkungan kerja tidak nyaman, dan sebagainya.
- f. Mechanical Hazard (bahaya mekanis), merupakan bahaya yang disebabkan benda-benda bergerak, yang dapat menimbulkan dampak seperti terpotong, tergores, tersayat.
- g. Electrical Hazard (bahaya listrik), bahaya yang ditimbulkan oleh arus listrik pendek, listrik statis.

Hazard terjadi karena adanya risiko, sehingga risiko dapat didefinisikan sebagai peluang terjadinya kecelakaan yang disebabkan oleh bahaya (hazard) yang ada. Risiko menurut The Standards Australia / New Zealand (1999) merupakan kemungkinan dari suatu kejadian yang tidak

diinginkan yang akan mempengaruhi suatu aktivitas atau objek. International Labor Organization (ILO) mendefinisikan risiko sebagai kemungkinan adanya peristiwa atau kecelakaan yang tidak diharapkan dan dapat terjadi dalam waktu dan keadaan tertentu. Risiko sendiri dapat dikelompokkan menjadi 5 kategori (Kolluru, 1996), yaitu:

- a. Safety risk (risiko keselamatan), berkaitan dengan keselamatan manusia dan menimbulkan efek langsung (kecelakaan).
- b. Health risk (risiko kesehatan), berkaitan dengan kesehatan manusia, menimbulkan efek tidak langsung, dan bersifat kronis.
- c. Environmental risk (risiko lingkungan), berkaitan dengan dampak yang timbul pada habitat dan ekosistem yang jauh dari sumber risiko. Melibatkan interaksi antara populasi, komunitas, dan ekosistem pada tingkat makro dan mikro.
- d. Public welfare goodwill risk (risiko kesejahteraan masyarakat), berkaitan dengan nilai dari suatu sistem yang didalamnya terdapat persepsi masyarakat terhadap nilai properti dan estetika.
- e. Financial risk (risiko keuangan) berkaitan dengan risiko jangka panjang dan jangka pendek dari kerugian properti, perhitungan asuransi, pengembalian pada lingkungan, kesehatan dan keselamatan investasi.

G. Indeks Bahaya Seismik

Menurut Sulistiyani, dkk 2013. Indeks bahaya seismik yang pernah terjadi di suatu tempat terbagi menjadi dua yaitu :

1. Indeks bahaya kumulatif (IBSK)

IBSK adalah logaritma dari jumlah energi seismik yang pernah terjadi di suatu tempat. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$IBSK = \text{Log} \sum^N E_n \dots\dots\dots (22).$$

Dengan

E_n = energi dari suatu gempa bumi.

2. Indek bahaya seismik regional (IBSR)

IBSR merupakan gambaran seismisitas yang dihitung berdasarkan frekuensi dan energi yang dikeluarkan oleh gempa bumi. Indeks bahaya Seismik Regional merupakan cara yang simpel untuk memperkirakan bahaya seismik pada suatu tempat/daerah tertentu. Besarnya IBSR di suatu daerah dapat langsung diinterpretasikan dengan besaran yang sama dengan satuan skala intensitas MMI (Modified Mercalli Intensity), ketidaktepatan dari taksiran (range) dinyatakan oleh harga deviasi standarnya.

$$IBSR = \frac{1}{A} \sum^A \frac{IBSK_a}{T} \dots\dots\dots (23).$$

Dengan

A = Jumlah IBSK di daerah tersebut.

IBSK_a = Harga IBSK di tempat K-a.

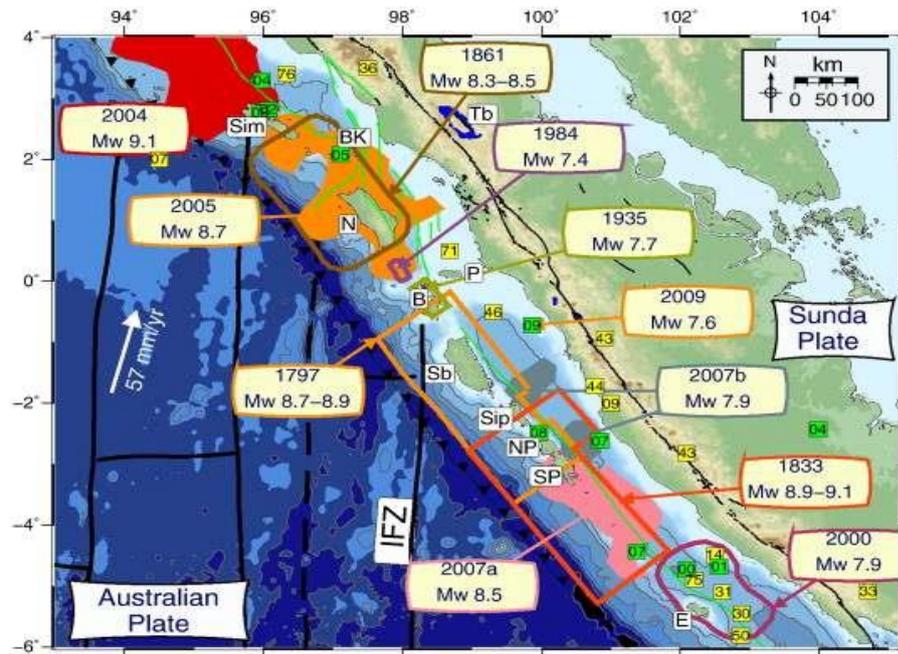
T = Interval waktu pengamatan.

Untuk mendapatkan gambaran seismik yang baik, idealnya diperlukan interval waktu pengamatan yang sesuai dengan periode ulang. IBSR ada hubungannya dengan keadaan tanah setempat karena perhitungannya

berdasarkan pada kerusakan yang dialami di tempat tersebut (intensitas). Dengan mengetahui bahaya seismik di suatu tempat, maka dapat disesuaikan kekuatan bangunan yang akan dibangun terhadap kekuatan gempa bumi yang terjadi di daerah tersebut.

H. Tatanan Tektonik Provinsi Bengkulu

Provinsi Bengkulu termasuk dalam wilayah pertemuan dua lempeng tektonik utama dunia, yaitu lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Kedua lempeng tersebut yang paling berpengaruh terhadap aktivitas tektonik di Provinsi Bengkulu (Arif Ismul Hadi dan Kirbani Sri Brotopuspito, 2015). Secara umum tatanan tektonik di Sumatera dicirikan oleh tiga segmen tektonik. Ketiga segmen tersebut yaitu subduction zone pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, Mentawai Fault System (MFS), dan Sumatera Fault System (SFS). Wilayah Bengkulu merupakan salah satu wilayah di Pulau Sumatra dengan tingkat seismisitas yang tinggi diperlihatkan pada gambar di bawah ini, menunjukkan beberapa gempabumi yang terjadi di Pulau Sumatra dan disekitar wilayah Bengkulu.



Gambar 4. Distribusi Gempabumi Yang Terjadi Di Wilayah Bengkulu. (Harlianto Budi dan Wahyudi, 2013).

Sabar Ardiansyah (2016) melalui penelitiannya menyebutkan bahwa sistem busur subduksi Sumatera dibentuk oleh penyusupan lempeng Samudera di bawah lempeng Benua. Lempeng Benua tebal dan tua ini meliputi busur vulkanik, kapur, dan tersier. Sedimen elastik sangat tebal menyusup di subduksi Sumatera dan sedimen yang tebal didorong ke atas membentuk rangkaian kepulauan. Jalur subduksi ini membujur sepanjang Pantai Barat Sumatera, tidak terkecuali Pantai Barat Bengkulu. Di samping itu, akibat tumbukan lempeng juga terbentuk patahan-patahan di Pulau Sumatera.

Patahan di Sumatera memanjang dari Aceh hingga teluk Semangko, Provinsi Lampung yang dikenal dengan nama Sesar Besar Sumatera. Di Provinsi Bengkulu segmen Sesar Sumatera ini antara lain: Segmen Manna yang terletak di Kabupaten Bengkulu Selatan, Segmen Musi yang terletak di Kabupaten Kepahiang, dan Segmen Ketaun terletak di Kabupaten Bengkulu Utara. Masing-

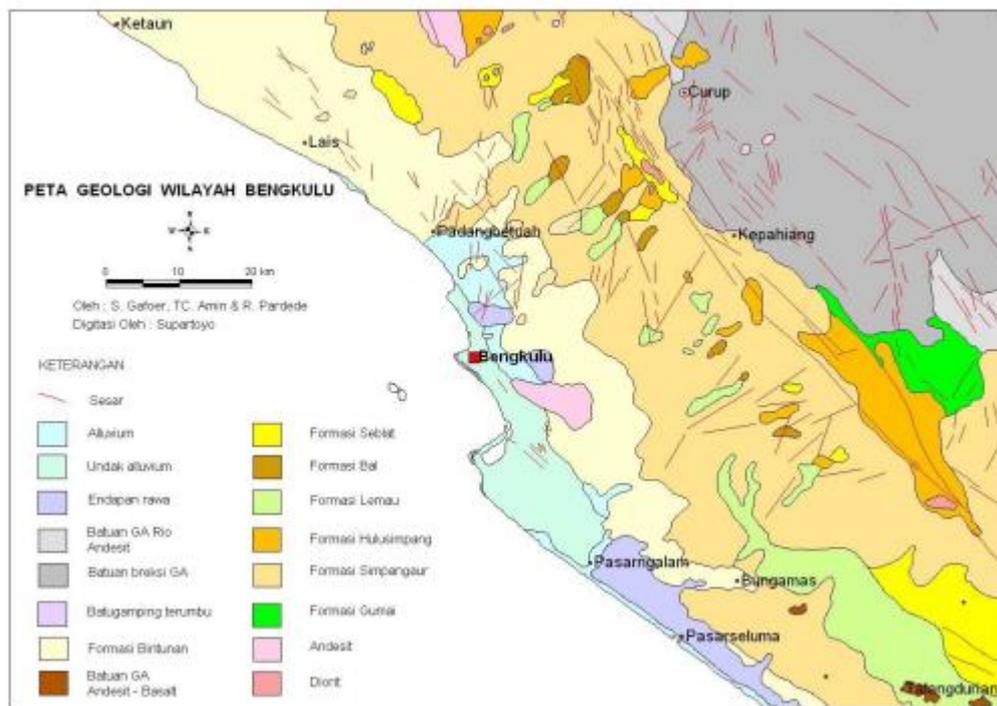
masing segmen memiliki panjang 85 km untuk Segmen Manna, 70 km untuk Segmen Musi, dan 85 km untuk Segmen Ketaun.

Tiga segmen ini memiliki slip rate rata-rata pertahun 1,0 cm. Dengan demikian dalam 100 tahun slip rate mencapai 10 cm serta 20 cm dalam 200 tahun. Secara teoritis, moment seismik (M_0) masing-masing segmen adalah $6,75 \times 10^{25}$ untuk periode 100 tahun. Artinya dalam satu dekade segmen patahan Semangko di Bengkulu memiliki potensi gempabumi berkekuatan 7,2 Mw. Dengan catatan asumsi yang dipakai adalah segmen ini terkunci 100%. Namun, dalam kenyataan sehari-hari segmen ini tentu tidak terkunci 100%, artinya masih melepaskan energi, baik dalam bentuk gempabumi kecil maupun dalam bentuk rayapan tanah (*creeping*) (Natawidjaja, 2007).

I. Geologi Provinsi Bengkulu

Provinsi Bengkulu terletak sepanjang pantai bagian barat Pulau Sumatera yang didominasi oleh batuan Kuarter dengan morfologi dataran pada bagian barat dan dibatasi oleh pegunungan di bagian timurnya. Kota Bengkulu merupakan dataran rendah dengan ketinggian berkisar antara 0-50 meter dari permukaan air laut. Batuan Kuarter penyusun wilayah Bengkulu berupa : endapan undak pantai, endapan aluvial, endapan rawa, endapan batugamping terumbu dan endapan rombakan gunungapi. Sedangkan daerah perbukitan pada umumnya tertutup oleh endapan rombakan gunungapi berupa lava berkomposisi andesitic-basaltic. Batuan ini secara umum bersifat lepas, urai, belum terkonsolidasi (*unconsolidated*) bersifat memperkuat efek guncangan (*amplifikasi*) sehingga rawan terhadap guncangan gempabumi.

Struktur geologi yang mengontrol Wilayah Bengkulu berupa Sesar Semangko berarah Barat Laut – Tenggara. Pada lembar Bengkulu dapat dibedakan 2 bagian sesar, yaitu: Sesar Ketahun dan Sesar Musi-Keruh yang merupakan bagian dari Sesar Besar Sumatera/ Sesar Semangko (Tjia, 1977). Sesar Ketahun membentang mulai dari Lembah Seblat, Sungai Seblat, Sungai Ketahun, Danau Tes, Lembah Rimbo Pengadang hingga Lembah Air Dingin. Sedangkan Sesar Musi-Keruh membentang mulai dari lembah bagian Barat Curup, Sungai Musi, Daspetah, Kepahiang, Talang Kemang hingga Sungai Keruh. Beberapa kejadian gempa bumi merusak akibat pergerakan kedua sesar ini antara lain: gempa bumi Tes 1952 dan gempa bumi Kepahiang 15 Desember 1979. Di wilayah Kotamadia Bengkulu terdapat beberapa kelurusan berarah Barat Laut-Tenggara dan Barat Daya-Timur Laut. Pada kejadian gempa bumi tanggal 4 Juni 2000 yang lalu, beberapa kelurusan di Perumahan Dolog, Tanah Patah dan Lempuing menimbulkan kerusakan bangunan.



Gambar 5. Peta Geologi Provinsi Bengkulu.

Berdasarkan buku Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1629 – 2006 yang sedang diterbitkan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, wilayah Bengkulu telah mengalami beberapa kejadian gempabumi merusak. Data yang berhasil dihimpun diawali pada tahun 1756 yakni tanggal 3-11-1756 yang menimbulkan beberapa kerusakan bangunan di wilayah Bengkulu, bahkan pada kejadian gempabumi tanggal 24-11-1833 terjadi gempabumi hebat yang getarannya terasa sampai Singapura dan Malaysia yang menurut Newcomb & Mc. Cann gempabumi ini merupakan gempabumi 10 terbesar yang terjadi pada abad 19. Pada tanggal 26-6-1914 terjadi gempabumi yang mengakibatkan 20 orang meninggal dan kerusakan hebat terutama di Kotamadia Bengkulu.

J. Geologi Kepahiang

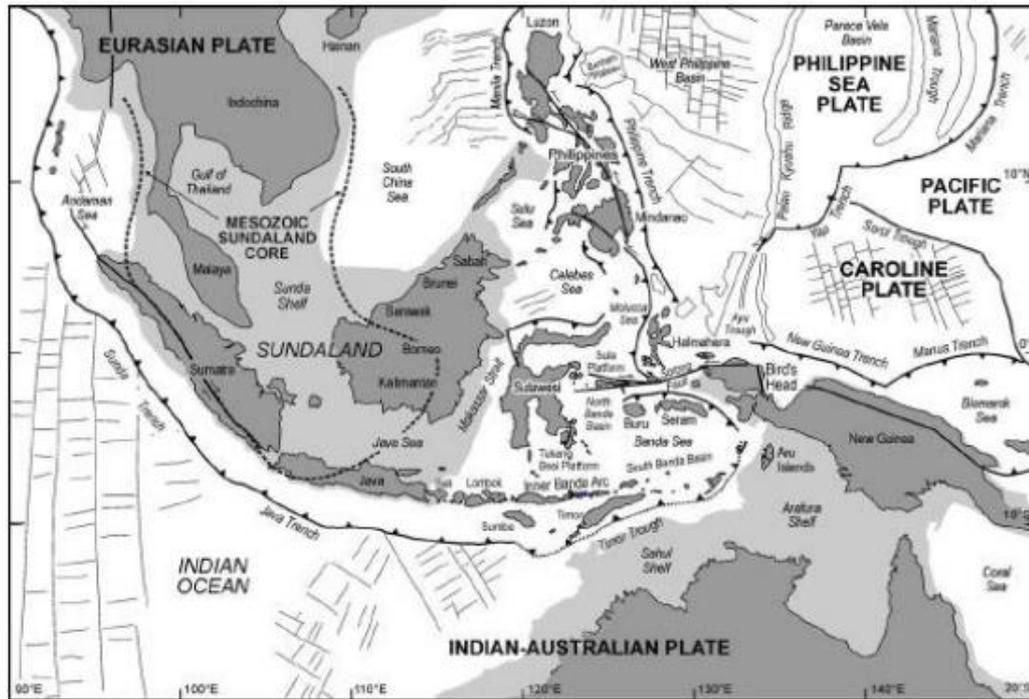
Daerah Kepahiang merupakan bagian dari kerak Sunda (Sundaland), dan kerak Sunda ini merupakan bagian dari lempeng benua Eurasia (Hall, 2002). Menurut Minster dan Jordan (1978 dalam Yeats, 1997), Lempeng Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara dengan kecepatan sekitar 7 cm/ tahun dan bertumbukan dengan Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah tenggara dengan kecepatan sekitar 0,4 cm/ tahun. Tumbukan tersebut telah terjadi sejak Jaman Kapur (sekitar 66 juta tahun yang lalu) dan masih berlangsung hingga kini. Zona tumbukan tersebut membentang di sebelah barat Pulau Sumatera, selatan Pulau Jawa, selatan Bali dan Nusa Tenggara, dan membelok di Kepulauan Maluku, yang membentuk palung laut dan dikenal sebagai zona subduksi. Zona subduksi merupakan sumber gempa bumi di laut dan juga sumber pembangkit tsunami.

Daerah Kepahiang, Provinsi Bengkulu terletak agak jauh dari zona subduksi. Namun demikian akibat proses tektonik yang terjadi telah mengakibatkan terbentuknya struktur geologi, yaitu lipatan dan sesar. Beberapa sesar tersebut merupakan sesar aktif dan dibuktikan terjadinya gempa bumi (Supartoyo, 2018).

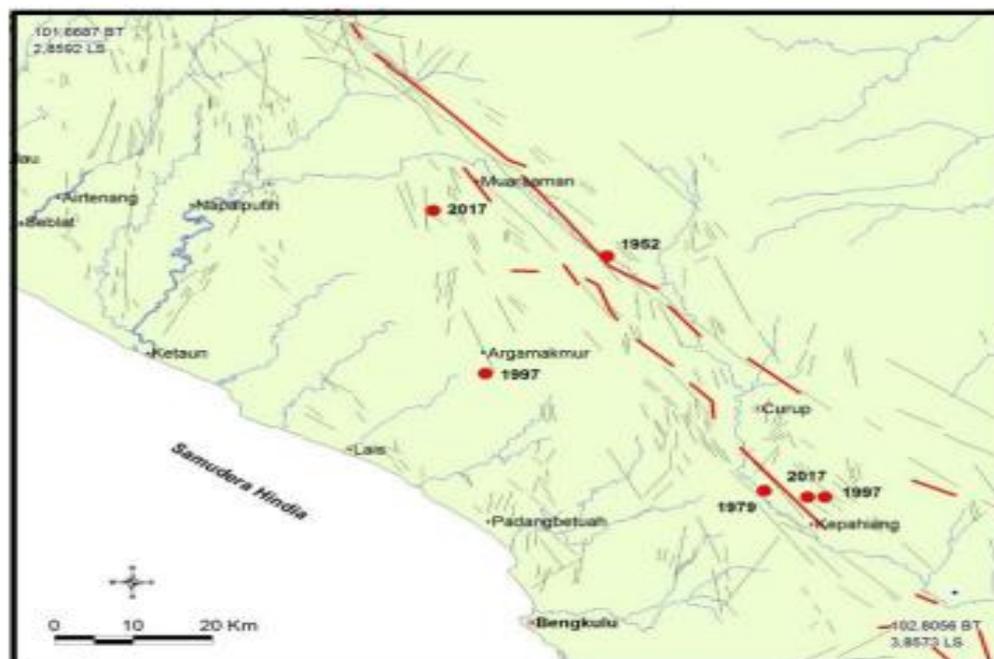
Morfologi daerah Kepahiang sebagian tersusun oleh perbukitan hingga perbukitan terjal dan sebagian lagi merupakan dataran hingga dataran bergelombang. Kota Kepahiang terletak pada morfologi dataran yang dikelilingi oleh perbukitan. Morfologi perbukitan hingga perbukitan terjal tersusun oleh batuan rombakan gunungapi muda berumur Kuartar terdiri dari lava, breksi gunungapi dan tuff. Adapun morfologi dataran hingga dataran bergelombang pada juga tersusun oleh endapan berumur Kuartar berupa

endapan alluvial sungai, endapan alluvial hasil pelapukan dari batuan rombakan gunungapi muda.

Endapan Kuarter dan batuan rombakan gunungapi muda yang telah mengalami pelapukan pada umumnya bersifat urai, lepas, belum kompak (*unconsolidated*), lunak, dan memperkuat efek guncangan gempa bumi atau amplifikasi, sehingga rawan terhadap guncangan gempa bumi. Kerusakan bangunan yang terjadi akibat guncangan gempa bumi pada umumnya ditempati oleh endapan Kuarter. Apabila endapan Kuarter tersebut bersifat jenuh air dengan muka air tanah dangkal, maka akan berpotensi mengalami proses likuifaksi (*liquefaction*) bila digoncang gempa bumi dengan kekuatan cukup besar, umumnya diatas magnitudo 6 SR. Struktur geologi Daerah Kepahiang didominasi oleh sesar atau patahan. Secara umum sesar – sesar yang terdapat di daerah Kepahiang mengikuti pola struktur Pulau Sumatera yang berarah barat laut – tenggara. Beberapa sesar lainnya mempunyai arah utara – selatan dan timur laut – barat daya. Pola struktur geologi tersebut terbentuk akibat aktivitas tektonik yang terjadi sebelumnya (Supartoyo, 2018).



Gambar 6. Tatanan tektonik kawasan Indonesia bagian barat (Hall, 2002). Kotak merupakan daerah Kepahiang, Provinsi Bengkulu.



Gambar 7. Struktur geologi daerah Kepahiang dan sekitarnya. Garis hitam tipis struktur geologi. Garis merah Sesar Sumatera. Bulatan merah merupakan pusat gempa bumi merusak dan tahun kejadian. Data dikompilasi dari beberapa peneliti terdahulu (Gafoer dkk., 1992; Sieh dan Natawidjaja, 2000).

Sumber gempa bumi wilayah Kepahiang terletak di laut dari zona subduksi dan di darat dari sesar Sumatera dan sesar aktif lainnya. Zona subduksi dengan kedalaman dangkal atau kurang dari 50 km disebut megathrust, membentang di sebelah barat Pulau Sumatera, selatan Jawa, Bali, Nusatenggara dan membelok di laut Banda Provinsi Maluku. Di sebelah barat daerah Bengkulu zona megathrust ini mampu menghasilkan gempa bumi dengan magnitudo maksimum sebesar 8,9 mw (moment magnitude) pada bagian utara (megathrust Mentawai-Pagai), adapun di bagian selatan daerah Bengkulu yaitu pada megathrust Enggano diperkirakan mampu menghasilkan gempa bumi dengan magnitudo maksimum sebesar 8,4 mw (Pusat Studi Gempa Nasional/ Pusgen, 2017). Daerah Kepahiang terletak cukup jauh dari zona subduksi, sehingga potensi terjadinya bencana gempa bumi dominan oleh aktivitas sumber gempa bumi yang terletak di darat. Namun demikian efek guncangan dari gempa bumi bersumber dari zona subduksi ini masih dapat dirasakan di daerah Kepahiang.

Sumber gempa bumi daerah Kepahiang di darat berasal dari aktivitas sesar aktif. Sesar aktif utama yang melalui daerah Kepahiang adalah sesar Sumatera yang membentang sepanjang pegunungan Bukit Barisan dari Aceh hingga Teluk Semangko Provinsi Lampung. Sesar Sumatera bukan merupakan satu sesar tunggal, namun terbagi menjadi beberapa bagian yang disebut segmen, dan setiap segmen merupakan sumber gempa bumi. Sieh dan Natawidjaja (2000) telah membagi Sesar Sumatera menjadi 19 segmen, yaitu segmen Seulimeum, Aceh, Batee, Tripa, Renun, Toru, Angkola, Barumun, Sumpur, Sianok, Sumani, Suliti, Siulak, Dikit, Ketahun, Musi, Manna, Komerling dan Semangko. Adapun untuk daerah Kepahiang dilewati oleh segmen Musi. Segmen Musi Sesar Sumatera diperkirakan mampu

menghasilkan gempa bumi dengan magnitudo maksimum sebesar 7,2 mw (Pusgen, 2017).

Berdasarkan catatan sejarah kejadian gempa bumi merusak di Indonesia, daerah Kepahiang paling tidak telah terlanda tiga kejadian gempa bumi merusak (penambahan data dari Supartoyo dkk., 2014), yaitu tahun 1979, 1997 dan 2017. Dari ketiga kejadian gempa bumi merusak tersebut, kejadian gempa bumi tahun 1979 tepatnya pada tanggal 15 Desember 1979 merupakan bencana gempa bumi terparah. Kejadian gempa bumi tersebut dengan magnitudo 6,6 Skala Richter dan lokasi pusat gempa bumi terletak di darat yang diperkirakan dari aktivitas segmen Musi Sesar Sumatera telah mengakibatkan 4 orang meninggal dunia, beberapa orang luka-luka, diperkirakan 550 bangunan rusak di Kepahiang, terjadi retakan tanah dan longsor.

K. Undang - Undang Tentang Mitigasi Bencana

1. Bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.
2. Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.
3. Bencana nonalam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa nonalam yang antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit.

4. Bencana sosial adalah bencana yang diakibatkan oleh manusia yang meliputi konflik sosial antar kelompok atau antar komunitas masyarakat dan teror.
5. Penyelenggaraan penanggulangan bencana adalah serangkaian upaya yang meliputi penetapan kebijakan pembangunan yang berisiko timbulnya bencana, kegiatan pencegahan bencana, tanggap darurat, dan rehabilitasi.
6. Kegiatan pencegahan bencana adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan sebagai upaya untuk menghilangkan dan/atau mengurangi ancaman bencana.
7. Kesiapsiagaan adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna.
8. Peringatan dini adalah serangkaian kegiatan pemberian peringatan sesegera mungkin kepada masyarakat tentang kemungkinan terjadinya bencana pada suatu tempat oleh lembaga yang berwenang.
9. Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.
10. Tanggap darurat bencana adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan dengan segera pada saat kejadian bencana untuk menangani dampak buruk yang ditimbulkan meliputi kegiatan penyelamatan dan evakuasi korban, harta benda, pemenuhan kebutuhan dasar, perlindungan, pengurusan pengungsi, penyelamatan, serta pemulihan prasarana dan sarana.
11. Rehabilitasi adalah perbaikan dan pemulihan semua aspek pelayanan publik atau masyarakat sampai tingkat yang memadai pada wilayah pasca bencana

dengan sasaran utama untuk normalisasi atau berjalannya secara wajar semua aspek pemerintahan dan kehidupan masyarakat pada wilayah pasca bencana.

12. Rekonstruksi adalah pembangunan kembali semua prasarana dan sarana, kelembagaan pada wilayah pascabencana, baik pada tingkat pemerintahan maupun masyarakat dengan sasaran utama tumbuh dan berkembangnya kegiatan perekonomian, sosial dan budaya, tegaknya hukum dan ketertiban, dan bangkitnya peran serta masyarakat dalam segala aspek kehidupan bermasyarakat pada wilayah pascabencana.
13. Ancaman bencana adalah suatu kejadian atau peristiwa yang bisa menimbulkan bencana.
14. Rawan bencana adalah kondisi atau karakteristik geologis, biologis, hidrologis, klimatologis, geografis, sosial, budaya, politik, ekonomi, dan teknologi pada suatu wilayah untuk jangka waktu tertentu yang mengurangi kemampuan mencegah, meredam, mencapai kesiapan, dan mengurangi kemampuan untuk menanggapi dampak buruk bahaya tertentu.
15. Pemulihan adalah serangkaian kegiatan untuk mengembalikan kondisi masyarakat dan lingkungan hidup yang terkena bencana dengan memfungsikan kembali kelembagaan, prasarana, dan sarana dengan melakukan upaya rehabilitasi.
16. Pencegahan bencana adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengurangi atau menghilangkan risiko bencana, baik melalui pengurangan ancaman bencana maupun kerentanan pihak yang terancam bencana.
17. Risiko bencana adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka,

sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat.

18. Bantuan darurat bencana adalah upaya memberikan bantuan untuk memenuhi kebutuhan dasar pada saat keadaan darurat.
19. Status keadaan darurat bencana adalah suatu keadaan yang ditetapkan oleh Pemerintah untuk jangka waktu tertentu atas dasar rekomendasi Badan yang diberi tugas untuk menanggulangi bencana.
20. Pengungsi adalah orang atau kelompok orang yang terpaksa atau dipaksa ke luar dari tempat tinggalnya untuk jangka waktu yang belum pasti sebagai akibat dampak buruk bencana.
21. Setiap orang adalah orang perseorangan, kelompok orang, dan/atau badan hukum.
22. Korban bencana adalah orang atau sekelompok orang yang menderita atau meninggal dunia akibat bencana.
23. Pemerintah Pusat, selanjutnya disebut Pemerintah, adalah Presiden Republik Indonesia yang memegang kekuasaan pemerintahan negara sebagaimana dimaksud dalam Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945.
24. Pemerintah daerah adalah gubernur, bupati/walikota, atau perangkat daerah sebagai unsur penyelenggara pemerintahan daerah. Lembaga usaha adalah setiap badan hukum yang dapat berbentuk badan usaha milik negara, badan usaha milik daerah, koperasi, atau swasta yang didirikan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang menjalankan jenis usaha tetap

dan terus menerus yang bekerja dan berkedudukan dalam wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

25. Lembaga internasional adalah organisasi yang berada dalam lingkup struktur organisasi Perserikatan Bangsa-Bangsa atau yang menjalankan tugas mewakili Perserikatan Bangsa-Bangsa atau organisasi internasional lainnya dan lembaga asing nonpemerintah dari negara lain di luar Perserikatan Bangsa-Bangsa.

L. Penelitian Relevan

Penelitian relevan yang berkaitan dengan Zonasi Hazard, yang pertama dilakukan oleh Jimmi, dkk (2014) melakukan penelitian dengan tujuan untuk menganalisis hazard gempa dan isoseismal di wilayah Jawa-Bali-NTB. Hasil analisis hazard gempa menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar Pulau Jawa-Bali-NTB bervariasi dari 0,05 g – 0,5 g. Hasil analisis ini hampir sama dengan Peta Gempa Indonesia 2010.

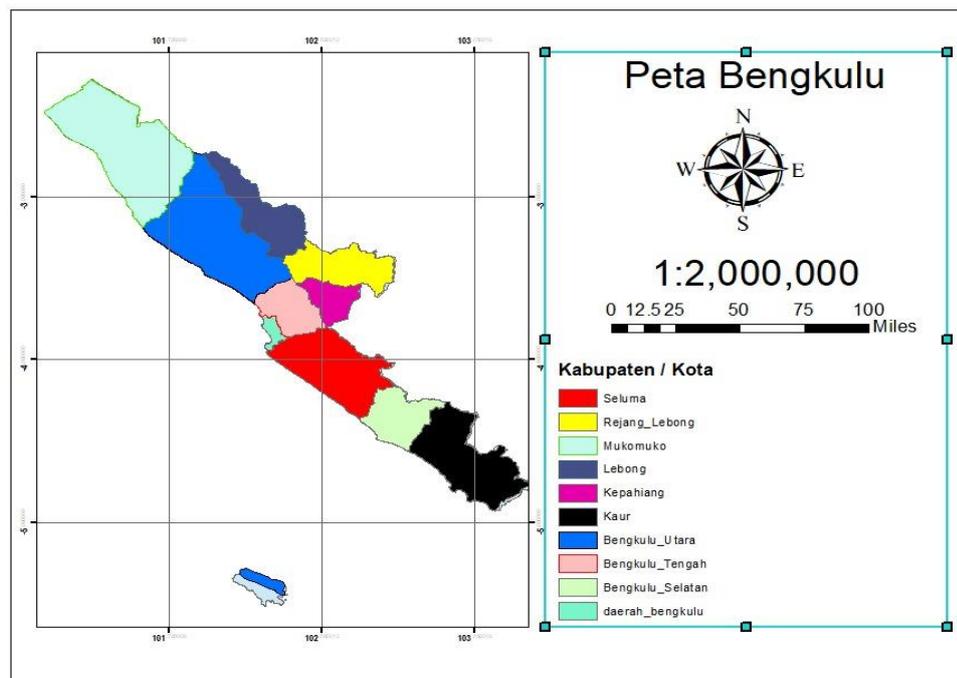
Kedua dilakukan oleh Uzlifatul Azmiyati dengan analisis yang telah dilakukan menghasilkan variasi nilai PGA antara 0g-0,50g. Dari peta PGA diketahui bahwa daerah Pulau Sumbawa, Sumba, Timor, Flores dan Kupang memiliki tingkat bahaya gempabumi tinggi dengan nilai PGA antara 0,25g - 0,50g. Daerah Pulau Bali dan Lombok bagian selatan memiliki tingkat bahaya gempabumi rendah dengan nilai PGA antara 0,1g - 0,25g.

Penelitian Relevan yang ketiga dilakukan oleh Merley Misriani, Monika Natalia, Zulfira Mirani (2016). Hasil yang diperoleh yaitu usulan beberapa (*ground motion synthetic*) di periode PGA, 0.2, dan 1.0 detik. *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk periode ulang gempabumi 475 dan 2475 tahun

berturut-turut adalah 0.31 g dan 0.49 g. Sumber gempa bumi yang memberikan kontribusi terbesar terhadap lokasi tersebut adalah zona subduksi megathrust.

M. Deskripsi Daerah Penelitian

Penelitian yang dilakukan berada di wilayah Bengkulu. Secara geografisnya, wilayah Bengkulu terletak pada koordinat $5^{\circ}40' - 2^{\circ} LS$ dan $40' - 104^{\circ} 0' BT$.

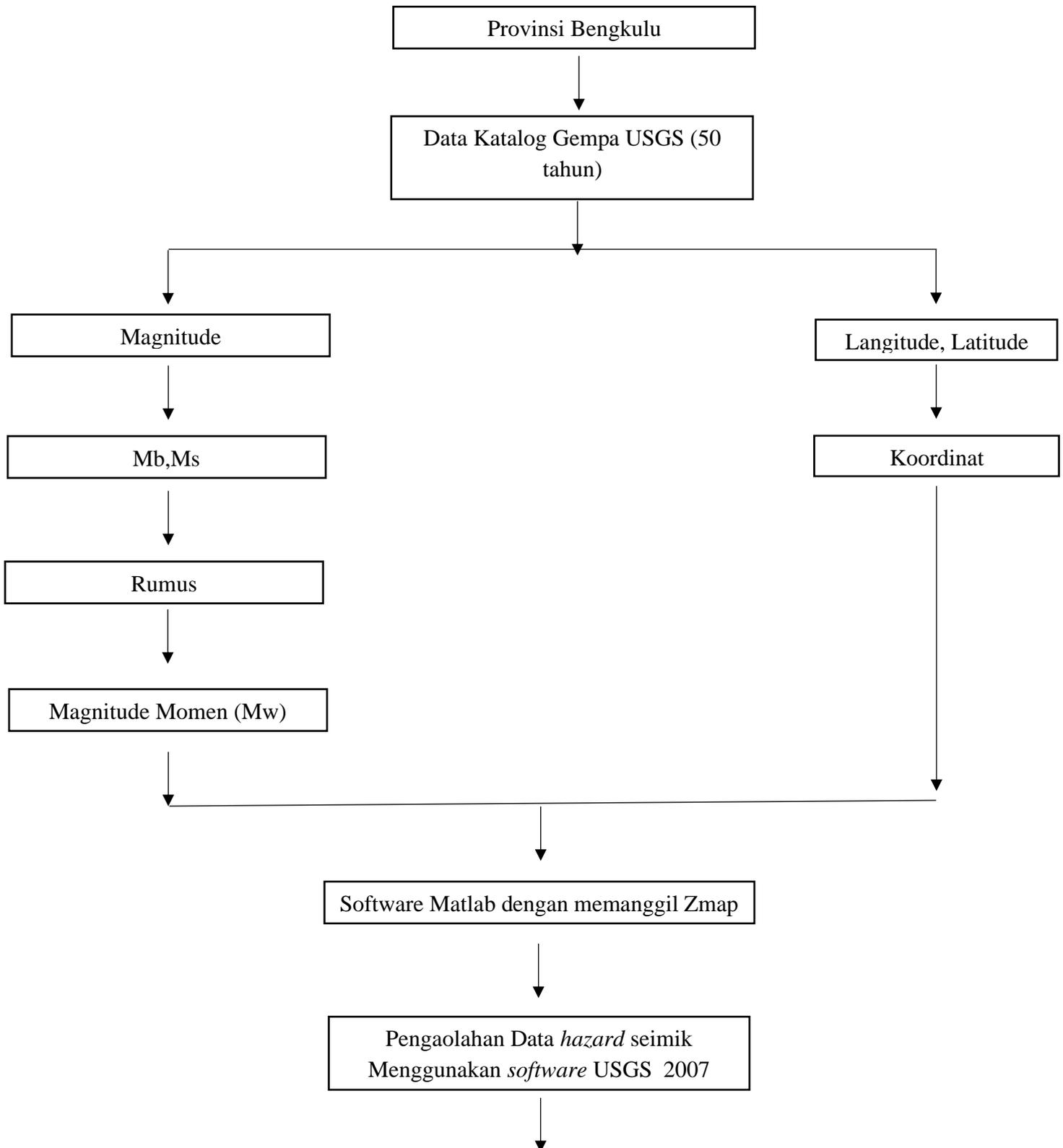


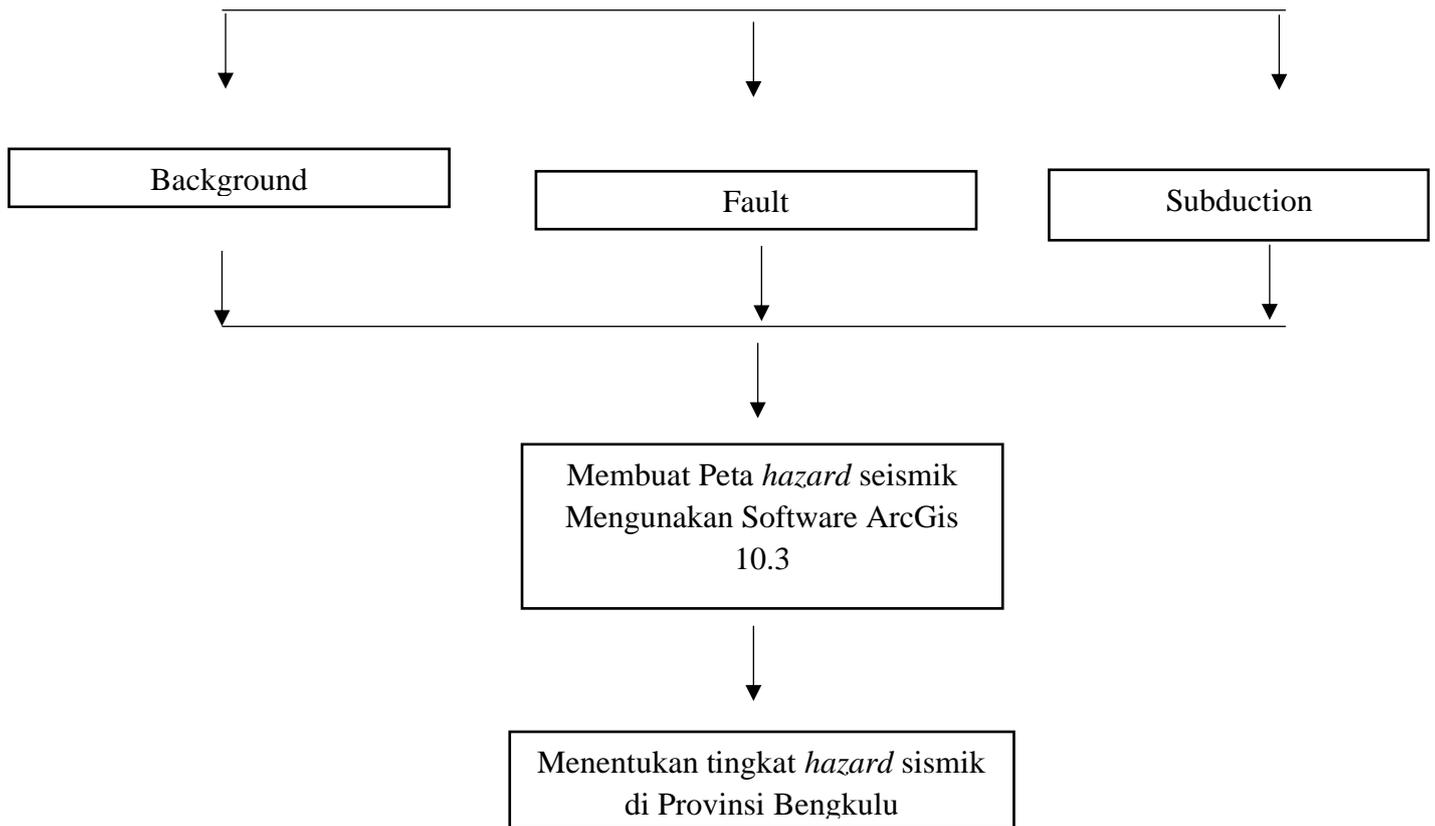
Gambar 8. Peta Provinsi Bengkulu

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu daerah di Pulau Sumatra bagian selatan yang rawan terhadap guncangan gempa bumi. Kondisi ini disebabkan karena Provinsi Bengkulu merupakan jalur pertemuan lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia. Selain itu, Provinsi Bengkulu juga merupakan daerah yang dilalui jalur Sesar Sumatra. Energi tektonik kumulatif dan nilai strain rate paling besar terjadi di zona selatan yaitu di sekitar wilayah Provinsi Bengkulu. Energi tektonik dan nilai

strain rate yang besar berimplikasi pada gerakan tenaga luncuran slab menjadi mudah memicu terjadinya patahan (*fracture*).

N. Kerangka Berpikir





Gambar 9. Kerangka Berfikir Penelitian.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan mengenai bahaya seismik di Provinsi Bengkulu dengan menggunakan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) yaitu: Pertama peta bahaya gempabumi Provinsi Bengkulu, wilayah yang memiliki tingkat bahaya gempabumi yang tinggi terdapat di Kabupaten Kepahiang . kabupaten ini memiliki nilai PGA maksimum $T = 0.2$ detik sebesar $0.72 \text{ g} - 2.63 \text{ g}$ dan $T = 1$ detik sebesar $0.26 \text{ g} - 0.85 \text{ g}$. Peta bahaya gempabumi ini juga memperlihatkan wilayah dengan tingkat bahaya gempabumi rendah yaitu di Kabupaten Muko – muko dan Kota Bengkulu. Meskipun intensitas yang dihasilkan sama tetapi gempa yang dirasakan berbeda karena percepatan di batuan dasar bernilai $1.00 \text{ g} - 1.54 \text{ g}$ pada $T = 0.2$ detik dan $0.26 \text{ g} - 0.43 \text{ g}$ pada $T = 1$ detik.

Kedua Kabupaten yang memiliki tingkat bahaya gempabumi tinggi berada pada Kabupaten Kepahiang dan Kabupaten dengan tingkat bahaya gempabumi yang rendah berada pada kabupaten Muko – muko dan Kota Bengkulu. Secara probabilitas bahaya gempa pada Provinsi Bengkulu di dominasi oleh sumber gempa zona subduksi. Meskipun secara intensitas Provinsi Bengkulu berada pada tingkat yang sama, tetapi karena perbedaan nilai percepatan di batuan dasar yang dihasilkan berbeda sehingga gempa yang dirasakan berbeda.

B. Saran

Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai bahaya gempa bumi ini, mengingat bahwa Provinsi Bengkulu merupakan Provinsi yang sangat rawan terjadinya bencana gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agwil, W., Novianti, P., & Hidayati, N. (2020). PENERAPAN JARINGAN SARAF TIRUAN PADA DATA GEMPA BUMI DI PROVINSI BENGKULU. *Statistika*, 8(2).
- Ardiansyah, Sabar. 2016. *Aktivitas Gempabumi Signifikan di Kawasan Segmen Musi Kepahiang Bengkulu*. Bengkulu: Stasiun Geofisika Bengkulu.
- Arif Ismul Hadi dan Kirbani Sri Brotopuspito. (2015). *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (PSHA)*. 18(3).
- Arisbaya, I., Mukti, M. M., Handayani, L., Permana, H., Schnabel, M., & Jaxybulatov, K. (2015). Tinggian Tabuan-Panaitan, Jejak Sesar Sumatera di Selat Sunda Berdasarkan Analisis Data Geofisika. PROSIDING GEOTEKNOLOGI LIPI.
- Azmiyati, Uzlivatul. 2021. *Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Akibat Gempabumi Di Wilayah Nusa Tenggara Dengan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. Kota Mataram: Universitas Nahdlatul Ulama NTB.
- Baker, W.J. 2008. *An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis*, version 1.3. Stanford University.
- Bidang Seismologi Teknik. 2018. *Modul Diklat Teknis Seismologi Teknik Seri Geofisika Prinsip Dasar Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Edwiza, Daz. 2008. *Analisis Terhadap Intensitas dan percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar*. Padang: Universitas Andalas.
- Gafoer, S., Amin, T.C., dan Pardede, R., 1992, Peta geologi lembar Bengkulu Sumatera, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Hadi, A. I., & Brotopuspito, K. S. (2015). PEMETAAN PERCEPATAN GETARAN TANAH MAKSIMUM MENGGUNAKAN PENDEKATAN PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (PSHA) DI KABUPATEN KEPAHIANG PROVINSI BENGKULU. *BERKALA FISIKA*, 18(3), 101-112.
- Hadi, A.I., Farid, M dan Fauzi, Y. 2012. *Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Kerentanan Seismik Akibat Gempa Bumi untuk Mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu*. *Jurnal Ilmu Fisika Indonesia* 1 (2): 81-86.
- Harlianto, Budi, and H. Wahyudi. 2013. *Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum, Indeks Kerentanan Seismik Tanah, Ground Shear Strain, dan*

Ketebalan Lapisan Sedimen Untuk Mitigasi Bencana Gempabumi Di Kabupaten Bengkulu Utara. Diss. Universitas Gadjah Mada.

- Irsyam; Widiyantoro; Danny; Irwan; Ariska; Hidayati; Wahyu; Nuraini; Didiek; Lutfi; Sunarjito. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Khoiroh, Mufidatul, et al. 2018. *Analisis Bahaya Kegempaan di Kabupaten Garut dengan Percepatan Tanah Maksimum Menggunakan Metode Probabilistik*. Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-11 Perspektif Ilmu Kebumihan Dalam Kajian Bencana.
- Lowrie, William. 2007. *Fundamental Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Mase, L. Z. (2017). Liquefaction Potential Analysis Along Coastal Area of Bengkulu Province due to the 2007 M w 8.6 Bengkulu Earthquake. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, 49(6).
- Natawidjaja, Danny Hilman. 2007. *The Sumatran Fault Zone – From Source To Hazard*. *Journal of Earthquake and Tsunami*. 1(1) : 21 – 47.
- Nugraha, Jimmi, Pasau, Guntur Sunardi, Bambang Widiyantoro, Sri. *Analisis Hazard Gempa Dan Isoleismal Untuk Wilayah Jawa-Bali-Ntb*. Manado : Universitas Syam Ratulangi.
- Purbandini, Pambayun, Bagus Jaya Santosa, And Bambang Sunardi, „Analisis Bahaya Kegempaan Di Wilayah Malang Menggunakan Pendekatan Probabilistik“, *Jurnal Sains Dan Seni Its* Vol. 6, No. 2 (2017) 2337-3520 (2301-928x Print), 6.2 (2017).
- Raharjo, Furqon Dawam. 2016. *Studi Analisis Variasi Spasial Parameter Seismotektonik untuk Mengetahui Konsisi Stress Lokal dan Memetakan Tingkat Keaktifan Kegempaan di Sumatera Barat dan Sekitarnya*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Sieh, K., dan Natawidjaja, D., 2000, Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, Volume 105, no. B12, December 10, 2000, pp. 28295 – 28326.
- Sunarjo, S., Gunawan, M. T., & Pribadi, S. (2012). *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Sunarjo, G. (2012). MT dan Pribadi. S. *“Gempabumi Edisi Populer*.

- Supartoyo dan Litman . 2018. KE, T. O. I. T. (2018). PROSIDING SEMINAR NASIONAL. Padang : UNAND.
- Supartoyo & Surono. (2008). *Katalog Gempa Bumi Merusak di Indonesia tahun 1629-2007*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, dan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010. Bandung. Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010.
- Wald, et al. 1999. *Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. Earthquake Spectra Volume 15, No.3, Agustus 1999*.
- William, K.H Lee, Hiroo Kanamori, Paul C. Jennings, and Carl Kisslinger. 2003. *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. London : Academic Press.
- Wiliam, Lowrie. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press.
- Zaimi Netrisia, Syafriani, R. T. dan H. A. (2018). *Pemetaan Bahaya Gempabumi Deterministik Dengan Pendekatan Peak Ground Acceleration (Pga) Di Kota Padang*. 11(2), 41–48.