

**ANALISIS B-VALUE DAN PEAK GROUND ACCELERATION  
(PGA) DI PROVINSI SUMATERA BARAT DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *LIKELIHOOD*  
MAKSIMUM DAN RUMUS EMPIRIS  
(PERIODE DATA GEMPA 2007-2020)**



**FANDU ALFADILAH  
NIM. 18034048/2018**

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

**ANALISIS B-VALUE DAN PEAK GROUND ACCELERATION  
(PGA) DI PROVINSI SUMATERA BARAT DENGAN  
MENGUNAKAN METODE LIKELIHOOD  
MAKSIMUM DAN RUMUS EMPIRIS  
(PERIODE DATA GEMPA 2007-2020)**

**SKRIPSI**

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



**Oleh:  
FANDU ALFADILAH  
NIM. 18034048/2018**

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

## PERSETUJUAN SKRIPSI

### ANALISIS *B-VALUE* DAN *PEAK GROUND ACCELERATION* (PGA) DI PROVINSI SUMATERA BARAT DENGAN MENGUNAKAN METODE *LIKELIHOOD* MAKSIMUM DAN RUMUS EMPIRIS (PERIODE DATA GEMPA 2007-2020)

Nama : Fandu Alfadilah  
NIM : 18034048  
Program Studi : Fisika  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 08 Maret 2022

Mengetahui  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si.  
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh:  
Pembimbing



Syafriani, S.Si., M.Si., Ph.D.  
NIP. 197403051998022001

## PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

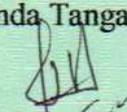
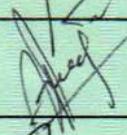
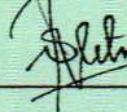
Nama : Fandu Alfadilah  
NIM : 18034048  
Program Studi : Fisika  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

### **ANALISIS B-VALUE DAN PEAK GROUND ACCELERATION (PGA) DI PROVINSI SUMATERA BARAT DENGAN MENGUNAKAN METODE LIKELIHOOD MAKSIMUM DAN RUMUS EMPIRIS (PERIODE DATA GEMPA 2007-2020)**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Jurusan  
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri  
Padang

Padang, 14 Februari 2022

#### Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Syafriani, S.Si., M.Si., Ph.D.	1. 
2. Anggota	: Dr. Hamdi, M.Si.	2. 
3. Anggota	: Drs. Letmi Dwiridal, M.Si.	3. 

## SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Fandu Alfadilah

NIM/TM : 18034048/2018

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul : "Analisis *b-Value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) Di Provinsi Sumatera Barat dengan Menggunakan Metode *Likelihood* Maksimum dan Rumus Empiris (Periode Data Gempa 2007-2020)" adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Saya yang menyatakan,



Fandu Alfadilah  
NIM. 18034048

**Analisis *b-Value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Provinsi Sumatera Barat dengan menggunakan Metode *Likelihood* Maksimum dan Rumus Empiris (Periode Data Gempa 2007-2020)**

**Fandu Alfadilah**

**ABSTRAK**

Pulau Sumatera adalah salah satu pulau yang terletak pada bagian barat Indonesia yang merupakan kawasan episentrum gempabumi. Salah satu provinsi yang terdapat pada bagian pesisir barat pulau Sumatera bagian tengah yaitu provinsi Sumatera Barat. Provinsi Sumatera Barat memiliki empat segmen sesar aktif yang merupakan bagian dari zona sesar Sumatera. Diantaranya, Segmen Sumpur, Segmen Sianok, Segmen Sumani dan Segmen Suliti. Kondisi geologi inilah yang menyebabkan sering terjadinya gempabumi di provinsi Sumatera Barat. Semua gempabumi tersebut menimbulkan kerusakan, kerugian harta benda dan menelan banyak korban jiwa. Proses yang menyebabkan terjadinya gempabumi besar dan merusak di suatu wilayah dipelajari guna memahami kondisi *stress* lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan. Kondisi *stress* lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan dapat diketahui dengan melakukan analisis *b-value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA). Tujuan penelitian ini yaitu menentukan *b-value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan mengetahui peta sebarannya. Kedua nilai tersebut menjelaskan kondisi tektonik yang berkaitan dengan *stress* batuan di suatu wilayah dan sebagai tingkat keaktifan gempa.

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data gempabumi di provinsi Sumatera Barat pada periode 2007-2020 dengan posisi geografis yaitu 3° 50' LS - 1° 20' LU dan 98° 10' - 102° 10' BT yang bersumber dari katalog *National Earthquakes Information Center U.S Geological Survey* (NEIC/USGS). Penentuan *b-value* dalam penelitian ini menggunakan metode *likelihood* maksimum dan untuk menentukan percepatan tanah atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan formula baru dari rumus empiris Lin and Wu.

Hasil perhitungan *b-value* akibat gempa yang terjadi di provinsi Sumatera Barat tahun 2007-2020 dengan magnitudo  $\geq 5$  SR dan kedalaman  $\leq 100$  km nilainya pada tiap-tiap wilayah berkisar antara 0.8421-1.4477. Kemudian untuk nilai percepatan tanah maksimum nilainya berkisar antara 10.87-376.98 gal. Peta sebaran *b-value* dan nilai percepatan tanah maksimum yaitu untuk *b-value*, wilayah yang memiliki nilai terkecil berada pada wilayah 6, sedangkan nilai terbesar berada pada wilayah 2. Kemudian untuk nilai percepatan tanah maksimum berdasarkan peta, kota/kabupaten dengan nilai percepatan tanah maksimum terbesar berada di Kabupaten Kepulauan Mentawai yaitu berkisar antara 84.11-328.17 gal, sedangkan nilai terendah berada di Kabupaten Dharmasraya yaitu berkisar antara 10.87-35.28 gal.

Kata Kunci: Gempabumi, Seismisitas, *b-value*, PGA

**Analysis of b-Value and Peak Ground Acceleration (PGA) in West Sumatra  
Province using Maximum Likelihood Method and Empirical Formula  
(Earthquake Data Period 2007-2020)**

**Fandu Alfadilah**

**ABSTRACT**

Sumatra Island is one of the islands located in the western part of Indonesia which is the epicenter of the earthquake. One of the provinces located on the west coast of the island of central Sumatra is the province of West Sumatra. West Sumatra Province has four active fault segments which are part of the Sumatran fault zone. Among them, the Sumpu Segment, the Sianok Segment, the Sumani Segment, and the Difficult Segment. This geological condition causes frequent earthquakes in the province of West Sumatra. All these earthquakes caused damage, lost property, and claimed many lives. The processes that cause large and destructive earthquakes in an area are studied in order to understand local tectonic stress conditions and the level of seismic activity. Local tectonic stress conditions and the level of seismic activity can be determined by performing b-value analysis and Peak Ground Acceleration (PGA). The purpose of this study is to determine the b-value and Peak Ground Acceleration (PGA) and find out the distribution map. Both values reflect tectonic conditions related to rock stress in an area and as a level of earthquake activity.

The data used in this study is earthquake data in the province of West Sumatra in the period 2007-2020 with a geographical position of  $3^{\circ} 50' S - 1^{\circ} 20' N$  and  $98^{\circ} 10' - 102^{\circ} 10' E$  sourced from the catalog of the National Earthquakes Information Center US Geological Surveys (NEIC/USGS). Determination of b-value in this study using the maximum likelihood method and to determine Peak Ground Acceleration (PGA) using a new formula from Lin and Wu's empirical formula.

The results of the b-value calculation due to the earthquake that occurred in the province of West Sumatra in 2007-2020 with a magnitude 5 SR and a depth of 100 km the value in each region ranges from 0.8421-1.4477. Then the peak ground acceleration value ranges from 10.87 - 376.98 gal. The b-value distribution map and the peak ground acceleration value are for the b-value, the area with the smallest value is in area 6, while the largest value is in area 2. Then for the peak ground acceleration value based on the map, the city/district with the ground acceleration value The largest maximum value is in the Mentawai Islands Regency, which is in the range of 84.11-328.17 gal, while the lowest value is in Dharmasraya Regency, which is between 10.87-35.28 gal.

Keywords: Earthquakes, Seismicity, *b-value*, PGA

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya yang telah dilimpahkan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **Analisis *b-Value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Provinsi Sumatera Barat dengan menggunakan Metode *Likelihood* Maksimum dan Rumus Empiris (Periode Data Gempa 2007-2020)**. Penulisan skripsi ini adalah sebagai syarat dalam menyelesaikan Program Strata Satu (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu, baik bantuan secara moril maupun materil dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu:

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP.
2. Ibu Syafriani, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Prodi Fisika, penasehat akademik dan pembimbing tugas akhir, yang telah banyak memberikan bantuan, masukan serta saran selama pelaksanaan penelitian sampai pembuatan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Hamdi, M.Si. dan bapak Drs. Letmi Dwiridal, M.Si., selaku tim penguji.
4. Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
5. Kedua Orang Tua tercinta yang senantiasa selalu memberikan doa, dorongan serta motivasi yang tak terhingga sepanjang hidup penulis.

6. Seluruh Tim Seismik dan keluarga besar Fisika B 2018 (Osilator) yang telah menjadi alasan penulis untuk tetap berjuang, semangat dan tidak menyerah.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Terakhir, penulis meminta maaf dan menyadari akan kelemahan dan kekurangan dari skripsi ini. Oleh karena itu, segala kritik membangun dan sumbangan saran akan diterima dengan penuh ucapan terima kasih demi semakin baiknya sajian skripsi ini. Semoga skripsi ini ada manfaatnya bagi para pembaca, khususnya bagi mahasiswa Universitas Negeri Padang.

Padang, 20 Januari 2022



Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	5
C. Batasan Masalah .....	6
D. Rumusan Masalah .....	6
E. Tujuan Penelitian .....	7
F. Manfaat Penelitian .....	7
BAB II KERANGKA TEORITIS .....	9
A. Gempabumi .....	9
B. Kondisi Tektonik Sumatera Barat .....	21
C. Mitigasi Bencana Gempabumi .....	26
D. Metode <i>Likelihood</i> Maksimum .....	27
E. Aplikasi Eliminasi Gauss pada Masalah Inversi .....	29
F. Percepatan Tanah Maksimum .....	31

G. Penelitian Relevan.....	34
H. Kerangka Berpikir .....	35
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>38</b>
A. Jenis Penelitian.....	38
B. Variabel Penelitian .....	38
C. Data Penelitian .....	38
D. Teknik Pengumpulan Data.....	39
E. Teknik Pengolahan Data .....	39
F. Teknik Interpretasi Data.....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
A. Hasil.....	42
B. Pembahasan.....	51
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>56</b>
A. Kesimpulan .....	56
B. Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>62</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi <i>Elastic Rebound Theory</i> .....	10
Gambar 2. Contoh Rekaman Gelombang Seismik .....	11
Gambar 3. Gelombang Badan ( <i>body wave</i> ) .....	11
Gambar 4. Gelombang Permukaan ( <i>surface wave</i> ) .....	12
Gambar 5. Tatanan Tektonik Pulau Sumatera.....	22
Gambar 6. Segmen Aktif di Provinsi Sumatera Barat .....	24
Gambar 7. Kerangka Berpikir Penelitian .....	36
Gambar 8. Peta Sebaran Data Gempabumi Provinsi Sumatera Barat .....	42
Gambar 9. Peta Sebaran <i>b-Value</i> di Provinsi Sumatera Barat .....	45
Gambar 10. Perbandingan Nilai Percepatan Tanah Maksimum .....	48
Gambar 11. Peta Grid Provinsi Sumatera Barat.....	49
Gambar 12. Peta Percepatan Tanah Maksimum Provinsi Sumatera Barat .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skala Intensitas Gempabumi BMKG.....	20
Tabel 2. Hasil Perhitungan <i>b-Value</i> pada tiap-tiap Wilayah.....	44
Tabel 3. Data Gempa Rekaman Akselerograf pada Stasiun Gempa Padang (PDSI).....	46

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Data Gempa dari USGS dan BMKG .....	62
Lampiran 2. Data PGA di Provinsi Sumatera Barat .....	63

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Indonesia adalah negara kepulauan yang dilalui oleh jalur tiga pertemuan lempeng tektonik aktif di dunia, yaitu di bagian selatan lempeng Indo-Australia, di bagian timur lempeng Pasifik dan dibagian utara lempeng Eurasia. Gerakan ketiga lempeng tektonik ini menghasilkan pelepasan energi yang menjalar ke segala arah hingga ke permukaan bumi sehingga menyebabkan terjadinya gempa bumi. Keadaan inilah yang membuat Negara Indonesia sering dilanda bencana gempa bumi. Lempeng tersebut dapat bergerak secara divergen (saling menjauh), konvergen (saling mendekat) atau transform (saling bergeser).

Pulau Sumatera adalah salah satu pulau yang terletak pada bagian barat Indonesia yang merupakan kawasan episentrum gempa bumi. Hal ini dikarenakan pulau Sumatera memiliki tiga sistem tatanan tektonik yang dapat mempengaruhi tingkat aktivitas seismik. Pertama, zona subduksi yang merupakan lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara, ke arah bawah kepulauan Mentawai dan pulau Sumatera yang adalah lempeng benua atau disebut lempeng Eurasia (Razi, dkk, 2007). Lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia bergerak dengan kecepatan 60-70 mm per tahun (Newcomb & McCann, 1987). Zona ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan gempa bumi dengan magnitudo yang besar dan dapat menimbulkan tsunami. Kedua, sesar Sumatera yang terbentuk karena

lempeng Indo-Australia menyusup di bawah lempeng Eurasia dengan arah yang miring sekitar 40-45 derajat. Penunjaman miring tersebut mengakibatkan terbentuknya zona sesar Sumatera (Madlazim, 2013). Sesar sumatera dikenal juga dengan sebutan nama sesar semangko (*Sumatra Fault Zone*) yang membentang dari Selat Sunda (Teluk Semangko) sampai ke Aceh bagian utara sehingga membelah pulau Sumatera menjadi dua bagian. Ketiga, sesar mentawai yang membentang sepanjang 600 km dan terletak di sebelah timur Kepulauan Mentawai di antara *forearc ridge* dan *forearc basin*. Sesar ini merupakan sesar yang paralel dengan sesar sumatera atau sesar semangko (Diament, dkk, 1992).

Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang terdapat pada bagian pesisir barat pulau Sumatera bagian tengah yang memiliki empat segmen sesar aktif. Segmen tersebut merupakan bagian dari zona sesar sumatera. Diantaranya, Segmen Sumpur yang memiliki panjang sesar sekitar  $\pm 35$  km, membentang di daerah Rao, Lubuk Sikaping, Kabupaten Pasaman; Segmen Sianok yang memiliki panjang sesar sekitar  $\pm 90$  km, membentang dari daerah Ngarai Sianok, Kota Bukittinggi sampai Tenggara Danau Singkarak; Segmen Sumani yang memiliki panjang sesar sekitar  $\pm 60$  km, segmen ini membentang dari utara Danau Singkarak, menyisir sisi barat daya danau tersebut melewati Kota Solok, Sumani, Selayo dan berakhir di utara Danau Diatas, sebelah tenggara Gunung Talang; Segmen Suliti yang memiliki panjang sesar sekitar  $\pm 90$  km, membentang dari Danau Diatas dan Danau Dibawah hingga menelusuri lembah segmen Suliti ke tenggara

sampai anak-anak Sungai Liki di barat laut Gunung Kerinci (Triyono, 2015). Kondisi geologi inilah yang menyebabkan terjadinya gempa bumi di provinsi Sumatera Barat.

Gempa bumi adalah suatu peristiwa pelepasan energi gelombang seismik yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi. Proses pelepasan energi ini berupa gelombang elastis, yaitu gelombang seismik atau gempa yang sampai ke permukaan bumi dan menghasilkan getaran sehingga menimbulkan kerusakan pada benda-benda atau bangunan di permukaan bumi (Hartuti, 2009).

Berdasarkan katalog gempa bumi merusak Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) tahun 1612-2014, di Indonesia khususnya provinsi Sumatera Barat memiliki cukup banyak catatan sejarah bencana gempa bumi merusak. Diantaranya, gempa bumi Mentawai tahun 1861 dengan magnitudo 8,4, gempa bumi Padang Panjang tahun 1926 dengan magnitudo 7,8, gempa bumi Alahan Panjang tahun 1943 dengan magnitudo 7,7, gempa bumi Pasaman tahun 1977 dengan magnitudo 5,5, gempa bumi Pesisir Selatan tahun 2004 dengan magnitudo 6 Mw dan gempa bumi Padang Pariaman tahun 2009 dengan magnitudo 7,9 Mw (Supartoyo, dkk, 2014). Semua gempa bumi tersebut menimbulkan kerusakan, kerugian harta benda dan menelan banyak korban jiwa. Proses yang menyebabkan terjadinya gempa bumi besar dan merusak di suatu

wilayah dipelajari guna memahami kondisi *stress* lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan (Raharjo, dkk, 2016).

Kondisi *stress* lokal tektonik dapat diketahui dengan melakukan analisis *b-value*, karena *b-value* adalah salah satu parameter keadaan tektonik di suatu daerah yang sedang diamati dan tergantung dari sifat batuan setempat serta tingkat kerapuhan batumannya (Asnita, dkk, 2016; Scholz, 1968). *B-value* juga mencerminkan kondisi tektonik yang berkaitan dengan *stress* batuan di suatu wilayah. *B-value* tinggi berkorelasi dengan kondisi *stress* batuan yang rendah dan memiliki kondisi medium heterogenitas tinggi, akan tetapi *b-value* rendah berkorelasi dengan kondisi *stress* batuan yang tinggi dan memiliki medium heterogenitas rendah (Raharjo, dkk, 2016; Gibowicz, 1973). *B-value* dapat diperkirakan dengan menggunakan metode analisis statistik, salah satunya yang dikemukakan oleh Utsu (1965) yang dikenal dengan metode *Likelihood* (Sunardi, 2009).

Tingkat keaktifan kegempaan dapat diketahui dengan melakukan analisis percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA). *Peak Ground Acceleration* (PGA) merupakan salah satu parameter yang menentukan nilai percepatan tanah terbesar yang pernah terjadi pada suatu daerah tersebut yang diakibatkan oleh gelombang dari gempabumi (Mandasari, dkk, 2018). Besar kecilnya percepatan tanah tersebut menunjukkan tingkat keaktifan kegempaan atau resiko gempabumi yang perlu diperhitungkan sebagai salah satu titik ukur dalam perencanaan bangunan tahan gempa (Leviana, dkk, 2017). Parameter ini dapat dihitung

berdasarkan magnitudo dan jarak sumber gempa bumi yang terjadi pada titik pengukuran (Netrisa, dkk, 2018). Nilai PGA didapatkan dari hasil pengukuran baik secara langsung dengan menggunakan *Accelerograph* maupun melalui perhitungan menggunakan rumusan empiris dengan menggunakan data gempa bumi (Linkimer, 2008).

Provinsi Sumatera Barat merupakan provinsi dengan tingkat aktivitas gempa bumi yang sangat tinggi. Posisi geografis Sumatera Barat terletak pada  $3^{\circ} 50' \text{ LS} - 1^{\circ} 20' \text{ LU}$  dan  $98^{\circ} 10' - 102^{\circ} 10' \text{ BT}$ . Cara untuk meminimalisir kerugian dan kerusakan akibat kemungkinan terjadinya bencana gempa bumi adalah dilakukannya mitigasi bencana. Salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi yaitu melakukan pemetaan dan analisis kondisi *stress* lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan berdasarkan parameter fisis batuan. Kondisi *stress* lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan tersebut dapat diketahui dengan melakukan analisis *b-value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau percepatan tanah maksimum. Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian dengan menganalisis *b-value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) di provinsi Sumatera Barat dengan menggunakan metode *likelihood* maksimum dan rumus empiris (Periode data gempa 2007-2020)".

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka identifikasi masalah pada penelitian ini mencakup sebagai berikut:

1. Tahun 1612-2020 provinsi Sumatera Barat memiliki cukup banyak catatan sejarah bencana gempa bumi signifikan dan merusak yang dipengaruhi oleh tiga sistem tatanan tektonik, yaitu Zona Subduksi, Sesar Sumatera dan Sesar Mentawai.
2. Gempabumi signifikan dan merusak di provinsi Sumatera Barat dipelajari guna memahami kondisi *stress* lokal tektoniknya dan tingkat keaktifan kegempaan dengan melakukan analisis *b-value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi.

### **C. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Gempabumi signifikan dan merusak tahun 2007-2020 di provinsi Sumatera Barat yang dipengaruhi oleh Sesar Sumatera dan Sesar Mentawai.
2. Pemetaan *b-value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan *software* ArcGis 10.8.

### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan masalah di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapakah *b-value* akibat gempa yang terjadi di provinsi Sumatera Barat tahun 2007-2020 berdasarkan perhitungan menggunakan metode *likelihood* maksimum?

2. Berapakah nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa yang terjadi di provinsi Sumatera Barat tahun 2007-2020 berdasarkan perhitungan menggunakan rumusan empiris?
3. Bagaimanakah peta sebaran *b-value* dan nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa yang terjadi di provinsi Sumatera Barat tahun 2007-2020?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *b-value* sebagai nilai yang menjelaskan kondisi tektonik yang berkaitan dengan *stress* batuan di suatu wilayah dengan menggunakan metode *likelihood* maksimum.
2. Menentukan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) sebagai tingkat keaktifan gempa dengan menggunakan rumus empiris percepatan tanah.
3. Menganalisis peta sebaran *b-value* dan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di provinsi Sumatera Barat.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitiannya dapat dijadikan sebagai bahan informasi mitigasi bencana gempabumi bagi pemerintah provinsi Sumatera Barat dalam rangka mengurangi kerugian akibat kemungkinan terjadinya bencana

gempabumi dan sebagai salah satu titik ukur dalam perencanaan bangunan tahan gempa.

2. Sebagai syarat dalam menyelesaikan tugas akhir mata kuliah skripsi.

## **BAB II**

### **KERANGKA TEORITIS**

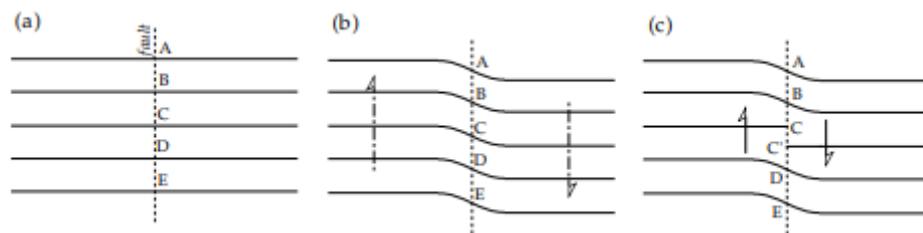
#### **A. Gempabumi**

Gempabumi (*earthquake*) adalah suatu peristiwa bergetar atau berguncangnya bumi secara tiba-tiba karena terjadinya pelepasan energi yang tersimpan dalam bumi akibat pergerakan dari lempeng-lempeng tektonik. Pelepasan energi inilah yang mengakibatkan terjadinya deformasi pada lempeng tektonik yang terdapat pada kerak bumi karena mengalami patahan akibat tidak mampunya batuan tersebut untuk menahan (Netrisa, 2018).

Pergerakan secara tiba-tiba dari lapisan batuan yang ada di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi atau gelombang seismik yang merambat melalui bumi dan sampai ke permukaan bumi. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan kerusakan dan korban jiwa (Sunarjo, dkk, 2012). Besarnya kerusakan yang terjadi sangat bergantung dengan besar dan lamanya getaran tersebut sampai ke permukaan bumi (Hartuti, 2009).

Berdasarkan teori bingkis elastis atau *elastic rebound theory* yang diperkenalkan oleh H.F. Reid (1906) seorang seismologi dari Amerika, menjelaskan tentang mekanisme atau proses terjadinya gempa. Teori ini menjelaskan bahwa gempa terjadi karena adanya pelepasan *elastic strain*

*energy* atau energi regangan elastis yang terjadi secara tiba-tiba. *Elastic strain energy* terus bertambah atau terakumulasi sesuai dengan berjalannya waktu karena adanya gerakan dari lempeng-lempeng yang ada di kerak bumi. Apabila pada suatu tempat tertentu *fracture strength* dari kerak bumi telah dilampaui, maka titik ini akan melepaskan *elastic strain energy* yang terakumulasi. Kemudian akan terjadi pelepasan energi yang besar sekali dan merambat ke segala arah yang mengakibatkan bergetarnya permukaan tanah atau terjadinya gempa bumi (Lumantarna, 2000). Ilustrasi tentang teori ini dapat dijelaskan pada Gambar 1 dibawah ini:

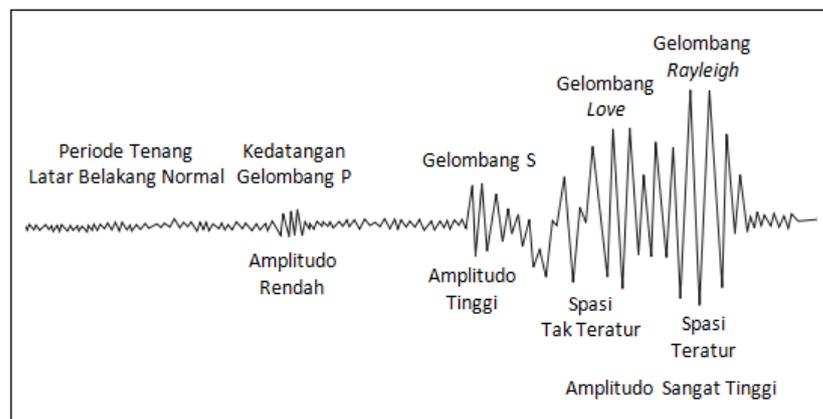


Gambar 1. Ilustrasi *Elastic Rebound Theory* (Lowrie, 2007).

Berdasarkan gambar 1 dapat dilihat bahwa garis putus-putus vertikal menunjukkan patahan atau sesar. Gambar 1.(a) adalah suatu lapisan yang belum timbulnya regangan. Akibat adanya pergerakan lempeng tektonik, maka mulai timbul regangan. Regangan batuan akan terus bertambah atau terakumulasi sesuai dengan berjalannya waktu sampai tegangan batuan maksimum terlampaui, seperti yang tampak pada gambar 1.(b). Apabila telah terlampaui maka terjadilah patahan dan energi yang terakumulasi dilepaskan sehingga menimbulkan pergerakan secara tiba-tiba. Setelah terjadi patahan, lapisan batuan tersebut akan berusaha kembali (*rebound*) dan bahkan melampaui bentuk semula, tetapi belum tentu dapat kembali

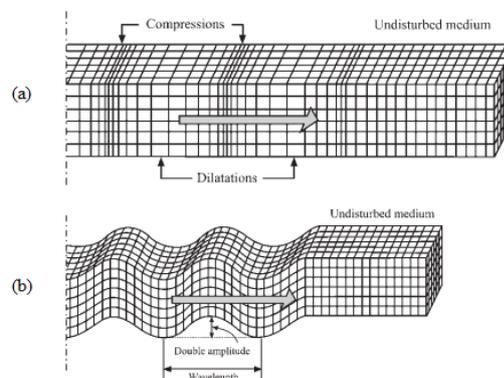
keposisi awal, seperti yang tampak pada gambar 1.(c) (Pawirodikromo, 2012).

Gempabumi menghasilkan energi berupa gelombang seismik yang merambat melalui bumi. Gelombang seismik merupakan gelombang elastik gempabumi yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi hingga ke permukaan bumi, akibat adanya lapisan batuan yang patah secara tiba-tiba (Gambar 2) (Sunarjo, dkk, 2012).

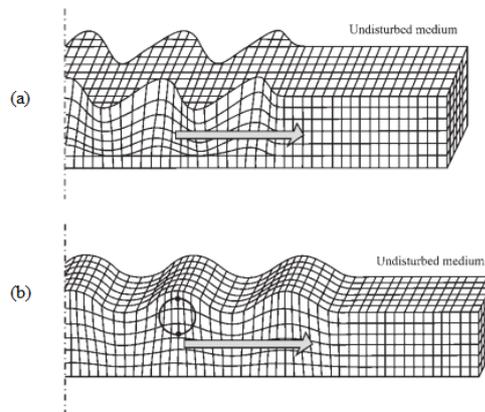


Gambar 2. Contoh Rekaman Gelombang Seismik (Kusky, 2008).

Gelombang seismik berdasarkan penjarannya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Gelombang Badan (*body wave*), (a) Gelombang Primer (*P-wave*) dan (b) Gelombang Sekunder (*S-wave*) (Elnashai dan Sarno, 2008).



Gambar 4. Gelombang Permukaan (*surface wave*), (a) Gelombang *Love* dan (b) Gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008).

Berdasarkan Gambar 3.(a) terlihat bahwa gelombang primer (P-wave) merupakan gelombang badan yang arah gerak partikelnya searah dengan arah rambatnya. Gelombang primer mempunyai kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan gelombang yang lain. Hal inilah yang menyebabkan gelombang primer tiba lebih dahulu ke permukaan bumi. Gambar 3.(b) merupakan gelombang sekunder (S-wave). Gelombang sekunder merupakan gelombang badan yang arah rambatnya tegak lurus terhadap arah gerak partikelnya. Gelombang ini tiba ke permukaan bumi setelah gelombang primer.

Gelombang permukaan adalah gelombang yang menjalar dipermukaan bumi dan terdiri atas gelombang *rayleigh* dan gelombang *love* (Santoso, 2002). Gambar 4.(a) menunjukkan bahwa gelombang *love* adalah gelombang permukaan yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjarannya. Gambar 4.(b) menunjukkan gelombang *rayleigh* yang arah rambatnya berlawanan arah dengan gerak partikelnya

yang menyerupai *ellipse*. Gelombang *rayleigh* mirip dengan gelombang air laut karena hanya merambat di batas permukaan saja.

Gempabumi dapat dibedakan menjadi berbagai macam jenis berdasarkan atas penyebab terjadinya, yaitu:

#### 1. Gempabumi Tektonik

Gempabumi tektonik merupakan gempabumi yang terjadi karena energi elastis yang tersimpan di dalam lempeng tektonik terlepas secara tiba-tiba. Lempeng tektonik adalah batuan yang bersifat elastis sehingga apabila energi yang diterima melampaui batas elastisitas lempeng tektonik, maka energi akan terlepas secara tiba-tiba dalam bentuk deformasi plastis dan gelombang elastis. Umumnya, daerah yang melepaskan energi elastis adalah daerah yang lemah sehingga daerah tersebut akan mengalami deformasi plastis. Kemudian daerah yang mengalami deformasi elastis dalam bentuk gelombang seismik adalah daerah yang jauh dari sumber (Sunarjo, dkk, 2010).

#### 2. Gempabumi Vulkanik

Gempabumi vulkanik merupakan gempabumi yang terjadi karena aktivitas vulkanik, yaitu keluarnya magma ke atas permukaan tanah akibat adanya tekanan yang berada pada kantong di bawah gunung tersebut sehingga menimbulkan ledakan kecil maupun besar. Keluarnya magma panas sejalan dengan terjadinya *driving force* akibat panas yang ada di dalam bumi. Intensitas getaran gempabumi

vulkanik lebih kecil daripada gempabumi tektonik (Pawirodikromo, 2012).

### 3. Gempabumi Runtuhan

Gempabumi runtuhan merupakan gempabumi lokal yang terjadi karena runtuhnya lubang-lubang interior bumi, seperti runtuhnya lubang gua di daerah batuan karst dan runtuhnya area lokasi pertambangan.

### 4. Gempabumi Buatan

Gempabumi buatan merupakan gempabumi yang terjadi karena aktivitas manusia, seperti peledakan nuklir, dinamit, ledakan bom, dll.

Berdasarkan kedalaman hiposentrumnya, gempabumi dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (Hartuti, 2009)

1. Gempabumi dangkal (*shallow*) merupakan gempabumi yang terjadi dengan kedalaman hiposentrum kurang dari 60 km di bawah permukaan bumi.
2. Gempabumi menengah (*intermediate*) merupakan gempabumi yang terjadi dengan kedalaman hiposentrum berada antara 60-300 km di bawah permukaan bumi.
3. Gempabumi dalam (*deep*) merupakan gempabumi yang terjadi dengan kedalaman hiposentrum lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi.

Menurut Hagiwara (1964), gempabumi dapat dikelompokkan menjadi enam kelompok berdasarkan magnitudo (M) atau kekuatannya yaitu:

1. Gempabumi sangat besar (*great earthquake*) yaitu gempabumi yang memiliki magnitudo besar dari 8 SR (*Richter*).
2. Gempabumi besar (*major earthquake*) yaitu gempabumi yang memiliki magnitudo antara 7-8 SR (*Richter*).
3. Gempabumi sedang (*moderate earthquake*) yaitu gempabumi yang memiliki magnitudo antara 5-7 SR (*Richter*).
4. Gempabumi kecil (*small earthquake*) yaitu gempabumi yang memiliki magnitudo antara 3-5 SR (*Richter*).
5. Gempabumi mikro (*micro earthquake*) yaitu gempabumi yang memiliki magnitudo antara 1-3 SR (*Richter*).
6. Gempabumi ultra mikro (*ultramicro earthquake*) yaitu gempabumi yang memiliki magnitudo kecil dari 1 SR (*Richter*).

Setiap terjadinya peristiwa bencana gempabumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang. Kemudian rekaman tersebut akan diproses baik secara manual maupun otomatis sampai menjadi data bacaan fase. Selanjutnya data tersebut akan mengalami proses pengumpulan, pengolahan, dan analisa sehingga menjadi parameter gempabumi (Linda, 2019). Parameter gempabumi yang sering dianalisis yaitu: (Sunarjo, dkk, 2012).

### 1. Waktu Terjadi (*Origin Time*)

Waktu terjadi gempa bumi atau *origin time* merupakan waktu suatu gempa bumi terjadi di sumbernya pada kedalaman tertentu di lapisan bumi. Pelepasan akumulasi tegangan (*stress*) dalam bentuk penjalaran gelombang gempa bumi terjadi pada waktu tersebut. Waktu terjadinya gempa bumi dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*).

### 2. Kedalaman Gempabumi

Kedalaman sumber gempa bumi merupakan ukuran kedalaman pusat terjadinya suatu gempa bumi (Linda, 2019). Kedalaman diukur berdasarkan jarak hiposenter yang tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalaman sumber gempa bumi dinyatakan oleh besaran jarak dalam satuan km.

### 3. Hiposenter

Hiposenter merupakan titik sumber gempa bumi atau pusat terjadinya gempa bumi yang berada di bawah permukaan bumi.

### 4. Episenter

Episenter gempa bumi adalah titik sumber gempa bumi yang berada di permukaan bumi dan merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempa bumi.

## 5. Magnitudo

Magnitudo atau kekuatan gempabumi merupakan suatu besaran yang menggambarkan besarnya energi regangan yang dilepaskan pada saat waktu terjadinya gempabumi (Hartuti, 2009). Menurut Santoso (2002), magnitudo adalah suatu besaran secara kuantitatif dari gempa yang berkaitan dengan pelepasan energi regangan jika sesar terjadi, sehingga dapat dihitung berdasarkan amplitudo gelombang gempa yang diterima di tempat lain. Secara umum magnitudo dapat didefinisikan sebagai:

$$M = \log \frac{A}{T_w} + f(d, h) + C_s + C_r \quad (1)$$

dimana:

$M$  = Magnitudo

$A$  = Amplitudo dalam Mikron

$T_w$  = Periode dalam detik

$d$  = Jarak Episentrum dalam Derajat

$h$  = Kedalaman dalam Kilometer

$C_s$  = Koreksi Stasiun

$C_r$  = Koreksi Regional

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

### a. Magnitudo Lokal ( $M_L$ )

Magnitudo lokal atau *local magnitude* merupakan magnitudo yang pertama kali diperkenalkan oleh Richter di

awal tahun 1930-an dengan menggunakan data kejadian gempabumi di daerah California (Lay and Wallace, 1995). Magnitudo ini bersifat lokal karena magnitudo diukur berdasarkan jarak dekat, yang umumnya  $< 1000$  km (Pawirodikromo, 2012). Magnitudo lokal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$M_L = \log A - 2.48 + 2.76 \log(\Delta) \quad (2)$$

dimana,  $A$  adalah amplitudo getaran (mikron  $10^{-4}$  cm) dan  $\Delta$  adalah jarak episenter ke stasiun pengamat (km).

b. Magnitudo Permukaan ( $M_S$ )

Magnitudo permukaan atau *surface magnitude* merupakan magnitudo gempa yang diukur berdasarkan gelombang permukaan, yaitu gelombang *Rayleigh*. Magnitudo permukaan diukur berdasarkan jarak  $> 1000$  km (Pawirodikromo, 2012). Magnitudo permukaan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$M_S = \log A + 1.656 \log(\Delta) + 1.818 \quad (3)$$

atau

$$M_S = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1.66 \log(D) + 3.33 \quad (4)$$

dimana,  $A$  adalah amplitudo getaran dalam mikron,  $\Delta$  adalah jarak episenter dalam km,  $T$  adalah periode dan  $D$  adalah *epicentral distance*.

Menurut Hu dkk (1976), hubungan antara magnitudo lokal dengan magnitudo permukaan adalah:

$$M_S = 1.13 M_L - 1.08 \quad (5)$$

c. Magnitudo Badan ( $M_B$ )

Magnitudo badan atau *body magnitude* merupakan magnitudo gempa yang diukur berdasarkan gelombang primer. Magnitudo ini digunakan untuk kejadian gempa yang relatif dalam. Magnitudo badan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$M_B = \log A - \log T + 0.01\Delta + 2 \quad (6)$$

dimana,  $A$  adalah amplitudo getaran dalam micron,  $T$  adalah periode gelombang primer (berkisar 1 detik), dan  $\Delta$  adalah jarak episenter diukur dalam derajat.

Menurut Hu dkk (1996), hubungan magnitudo badan dengan magnitudo permukaan adalah:

$$M_S = 1.58 M_B - 4 \quad (7)$$

d. Magnitudo Momen ( $M_w$ )

Magnitudo momen atau moment magnitudo merupakan magnitudo gempa yang diukur berdasarkan *elastic strain energy released*. Magnitudo ini yang harus dihitung terlebih dahulu adalah *Seismic Moment* ( $M_0$ ) yang bermakna sebagai *energy release by earthquake*. Selanjutnya

*energy released* dapat ditransfer menjadi *Moment Magnitude* ( $M_w$ ) melalui suatu hubungan: (Pawirodikromo, 2012).

$$M_w = \frac{\log M_o}{1.5} - 10.7 \quad (8)$$

dimana:

$$M_o = \mu \cdot A \cdot d$$

$\mu$  adalah *rupture strength* atau *modulus rigidity* (dyne/cm<sup>2</sup>) (1 dyne = 10<sup>-5</sup> kg),  $A$  adalah *rupture area*, dan  $d$  adalah rata-rata *displacement*.

## 6. Intensitas

Intensitas merupakan besaran yang menunjukkan kekuatan gempa bumi berdasarkan kerusakan yang diakibatkannya. Intensitas dihitung berdasarkan pengamatan visual langsung dan dapat memberikan gambaran nilai kekuatan gempa bumi pada pusat gempunya. Intensitas terbesar pada umumnya terdapat pada daerah episenter dan menurun terhadap jarak ke semua arah (Sunarjo, 2012). Di Indonesia skala intensitas yang digunakan adalah skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI).

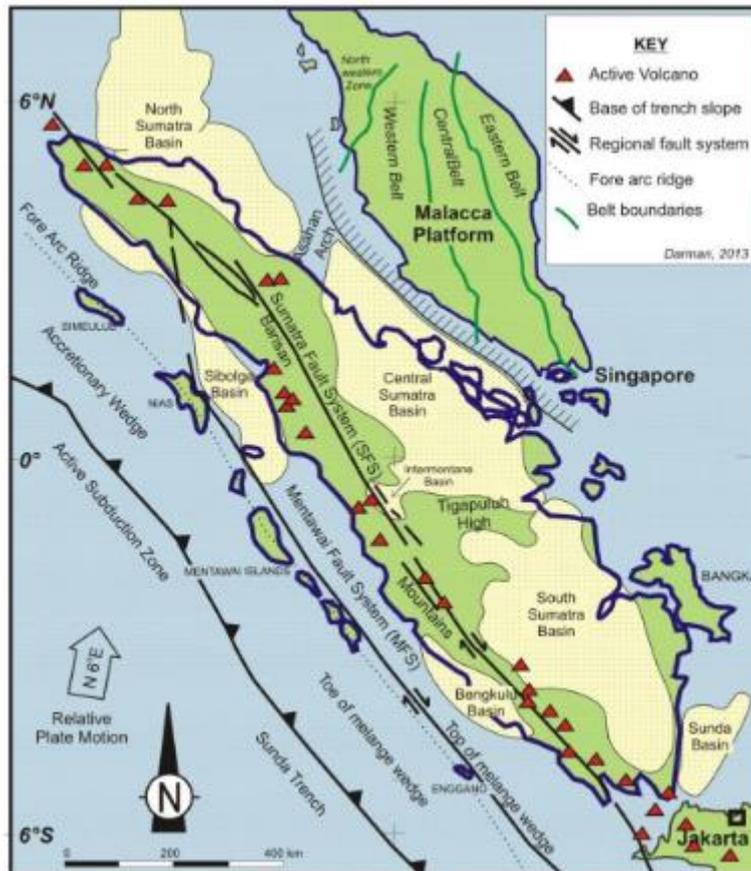
**Tabel 1.** Skala Intensitas Gempabumi BMKG (Sumber: BMKG).

Skala SIG BMKG	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I-II	<2.9
II	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan	III-V	2.9-88

Skala SIG BMKG	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
	jendela kaca bergetar		
III	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan	VI	89-167
IV	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar genteng bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII-VIII	168-564
V	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX-XII	>564

## B. Kondisi Tektonik Sumatera Barat

Pulau Sumatera merupakan salah satu pulau yang ada di Indonesia yang memiliki tatanan tektonik yang cukup unik, sehingga banyak ahli geologi dan kebumihantoran menjadikan pulau Sumatera ini sebagai objek penelitian kegempaan (Akmam, dkk, 2006). Hal ini dikarenakan pulau Sumatera memiliki tiga kondisi geologi yang dapat mempengaruhi aktivitas seismik dan kondisi tektonik pulau Sumatera seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dibawah ini (Asnita, 2016). Sumber gempabumi di pulau Sumatera memanjang dari provinsi Lampung sampai ke Banda Aceh sepanjang  $\pm$  1900 km. Jalur gempabumi yang melewati pulau Sumatera disebut jalur gempa Trans-Mediterranean.



Gambar 5. Tatanan Tektonik Pulau Sumatera (Darman dan Sidi, 2000).

Berdasarkan Gambar 5, bahwa secara umum pulau Sumatera memiliki tiga sistem tatanan tektonik diantaranya, Zona Subduksi, Sesar Sumatera atau *Sumatra Fault Zone*, dan Sesar Mentawai atau *Mentawai Fault Zone*.

#### 1. Zona Subduksi (*Subduction Zone*)

Zona subduksi merupakan daerah zona seismik aktif, dimana gempa tektonik baik dangkal, menengah maupun dalam biasanya terjadi di sepanjang zona ini. Zona ini terbentuk karena lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah lempeng Eurasia dan bergerak saling menekan dengan kecepatan yang sangat lambat dan

lempeng mengalami pembengkokan membentuk sudut subduksi (Akman, dkk, 2006). Batas antara dua lempeng ini terdapat zona subduksi dangkal atau disebut sebagai “*Megathrust Subduction Sumatra*” yang saat ini menjadi perhatian masyarakat karena diprediksi masih menyimpan potensi gempa bumi dengan magnitudo 8.9 SR (Triyono, 2015).

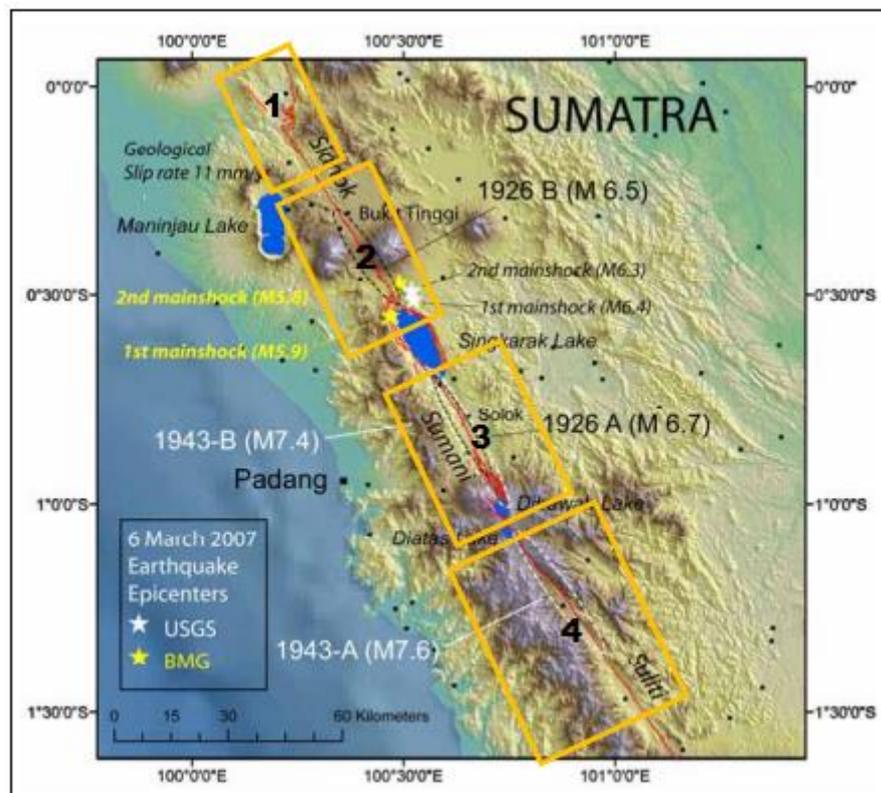
## 2. Sesar Sumatera (*Sumatra Fault Zone*)

Sesar Sumatera terjadi karena lempeng Indo-Australia yang menabrak bagian barat pulau Sumatera secara miring, sehingga menghasilkan tekanan dari pergerakan ini. Akibat adanya tekanan ini, maka terbentuklah sesar Sumatera atau *Sumatran Fault Zone* (Triyono, 2015). Sesar Sumatera merupakan sesar *strike slip* berarah dekstral yang terdiri dari 20 segmen utama sepanjang tulang punggung Sumatera (Sieh and Natawidjaja, 2000). Kemudian Posavec et. al. (1973) mengungkapkan bahwa zona sesar Sumatera didominasi oleh pergerakan lateral secara terus menerus lempeng Indo-Australia dan lempeng Sumatera (Akman, dkk, 2006).

## 3. Sesar Mentawai (*Mentawai Fault Zone*)

Sesar Mentawai merupakan sesar yang terletak di sebelah barat pantai Sumatera Barat. Sesar Mentawai berada di laut memanjang di sekitar pulau-pulau Mentawai dari selatan sampai ke utara menerus hingga ke sekitar utara Nias (Triyono, 2015).

Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang terdapat pada bagian pesisir barat pulau Sumatera bagian tengah. Secara tektonik provinsi Sumatera Barat merupakan daerah yang rawan bencana gempa bumi. Sesar Sumatera yang terdapat pada provinsi Sumatera Barat terbagi menjadi empat segmen sesar aktif (Gambar 6), yaitu: (Triyono, 2015)



Gambar 6. Segmen Aktif di Provinsi Sumatera Barat (Natawidjaja and Triyoso, 2007).

Gambar 6 menunjukkan bahwa provinsi Sumatera Barat memiliki empat segmen aktif yaitu Segmen Sumpur, Segmen Sianok, Segmen Sumani, dan Segmen Suliti.

1. Segmen Sumpur (0.1°N ~ 0.3°N)

Segmen Sumpur merupakan segmen yang memiliki panjang sesar sekitar  $\pm 35$  km, membentang di daerah Rao, Lubuk Sikaping,

Kabupaten Pasaman. Pergeseran segmen ini berkisar 23-24 mm/tahun.

2. Segmen Sianok ( $0.7^{\circ}\text{S} \sim 0.1^{\circ}\text{N}$ )

Segmen Sianok merupakan segmen yang memiliki panjang sesar sekitar  $\pm 90$  km, membentang dari daerah Ngarai Sianok, Kota Bukittinggi sampai Tenggara Danau Singkarak. Pergeseran segmen Sianok berkisar 23 mm/tahun.

3. Segmen Sumani ( $1.0^{\circ}\text{S} \sim 0.5^{\circ}\text{S}$ )

Segmen Sumani merupakan segmen yang memiliki panjang sesar sekitar  $\pm 60$  km, segmen ini membentang dari utara Danau Singkarak, menyisir sisi barat daya danau tersebut melewati Kota Solok, Sumani, Selayo dan berakhir di utara Danau Diatas, sebelah tenggara Gunung Talang.

4. Semen Suliti ( $1.75^{\circ}\text{S} \sim 1.0^{\circ}\text{S}$ )

Segmen Suliti merupakan segmen yang memiliki panjang sesar sekitar  $\pm 90$  km, membentang dari Danau Diatas dan Danau Dibawah hingga menelusuri lembah segmen Suliti ke tenggara sampai anak-anak Sungai Liki di barat laut Gunung Kerinci. Pergeseran segmen ini berkisar  $\pm 23$  mm/tahun.

Kondisi geologi inilah yang menyebabkan sering terjadinya gempabumi di provinsi Sumatera Barat.

### C. Mitigasi Bencana Gempabumi

Mitigasi bencana merupakan istilah yang digunakan untuk menunjuk pada tindakan untuk mengurangi dampak dari suatu bencana yang dapat dilakukan sebelum bencana itu terjadi, termasuk kesiapan dan tindakan-tindakan pengurangan resiko jangka panjang. Mitigasi bencana merupakan kegiatan yang sangat amat penting dalam penanggulangan bencana karena kegiatan ini merupakan kegiatan sebelum terjadinya bencana yang dimaksudkan untuk mengantisipasi agar korban jiwa dan kerugian materi yang ditimbulkan dapat dikurangi (Noor, 2014).

Mitigasi bencana khususnya bencana gempabumi sangat diperlukan karena dengan terjadinya gempabumi dapat menimbulkan kerusakan dan korban jiwa. Upaya untuk mendukung mitigasi bencana gempabumi maka kita harus mengenali karakteristik dari gempa itu sendiri, yaitu

1. Gempabumi terjadi dalam waktu yang singkat
2. Lokasi terjadinya gempabumi hanya tertentu saja
3. Gempabumi dapat berpotensi terulang kembali
4. Gempabumi tidak dapat dicegah, tetapi akibat yang ditimbulkan dapat dikurangi.

Salah satu upaya mitigasi bencana gempabumi yaitu melakukan pemetaan dan analisis kondisi *stress* lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan berdasarkan parameter fisis batuan. Kondisi *stress* lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan tersebut dapat diketahui dengan

melakukan analisis *b-value* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau percepatan tanah maksimum.

Besar kecilnya nilai percepatan tanah menunjukkan resiko gempabumi yang perlu diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Akibat dari percepatan tanah ini menimbulkan momen gaya yang didistribusikan merata di titik-titik bangunan. Percepatan tanah merupakan titik tolak perhitungan bangunan tahan gempa. Semakin besar nilai percepatan tanah yang terjadi di suatu lokasi tersebut, semakin besar resiko gempabumi yang mungkin terjadi (Leviana, 2017).

Oleh karena itu, kedua nilai tersebut dapat dijadikan sebagai informasi mitigasi bencana gempabumi khususnya bagi provinsi Sumatera Barat dalam proses pembangunan fasilitas struktur dan infrastruktur tahan gempa.

#### **D. Metode *Likelihood* Maksimum**

Metode *likelihood* adalah suatu metode statistik yang dikemukakan oleh Utsu (1965) yang sangat sesuai untuk memecahkan beberapa masalah tentang seismologi. Apabila suatu fungsi distribusi probabilitas  $f(x, \theta)$  bergantung pada parameter  $\theta$ , maka bersesuaian dengan metode *likelihood*. Sehingga dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$P(x, \theta) = f(x_1, \theta) \cdot f(x_2, \theta) \dots \dots f(x_n, \theta) \quad (9)$$

Estimasi maksimum *likelihood* dari  $\theta$  adalah nilai fungsi maksimum  $P(x_1, \theta)$  untuk perhitungan yang bersesuaian. Penurunan dari  $\log P(x_1, \theta)$  yang umumnya untuk mendapatkan nilai maksimum dari  $\theta$ , yaitu:

$$\frac{\partial P}{\partial \theta} = 0$$

Menurut Aki (1965) metode *likelihood* digunakan untuk masalah hubungan antara frekuensi gempa bumi dan magnitudo. Suatu fungsi distribusi probabilitas  $M$  dapat didefinisikan kedalam bentuk:

$$f(M, b') = b' \cdot e^{-b'(M-M_0)} \quad M \geq M_0 \quad (10)$$

dimana:

$$b' = b \times \ln 10$$

Hal ini bersesuaian dengan fungsi *likelihood* yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$P = (b')^N \cdot e^{-b'(\sum M_1 - NM_0)}$$

Berdasarkan hubungan diatas maka didapatkan persamaan metode *likelihood* yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\hat{b} = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} \quad (11)$$

atau

$$\hat{b} = \frac{0.4343}{\bar{M} - M_0} \quad (12)$$

dimana:

$\bar{M}$  = Magnitudo Rata-Rata

$M_0$  = Magnitudo Minimum

Menurut Utsu (1965), apabila diberikan probabilitas untuk 95% maka dengan menggunakan metode *likelihood* didapatkan batas atas dan batas bawah dari *b-value*, sebagaimana persamaan berikut:

$$\bar{b} = \hat{b} \left(1 + \frac{1960}{\sqrt{N}}\right) \quad \text{dan} \quad \underline{b} = \hat{b} \left(1 - \frac{1960}{\sqrt{N}}\right) \quad (13)$$

### E. Aplikasi Eliminasi Gauss pada Masalah Inversi

Dalam masalah inversi, kita selalu berhubungan dengan parameter model ( $a$ ,  $b$ , dan  $c$ ) dan jumlah data ( $N$ ) yang mana jumlah dari masing-masing akan menentukan klasifikasi permasalahan inversi dan cara penyelesaiannya (Akmam, 2020). Persamaan inversi model bidang dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$c + bM_i + a \log R_i = \log \alpha_i \quad (14)$$

Berdasarkan asumsi diatas, kita bisa menyatakannya sebagai berikut:

$$c + bM_1 + a \log R_1 = \log \alpha_1$$

$$c + bM_2 + a \log R_2 = \log \alpha_2$$

$$c + bM_3 + a \log R_3 = \log \alpha_3$$

$$| \quad | \quad | \quad |$$

$$c + bM_N + a \log R_N = \log \alpha_N$$

Kemudian dapat dinyatakan dalam bentuk operasi matrik, yaitu:

$$\begin{bmatrix} 1 & M_1 & \log R_1 \\ 1 & M_2 & \log R_2 \\ 1 & M_3 & \log R_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & M_N & \log R_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \log \alpha_1 \\ \log \alpha_2 \\ \log \alpha_3 \\ \vdots \\ \log \alpha_N \end{bmatrix} \quad (15)$$

Lalu ditulis secara singkat

$$Gm = d \quad (16)$$

dimana  $d$  adalah data yang dinyatakan dalam vektor kolom,  $m$  adalah model parameter dan  $G$  adalah matrik kernel. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai  $m$  maka akan dilakukan manipulasi, yaitu:

$$G^T G m = G^T d \quad (17)$$

dimana maksud dari tanda  $t$  adalah tanda *transpose* matrik. Kemudian untuk mendapatkan elemen-elemen  $m$ , diperlukan langkah-langkah perhitungan berikut ini: (Suparno, 2010)

1. Tentukan transpose dari matrik kernel, yaitu  $G^T$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & M_1 & \log R_1 \\ 1 & M_2 & \log R_2 \\ 1 & M_3 & \log R_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & M_N & \log R_N \end{bmatrix}$$

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ M_1 & M_2 & M_3 & \dots & M_N \\ \log R_1 & \log R_2 & \log R_3 & \dots & \log R_N \end{bmatrix}$$

2. Tentukan  $G^T G$

$$G^T G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ M_1 & M_2 & M_3 & \dots & M_N \\ \log R_1 & \log R_2 & \log R_3 & \dots & \log R_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & M_1 & \log R_1 \\ 1 & M_2 & \log R_2 \\ 1 & M_3 & \log R_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & M_N & \log R_N \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} N & \Sigma M_i & \Sigma \log R_i \\ \Sigma M_i & \Sigma M_i^2 & \Sigma M_i \log R_i \\ \Sigma \log R_i & \Sigma M_i \log R_i & \Sigma \log R_i^2 \end{bmatrix}$$

dimana  $N$  = Jumlah data dan  $i= 1, 2, 3, \dots, N$

3. Kemudian tentukan pula  $G^T d$

$$G^T d = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ M_1 & M_2 & M_3 & \dots & M_N \\ \log R_1 & \log R_2 & \log R_3 & \dots & \log R_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \log \alpha_1 \\ \log \alpha_2 \\ \log \alpha_3 \\ \vdots \\ \log \alpha_N \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \Sigma \log \alpha_i \\ \Sigma M_i \log \alpha_i \\ \Sigma \log R_i \log \alpha_i \end{bmatrix}$$

4. Sekarang persamaan (17) dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} N & \Sigma M_i & \Sigma \log R_i \\ \Sigma M_i & \Sigma M_i^2 & \Sigma M_i \log R_i \\ \Sigma \log R_i & \Sigma M_i \log R_i & \Sigma \log R_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma \log \alpha_i \\ \Sigma M_i \log \alpha_i \\ \Sigma \log R_i \log \alpha_i \end{bmatrix} \quad (18)$$

5. Aplikasikan metode eliminasi Gauss dengan Substitusi mundur.

Untuk itu, tentukan matrik augment-nya

$$\left[ \begin{array}{ccc|c} N & \Sigma M_i & \Sigma \log R_i & \Sigma \log \alpha_i \\ \Sigma M_i & \Sigma M_i^2 & \Sigma M_i \log R_i & \Sigma M_i \log \alpha_i \\ \Sigma \log R_i & \Sigma M_i \log R_i & \Sigma \log R_i^2 & \Sigma \log R_i \log \alpha_i \end{array} \right]$$

Langkah selanjutnya kita dapat menggunakan *software* MATLAB 7.0.1 dengan metode “Eliminasi Gauss” untuk mendapatkan nilai elemen-elemen  $m$ .

## F. Percepatan Tanah Maksimum

Percepatan tanah maksimum merupakan nilai terbesar percepatan tanah pada suatu wilayah akibat getaran gempabumi dalam periode tertentu (Akman, 2006). Penentuan nilai percepatan tanah maksimum terdapat dua cara, yaitu dengan sensor *accelerometer* dan perhitungan dengan menggunakan rumusan empiris berdasarkan pendekatan magnitudo dan jarak sumber gempabumi yang pernah terjadi terhadap titik perhitungan

serta nilai periode dominan tanah daerah tersebut (Widiyantoro & Fauzi, 2005).

Beberapa rumusan empiris yang bisa digunakan dalam perhitungan nilai percepatan tanah maksimum di suatu wilayah antara lain sebagai berikut:

1. Rumus Empiris Donovan (1973)

$$\alpha = \frac{1080 \times \exp(0.5Ms)}{(R+25)^{1.32}} \quad (19)$$

dimana :

$\alpha$  = Nilai Percepatan Tanah Maksimum (gal)

$Ms$  = Magnitudo Permukaan

$R$  = Jarak Hiposenter (km)

Rumus empiris Donovan (1973) pernah dilakukan untuk menentukan nilai kecepatan tanah maksimum (PGA) berdasarkan 214 (32%) data rekaman gempabumi yang terjadi di San Fernando pada tanggal 09 Februari 1971. Nilai kecepatan tanah maksimum yang diperoleh kurang dari  $0.5 \text{ m/s}^2$  (53%) (Douglas, 2018).

2. Rumus Empiris Esteva (1970)

$$\alpha = \frac{1230 \times \exp(0.8Ms)}{(R+25)^2} \quad (20)$$

dimana :

$\alpha$  = Nilai Percepatan Tanah Maksimum (gal)

$Ms$  = Magnitudo Permukaan

$R$  = Jarak Hiposenter (km)

Rumus empiris Esteva (1970) dihitung berdasarkan data rekaman gempabumi yang terjadi di Meksiko. Negara Meksiko terletak di atas tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Pasifik, lempeng Amerika Utara dan lempeng Cocos (Esteva and Villaverde, 1973).

### 3. Rumus Empiris Lin and Wu

$$\log \alpha = -0.395 \times \log R + 0.125 \times M + 1.979 \quad (21)$$

dimana:

$\alpha$  = Nilai Percepatan Tanah Maksimum (gal)

$M$  = Magnitudo

$R$  = Jarak Hiposenter (km)

Rumus empiris Lin and Wu dihitung berdasarkan data rekaman gempabumi yang terjadi di Taiwan. Data gempabumi tersebut direkam oleh stasiun *Taiwan Strong Motion Instrumentation Program* (TSMIP). Negara Taiwan terletak di batas tumbukan antara lempeng laut Filipina dan lempeng Eurasia (Lin and Wu, 2010).

Berdasarkan rumus-rumus diatas, maka pada penelitian ini dalam menentukan model formula rumus empiris PGA akan merujuk pada persamaan empiris Lin and Wu. Bentuk umum rumusan empiris Lin and Wu yaitu:

$$\log \alpha = a \log R + bM + c \quad (22)$$

dimana:

$\alpha$  = Nilai Percepatan Tanah Maksimum (gal)

- $M$  = Magnitudo  
 $R$  = Jarak Hiposenter (km)  
 $a$  = Koefisien *Geometrical Spreading*  
 $b$  = Koefisien Empiris Magnitudo  
 $c$  = Konstanta

Nilai  $a$  (Koefisien *Geometrical Spreading*),  $b$  (Koefisien Empiris Magnitudo), dan  $c$  (Konstanta) pada bentuk umum rumusan empiris Lin and Wu atau Persamaan (22) dapat dicari dengan menggunakan aplikasi eliminasi Gauss pada masalah inversi dalam bentuk operasi matriks.

#### **G. Penelitian Relevan**

Penelitian mengenai analisis nilai- $b$  dan nilai percepatan tanah maksimum dengan menggunakan metode *likelihood* maksimum dan rumus empiris telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya di berbagai daerah. Penelitian juga dilakukan dengan kurun waktu dan metode yang digunakan berbeda-beda. Adapun penelitian-penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Priyanto (2018) melakukan penelitian mengenai penentuan model formula empiris percepatan getaran tanah daerah Denpasar berdasarkan rumus umum Lin and Wu. Hasil penelitiannya diperoleh koefisien *geometrical spreading* yaitu  $a = -2.019$ , koefisien magnitudo  $b = 0.894$ , dan konstanta model rumus empiris  $c = 0.551$ . Model rumus empiris PGA untuk daerah Denpasar adalah  $\log_{10} \text{PGA} = (-2.019) \log_{10} (R) + (0.894) M + 0.551$ .

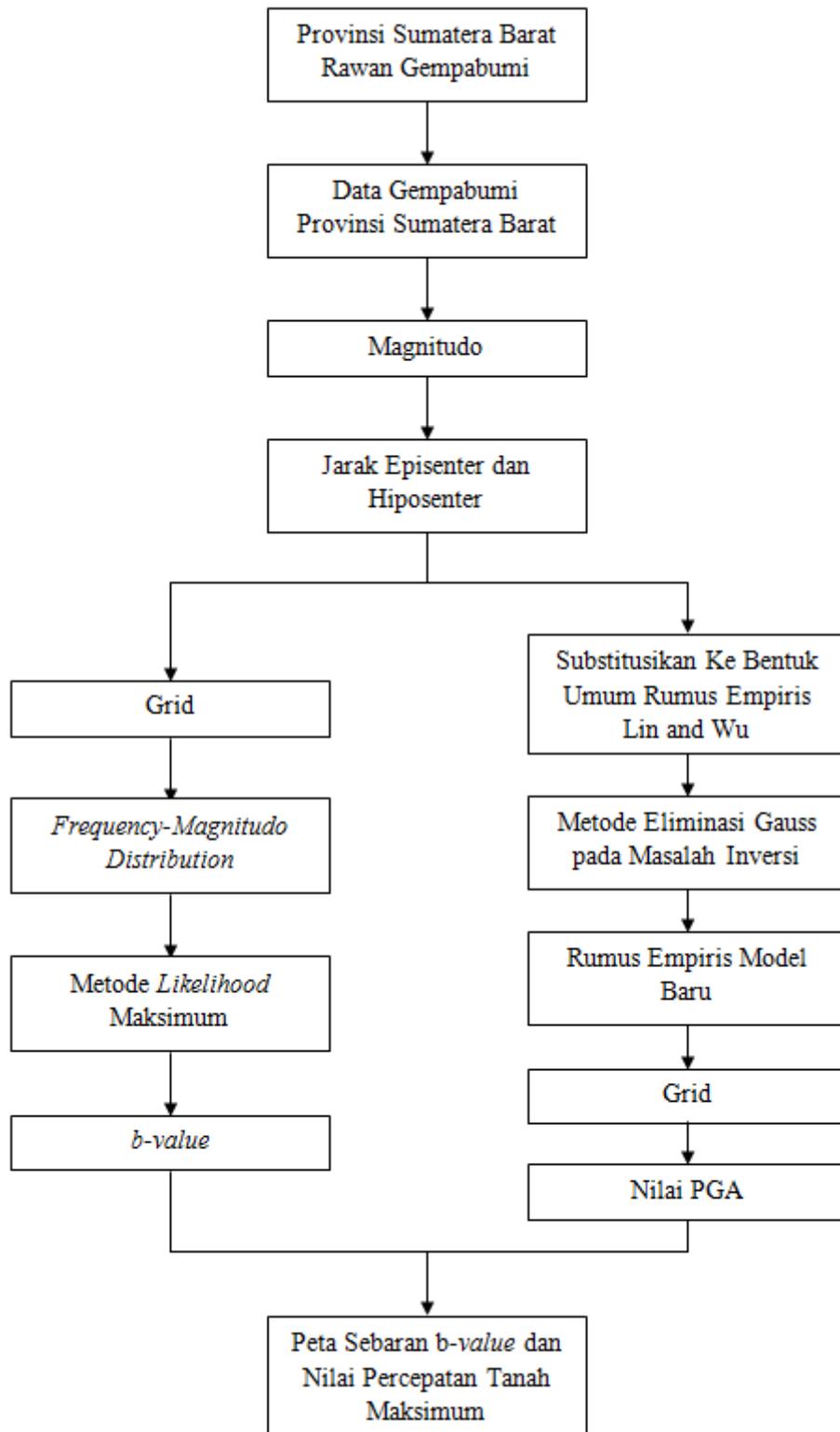
Hasil verifikasi statistik diperoleh korelasi linier positif kuat 0.853 dengan tingkat *residual error* 0.035.

Kapojos (2015) melakukan penelitian mengenai analisis percepatan tanah maksimum dengan menggunakan rumusan Esteva dan Donovan pada semenanjung utara pulau Sulawesi. Hasil penelitiannya melihat bahwa perubahan nilai percepatan tanah maksimum dari rumus Esteva dan Donovan memiliki pola perubahan yang sama terhadap jarak. Nilai percepatan tanah menurut rumusan Esteva lebih cocok digunakan dalam menentukan nilai percepatan tanah maksimum di semenanjung utara pulau Sulawesi. Berdasarkan pemetaan sebaran percepatan tanah menunjukkan wilayah Kabupaten Minahasa Utara memiliki tingkat seismisitas yang tinggi dibandingkan dengan wilayah lainnya.

Madlazim (2013) melakukan penelitian mengenai kajian awal tentang *b value* gempabumi di Sumatera tahun 1964-2013. Data gempabumi yang digunakan adalah data gempabumi dengan magnitudo mulai dari 4 sampai 8,5 dan dengan kedalaman 0 sampai 70 km. Hasil Penelitiannya menunjukkan bahwa *b-value* gempabumi Sumatera tergolong rendah, yaitu 0.865. Nilai ini menggambarkan tingkat *stress* yang tinggi, sehingga peluang besar terjadinya gempabumi besar akan terjadi lagi di Sumatera.

#### **H. Kerangka Berpikir**

Berdasarkan penjelasan sebelumnya dibentuklah kerangka berpikir pada penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Kerangka Berpikir Penelitian.

Berdasarkan Gambar 7, bahwa kerangka berfikir pada penelitian ini menunjukkan provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang rawan bencana gempa bumi. Data gempa bumi yang terjadi di provinsi Sumatera Barat diperoleh dari katalog gempa bumi. Salah satu variabel yang didapatkan adalah magnitudo. Kemudian variabel tersebut diolah guna untuk menghitung jarak episenter dan hiposenter gempa bumi sehingga didapatkan parameter-parameter gempa bumi. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, maka dapat ditentukan nilai- $b$  dan nilai percepatan tanah maksimum (PGA).

Setelah didapatkan nilai- $b$  dan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) untuk provinsi Sumatera Barat, selanjutnya dilakukan pembuatan peta sebaran nilai- $b$  dan nilai percepatan tanah maksimum (PGA). Kemudian kedua nilai tersebut dianalisis sehingga memberikan informasi yang dapat dijadikan sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi di provinsi Sumatera Barat untuk meminimalisir kerugian dan kerusakan akibat kemungkinan terjadinya bencana gempa bumi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

1. Hasil perhitungan *b-value* akibat gempa yang terjadi di provinsi Sumatera Barat tahun 2007-2020 dengan magnitudo  $\geq 5$  SR dan kedalaman  $\leq 100$  km menggunakan metode *likelihood* maksimum nilainya pada tiap-tiap wilayah berkisar antara 0.8421-1.4477.
2. Nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa yang terjadi di provinsi Sumatera Barat tahun 2007-2020 dengan magnitudo  $\geq 5$  SR dan kedalaman  $\leq 100$  km menggunakan persamaan rumus empiris baru nilainya berkisar antara 10.87 - 376.98 gal.
3. Peta sebaran *b-value* dan nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa yang terjadi di provinsi Sumatera Barat tahun 2007-2020 yaitu untuk *b-value*, wilayah yang memiliki nilai terkecil berada pada wilayah 6, sedangkan nilai terbesar berada pada wilayah 2. Kemudian untuk nilai percepatan tanah maksimum berdasarkan peta, kota/kabupaten dengan nilai percepatan tanah maksimum terbesar berada di Kepulauan Mentawai yaitu berkisar antara 84.11 - 328.17 gal, sedangkan nilai terendah berada di Kabupaten Dharmasraya yaitu berkisar antara 10.87 - 35.28 gal.

#### **B. Saran**

1. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai studi awal untuk bahan pertimbangan dalam upaya mitigasi bencana gempabumi bagi

pemerintah provinsi Sumatera Barat dalam rangka mengurangi kerugian dan sebagai salah satu titik ukur dalam perencanaan bangunan tahan gempa.

2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan menggunakan data gempabumi dengan periode lebih lama agar dalam menentukan *b-value* nya dapat di grid lebih kecil lagi, sehingga dapat memberikan informasi yang lebih akurat.
3. Perlu dilakukan dalam perhitungan nilai percepatan tanah maksimum menggunakan data gempabumi dengan jarak episenter yang dekat dengan wilayah penelitian agar dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai daerah yang mempunyai tingkat seismisitas yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akmam. (2020). *Praktikum Fisika Komputasi: Aplikasi Menggunakan M-File Matlab*. Padang: UNP.
- Akmam, Dwiridal, L., & Kemal, B. M. (2006). Studi Karakteristik Fisis Sumber Gempabumi di Wilayah Sumatera Barat. *Laporan Hasil Penelitian*. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
- Asnita, W., Sugiyanto, D., & Rusydy, I. (2016). Kajian Statistik Seismisitas Kawasan Sumatera. *Jurnal Natural*, 16(2), 5–9. <https://doi.org/10.24815/jn.v16i2.4917>
- Darman, H., & Sidi, F. H. (2000). *An Outline of the Geology of Indonesia*. Jakarta: IAGI.
- Diament, M., dkk. (1992). Mentawai Fault Zone Off Sumatra: A New Key to the Geodynamics of Western Indonesia. *Geology*, 20(3), 259–262. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0259:MFZOSA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0259:MFZOSA>2.3.CO;2)
- Douglas, J. (2018). *Ground motion prediction equations 1964-2018*. United Kingdom: Department of Civil and Environmental Engineering, University of Strathclyde.
- Elnashai, A. S., & Sarno, L. D. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. New York: Wiley.
- Esteva, L., & Villaverde, R. (1973). Seismic Risk, Design Spectra and Structural Reliability. Proceedings of Fifth World Conference on Earthquake Engineering, 2, 2586–2596.
- Gibowicz, S. J. (1973). Variation of the Frequency-Magnitude Relation During Earthquake Sequences in New Zealand. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 63(2), 517–528. <https://doi.org/10.1785/bssa0630020517>
- Hartuti, E. R. (2009). *Buku Pintar Gempa: Mengenal Seluk Beluk Gempa, Jenis-Jenisnya, Penyebab-penyebabnya, dan Dampak-dampaknya*. Yogyakarta: DIVA Press.
- Kapojos, C. G., Tamuntuan, G., & Pasau, G. (2015). Analisis Percepatan Tanah Maksimum dengan Menggunakan Rumusan Esteva dan Donovan (Studi Kasus pada Semenanjung Utara Pulau Sulawesi). *Jurnal Ilmiah Sains*, 15(2), 99–104. <https://doi.org/10.35799/jis.15.2.2015.9225>

- Kusky, T. (2008). *Earthquakes: Plate Tectonics and Earthquake Hazards*. New York: Facts on File.
- Lay, T., & Wallace, T. C. (1995). *Modern Global Seismology*. California: Academic Press.
- Leviana, M., Syafriani, & Sabarani, A. Z. (2017). Estimasi Nilai Percepatan Tanah Maksimum Wilayah Sumatera Barat Berdasarkan Skenario Gempabumi M 8.8 SR Menggunakan Rumusan Empiris MC. Guire (1963) dan Donovan (1973). *Pillar of Physics*, 10, 55–62.
- Linda, Ihsan, N., & Palloan, P. (2019). Analisis Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai B-Value dengan Menggunakan Metode Likelihood di Pulau Jawa. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF)*, 15(1), 16–31. <https://doi.org/10.35580/jspf.v15i1.9403>
- Linkimer, L. (2008). Relationship Between Peak Ground Acceleration and Modified Mercalli Intensity in Costa Rica. *Revista Geologica de America Central*. (38), 81–94.
- Lin, T. L., & Wu, Y. M. (2010). Magnitude Determination using Strong Ground-Motion Attenuation in Earthquake Early Warning. *Geophysical Research Letters*, 37(7), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2010GL042502>
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics: Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lumantarna, B. (2000). *Pengantar Analisis Dinamis dan Gempa*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- Madlazim. (2013). Kajian Awal tentang b Value Gempa Bumi di Sumatera Tahun 1964-2013. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 3(1), 41–46. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v3n1.p41-46>
- Mandasari, Syafriani, Triyono, R., & Hendra, R. (2018). Analisis Tingkat Kerentanan Seismik di Sumatera Barat Berdasarkan Nilai Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Maksimum (Periode Data Gempa Tahun 2007-2017). *Pillar of Physics*, 11(2), 17–24.
- Marlisa, Pujiastuti, D., & Billyanto, R. (2016). Analisis Percepatan Tanah Maksimum Wilayah Sumatera Barat (Studi Kasus Gempabumi 8 Maret 1977 dan 11 September 2014). *Jurnal Fisika Unand*, 5(1), 53–58.
- Natawidjaja, D. H., & Triyoso, W. (2007). The Sumatran Fault Zone-from Source to Hazard. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 1(1), 21–47. <https://doi.org/10.1142/s1793431107000031>

- Netrisa, Z., Syafriani, Triyono, R., & Arifin, H. (2018). Pemetaan Bahaya Gempabumi Deterministik dengan Pendekatan Peak Ground Acceleration (PGA) di Kota Padang. *Pillar of Physics*, 11(2), 41–48.
- Newcomb, K. R., & McCann, W. R. (1987). Seismic History and Seismotectonics of the Sunda Arc. *Journal of Geophysical Research*, 92(B1), 421–439.
- Noor, D. (2014). *Pengantar Mitigasi Bencana Geologi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Posavec, M., Taylor, D., Leeuwen, T. V., & Spector, A. (1973). Tectonic Controls of Volcanism and Complex Movements Along the Sumatran Fault System. *Bulletin Geological Society of Malaysia*, 6, 43–60. <https://doi.org/10.7186/bgsm06197305>
- Priyanto, D. K., Suarbawa, K. N., & Septiadhi, A. (2018). Penentuan Model Formula Empiris Percepatan Getaran Tanah Daerah Denpasar. *Buletin Fisika*, 19(1), 23–27.
- Raharjo, F. D., Syafriani, & Sabarani, A. Z. (2016). Analisis Variasi Spasial Parameter Seismotektonik Daerah Sumatera Barat dan Sekitarnya dengan Menggunakan Metode Likelihood. *Pillar of Physics*, 8, 73–80.
- Razi, P., Sudiar, N. Y., & Gusnedi. (2007). Simulasi Pola Penyusupan Lempeng Indo-Australia ke Lempeng Eurasia serta Perubahan Morfologi Permukaan Bumi di Pantai Barat Sumatera Barat. *Laporan Penelitian DIPA*. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
- Santoso, D. (2002). *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB.
- Scholz, C. H. 1968. The Frequency Magnitude Relation of Micro Fracturing in Rock and its Relation to Earthquakes. *Bulletin of the Seismological of America*, 58(1), 399–414.
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105(B12), 28.295–28.326. <https://doi.org/10.1029/2000jb900120>
- Sunardi, B. (2009). Analisa Fraktal dan Rasio Slip Daerah Bali-NTB Berdasarkan Pemetaan Variasi Parameter Tektonik. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 10(1), 58–65. <https://doi.org/10.31172/jmg.v10i1.33>

- Sunarjo, Gunawan, M. T., & Pribadi, S. (2012). *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Suparno, S. (2010). *Komputasi untuk Sains dan Teknik: Menggunakan Matlab*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Supartoyo, Surono, & Putranto, E. T. (2014). *Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1612-2014 (Edisi Kelima)*. Bandung: PVMBG.
- Triyono, R. (2015). Ancaman Gempabumi di Sumatera Tidak hanya Bersumber dari Mentawai Megathrust. *Artikel Stasiun Geofisika Kelas I Padang Panjang*.
- Widiyantoro, S., & Fauzi. (2005). Note On Seismicity of the Bali Convergent Region In the Eastern Sunda Arc, Indonesia. *Australian Journal Earth Sciences*. 52(3), 379–383. <https://doi.org/10.1080/08120090500136683>