

Skripsi Geofisika

**”ANALISIS PARAMETER SEISMOTEKTONIK SERTA MODIFIKASI
FORMULA EMPIRIS PGA (*PEAK GROUND ACCELERATION*) PADA
WILAYAH PROVINSI ACEH PERIODE 2000 - 2021”**



Disusun dan Diajukan Oleh:

NILAM SYUKUR

H061181016

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS PARAMETER SEISMISITAS SERTA MODIFIKASI
FORMULA EMPIRIS PGA (*PEAK GROUND ACCELERATION*) PADA
WILAYAH PROVINSI ACEH PERIODE 2000-2021**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH :

NILAM SYUKUR

H061181016

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**Analisis Parameter Seismotektonik serta Modifikasi Formula Empiris PGA
(Peak Ground Acceleration) pada Wilayah Provinsi Aceh Periode 2000-2021**

Disusun dan diajukan oleh:

NILAM SYUKUR

H061181016

Telah di pertahakankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal, 16 Agustus 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama


Ir. Bambang Harimei, M.Si
NIP. 196105011991031003


Muhammad Fawzy Ismullah M.,S.Si., M.T
NIP. 199111092019031010

Ketua Departemen


Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nilam Syukur
NIM : H06118101
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“ANALISIS PARAMETER SEISMOTEKTONIK SERTA MODIFIKASI
FORMULA EMPIRIS PGA (*PEAK GROUND ACCELERATION*) PADA
WILAYAH PROVINSI ACEH PERIODE 2000 - 2021”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagai atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

16 Agustus 2022

Yang menyatakan



Nilam Syukur

SARI BACAAN

Provinsi Aceh terletak pada zona subduksi dan merupakan salah satu provinsi yang memiliki pertumbuhan penduduk serta perkembangan sektor konstruksi yang relatif pesat, sehingga jika terjadi gempa bumi akan menimbulkan banyaknya korban jiwa dan potensi kerusakan pada infrastruktur bangunan. Salah satu bentuk upaya untuk meminimalisir dampak gempa, yaitu melakukan analisis parameter seismotektonik dan analisis PGA menggunakan modifikasi formula empiris. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai parameter seismotektonik yaitu *a-value* dan *b-value* menggunakan metode *Maximum Likelihood* pada Provinsi Aceh, dan menentukan nilai PGA wilayah Provinsi Aceh dengan menggunakan modifikasi rumus empiris percepatan tanah, serta membuat zonasi wilayah yang rawan gempa bumi berdasarkan parameter seismotektonik dan wilayah yang berpotensi mengalami kerusakan akibat gempa bumi berdasarkan nilai PGA di Provinsi Aceh. Daerah penelitian berada pada koordinat $2^{\circ} - 6^{\circ}$ LU dan $94^{\circ} - 98^{\circ}$ BT. Data yang digunakan adalah data PGA akselerometer Stasiun Klimatologi Indrapuri dengan waktu perekaman dari tahun 2013 hingga 2021 dan data parameter gempa bumi dari katalog USGS selama periode 2000 hingga 2021 dengan $M_w \geq 4$ dan kedalaman ≤ 60 km. Pada perhitungan parameter seismotektonik, wilayah penelitian dibagi dalam 64 grid dengan ukuran $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$. Pada analisis PGA, digunakan 289 titik pengukuran dengan jarak antar titik pengukuran yaitu $0,25^{\circ}$. Hasil penelitian menunjukkan wilayah Provinsi Aceh memiliki variasi nilai *a* berkisar 0 hingga 15,95 dan rentang nilai *b* yaitu 0 hingga 3,07. Wilayah yang memiliki *a-value* dan *b-value* tertinggi meliputi Kab. Nagan Raya, Aceh Tengah, Gayo Lues dan sebagian kecil dari Kab. Aceh Barat Daya, dengan nilai *a* yaitu 15,95 dan nilai *b* yaitu 3,07, selanjutnya wilayah Kab. Pidie, Aceh Barat dan sebagian kecil Kab. Aceh Tengah, Pidie Jaya serta Bireun dengan *a-value* bernilai 12,36 dan *b-value* bernilai 2,16. Modifikasi rumus empiris PGA pada penelitian ini mempertimbangkan RMSE antara nilai PGA beberapa rumus empiris terhadap nilai PGA akselerometer. Diperoleh metode empiris yang memiliki RMSE terkecil adalah Fukushima & Tanaka. Nilai PGA Provinsi Aceh menggunakan modifikasi formula empiris berkisar 24,5 gal – 583,8 gal. Nilai PGA terbesar berada di sekitar lepas Pantai Barat Sumatra. Adapun hasil zonasi rawan gempa bumi berdasarkan parameter seismotektonik terdiri atas 3 zona, yaitu zona kerawanan rendah, sedang, dan tinggi. Wilayah Provinsi Aceh didominasi oleh zona kerawanan rendah terhadap gempa bumi. Hasil zonasi potensi kerusakan berdasarkan nilai PGA Provinsi Aceh terbagi atas 3 zona, yaitu zona dirasakan, zona kerusakan ringan, dan zona kerusakan sedang. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi tambahan dan wawasan dalam menentukan wilayah yang rawan dan berpotensi mengalami kerusakan akibat guncangan gempa bumi.

Kata Kunci: Gempabumi, Parameter Seismotektonik, PGA, Provinsi Aceh

ABSTRACT

Aceh province is located in a subduction zone and has relatively rapid population growth and construction sector development, so if an earthquake occurs, it will cause many casualties and potential damage to building infrastructure. One form of effort to minimize the impact of the earthquake is to analyze seismotectonic parameters and PGA analysis using a modified empirical formula. This study aims to determine the value of seismotectonic parameters, namely a-value and b-value using the Maximum Likelihood method in Aceh Province, and determine the PGA value for the Aceh Province region by using a modified empirical formula for ground acceleration, as well as zoning areas prone to earthquakes based on seismotectonic parameters and areas that have the potential to be damage by earthquakes based on the PGA value in Aceh Province. The study area is at the coordinates of $2^{\circ} - 6^{\circ}$ N and $94^{\circ} - 98^{\circ}$ E. The data used are PGA accelerometer data of Indrapuri Climatology Station with a recording time from 2013 to 2021 and earthquake parameter data from the USGS catalog for the period 2000 to 2021 with $M_w \geq 4$ and depth ≤ 60 km. In the calculation of seismotectonic parameters, the study area was divided into 64 grids with a size of $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. In the PGA analysis, 289 measurement points were used with the distance between the measurement points is 0.25° . The results of the study show that the Aceh Province has a variation of a value ranging from 0 to 15.95 and b value range from 0 to 3.07. Regions that have the highest a-value and b-value include Nagan Raya, Central Aceh, Gayo Lues Districts and a small part of Aceh Barat Daya Districts, with a-value of 15.95 and b-value of 3.07, the area of Pidie, Aceh Barat and a small part of Aceh Tengah, Pidie Jaya and Bireun districts with a-value of 12.36 and b-value of 2.16. Modification of the PGA empirical formula in this study considers the RMSE between the PGA values of several empirical formulas and the accelerometer PGA values. The empirical method which has the smallest RMSE is Fukushima & Tanaka. The PGA value of Aceh Province using a modified empirical formula ranges from 24.5 gal - 583.8 gal. The largest PGA values are located off the West Coast of Sumatra. The results of earthquake-prone zoning based on seismotectonic parameters consist of 3 zones, namely low, medium, and high vulnerability zones. The province of Aceh is dominated by a zone of low vulnerability to earthquakes. The results of the zoning of potential damage based on the PGA value of Aceh Province are divided into 3 zones, namely the perceived zone, the low damage zone, and the moderate damage zone. It is hoped that the results of this study can be used as additional information and insight in determining areas that are prone to and potentially damaged by earthquake shocks.

Keywords: Earthquake, Seismotectonic Parameter, PGA, Aceh Province.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Tiada kata lain selain mengucapkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Parameter Seismotektonik serta Modifikasi Formula Empiris PGA (Peak Ground Acceleration) pada Wilayah Provinsi Aceh Periode 2000-2021**”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Jurusan Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan melalui bantuan, bimbingan, dukungan serta nasehat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, **Bapak Muh. Syukur** dan **Ibu Rugayya**, yang selalu mendoakan, memberikan semangat, dan limpahan kasih sayang serta atas kesabarannya yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis, yang merupakan anugerah terbesar dalam hidup penulis. Penulis berharap agar menjadi anak yang dapat dibanggakan. Tak lupa juga untuk kakakku tercinta, **Dinda Syukur** yang selalu memberikan motivasi, masukan, dan doa yang tiada henti-hentinya. Serta kepada seluruh keluarga yang tak pernah lelah menyemangati dan mendoakan penulis.
2. **Bapak Ir. Bambang Harimei, M.Si** selaku pembimbing utama dan **Bapak Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T.** selaku pembimbing pertama.

Terima kasih atas segala waktu, ilmu, nasehat serta semangat dan hal-hal baik lainnya yang selalu Bapak berikan kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.

3. **Bapak Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM dan Bapak Dr. Erfan Syamsuddin** selaku dosen penguji. Terima kasih atas kritik yang akhirnya membantu membantu lahirnya segala tulisan yang ada dalam skripsi ini.
4. **Bapak Drs. Hasanuddin, M.Si** selaku dosen penasihat akademik penulis. Terima kasih atas berbagai nasihat, motivasi dan segala kebaikan yang telah diberikan mulai sejak penulis menjadi mahasiswa baru hingga penulis menyelesaikan skripsi ini
5. **Bapak dan Ibu Dosen Departemen Geofisika** yang telah mendedikasikan waktunya sebagai pengajar. Terima kasih atas ilmu yang disampaikan. Semoga menjadi amal jariah di akhirat kelak. Tak lupa pula, kepada seluruh **Staf Departemen Geofisika dan Staf Fakultas MIPA** yang telah membantu menyelesaikan urusan-urusan akademik terkhusus selama proses penyusunan skripsi ini.
6. **Putry Hernanda Zainal, Ayu Adheriska Maeshal dan Dwi Melenia Sari**, terima kasih untuk tidak pernah bosan mendengar keluh kesah kehidupan penulis, untuk senantiasa menyemangati dan mendoakan, untuk selalu berusaha waras dan terima kasih untuk selalu ada.
7. **Nurfadillah, S.Si**, terima kasih telah menjadi support system penulis selama menjalani masa perkuliahan. Penulis ingin menyampaikan rasa kagum atas dirimu karena telah menjadi sosok manusia pantang menyerah bahkan saat

keadaan nyaris tidak memungkinkan. Jangan lupa berterima kasih kepada dirimu sendiri.

8. **Juni Annisa Karim, Resky Amelia, Asmiyeni Islamiati, Mutmainnah, Evy Sulfiani, Sheren Fairuz, dan Nur Fiskah**, terima kasih telah menjadi teman yang sefrekuensi sejak maba, terima kasih untuk selalu sabar menunggu penulis yang selalu telat dan terima kasih atas bantuan serta dukungan yang diberikan selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman seperjuangan **Geofisika 2018 dan Himafi 18** atas doa, dukungan, maupun bantuan dalam menjalani perkuliahan dan menyelesaikan skripsi. Penulis sangat bersyukur telah mengenal pribadi-pribadi yang luar biasa seperti kalian.
10. Serta kepada **seluruh pihak** secara langsung maupun tidak langsung yang telah sangat banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi maupun studi yang tidak sempat disebutkan satu persatu.
11. Last but not least, **I wanna thank me**. I wanna thank me for believing in me, for doing all this hard work, for having no days off, for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Penulis menyadari dalam penelitian dan penulisan hasilnya ini banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan agar penelitian ini dapat dikembangkan.

Makassar, 5 Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SARI BACAAN	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Ruang Lingkup	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
II.1 Tatanan Geologi dan Tektonik	8
II.2 Historis Gempabumi Provinsi Aceh	13
II.3 Gempa Bumi	17
II.4 Magnitudo Gempabumi	20
II.4.1 <i>Magnitude Local</i> (MI)	20
II.4.2 <i>Magnitude Body</i> (Mb)	21
II.4.3 <i>Magnitude Surface</i> (Ms)	21
II.4.4 <i>Magnitude Moment</i> (Mw)	22
II.5 A-Value dan B-Value	23
II.5.1 Metode Maximum Likelihood	24
II.6 Formulasi Inversi Linier	25

II.7 PGA (<i>Peak Ground Acceleration</i>).....	28
II.8 Rumus Empiris PGA	29
II. 9 Skala Intensitas Gempabumi	34
II.10 Metode Interpolasi	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
III.1 Lokasi Penelitian.....	40
III.2 Alat dan Bahan	41
III.2.1 Alat	41
III.2.2 Bahan	41
III.3 Prosedur Pengolahan Data.....	41
III. 4 Bagan Alir	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
IV.1 A- <i>Value</i> dan B- <i>Value</i>	47
IV.2 Percepatan Tanah Maksimum	53
BAB V PENUTUP	63
V.1 Kesimpulan	63
V.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Sumatra (Barber <i>et al.</i> , 2005).....	8
Gambar 2. 2 Peta tatanan tektonik Pulau Sumatra (Darman dan Sidi., 2000).....	10
Gambar 2. 3 Sesar aktif di daratan Provinsi Aceh dan historis gempabumi merusak (PuSGeN., 2017)	11
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian	40
Gambar 4. 1 Pembagian grid atau wilayah Provinsi Aceh	47
Gambar 4. 2 Penyebaran data A- <i>Value</i> di Provinsi Aceh	48
Gambar 4. 3 Penyebaran data B- <i>Value</i> di Provinsi Aceh.....	48
Gambar 4. 4 Peta kerawanan gempabumi berdasarkan a- <i>value</i>	50
Gambar 4. 5 Peta kerawanan gempabumi berdasarkan b- <i>value</i> Provinsi Aceh...	51
Gambar 4. 6 Pembagian titik pengamatan di wilayah Provinsi Aceh	54
Gambar 4. 7 Perbandingan nilai residual rumus empiris terhadap nilai percepatan tanah hasil perekaman akselerometer	56
Gambar 4. 8 Peta Percepatan Tanah Maksimum Provinsi Aceh Periode 2000 - 2021	57
Gambar 4. 9 Peta Potensi Kerusakan Berdasarkan Percepatan Tanah Maksimum Provinsi Aceh Periode 2000-2021	58
Gambar 4. 10 Peta Potensi Bencana Gempabumi (kiri) dan Peta Potensi Kerusakan (kanan).....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sejarah kejadian gempabumi merusak di Provinsi Aceh (Hidayati et al., 2014).....	13
Tabel 2. 2 Klasifikasi gempabumi berdasarkan magnitudo (BMKG., 2018).....	19
Tabel 2. 3 Rumus Konversi Magnitudo Momen	22
Tabel 2. 4 Skala Intensitas Gempabumi (SIG) BMKG (BMKG., 2021)	35
Tabel 4. 1 RMSE data PGA Metode Empiris terhadap data PGA Akselerometer Periode 2012-2021 dalam satuan g	54
Tabel 4. 2 RMSE Nilai PGA Formula Empiris setelah dilakukan perhitungan inversi linier (Modifikasi Formula Empiris) terhadap Nilai PGA Rekaman Akselerometer BMKG Periode 2012-2021	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Perhitungan <i>A-Value</i>	71
Lampiran 2 Data Perhitungan <i>B-Value</i>	72
Lampiran 3 Perhitungan RMSE data PGA rumus empiris Fukushima & Tanaka terhadap data PGA akselerometer BMKG Periode 2013-2021.....	73
Lampiran 4 Perhitungan RMSE data PGA rumus empiris Mc. Guire terhadap data PGA perekaman akselerometer BMKG Periode 2013-2021.....	74
Lampiran 5 Perhitungan RMSE data PGA rumus empiris Campbell terhadap data PGA perekaman akselerometer BMKG Periode 2013-2021	76
Lampiran 6 Perhitungan RMSE data PGA rumus empiris Donovan terhadap data PGA perekaman akselerometer BMKG Periode 2013-2021	78
Lampiran 7 Perhitungan Metode Inversi Linier untuk rumus empiris Mc. Guire	80
Lampiran 8 Perhitungan Metode Inversi Linier untuk rumus empiris Campbell	80
Lampiran 9 Perhitungan Metode Inversi Linier untuk rumus empiris Donovan	81
Lampiran 10 Perhitungan Metode Inversi Linier untuk rumus empiris Fukushima & Tanaka.....	81
Lampiran 11 Perhitungan RMSE data PGA rumus empiris Mc. Guire (setelah dimodifikasi) terhadap data PGA perekaman akselerometer BMKG Periode 2013-2021	81
Lampiran 12 Perhitungan RMSE data PGA rumus empiris Campbell (setelah dimodifikasi) terhadap data PGA perekaman akselerometer BMKG Periode 2013-2021	83

Lampiran 13 Perhitungan RMSE data PGA rumus empiris Donovan (setelah dimodifikasi) terhadap data PGA perekaman akselerometer BMKG Periode 2013-2021	85
Lampiran 14 Perhitungan RMSE data PGA rumus empiris Fukushima & Tanaka (setelah dimodifikasi) terhadap data PGA perekaman akselerometer BMKG Periode 2013-2021	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu provinsi di Indonesia yang pernah diguncang gempa bumi merusak adalah Provinsi Aceh. Provinsi Aceh merupakan wilayah yang terletak di bagian utara Pulau Sumatera dan berada pada bagian paling barat di Kepulauan Indonesia. Posisi Aceh yang terletak diantara pertemuan dua lempeng besar yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia menyebabkan Provinsi Aceh berada pada *subduction zone*. Arah pergerakan Lempeng Indo-Australia yang relatif ke arah utara yang kemudian menyusup ke bawah Lempeng Eurasia (Lusiani *et al.*, 2018).

Gempabumi merusak yang pernah mengguncang wilayah Provinsi Aceh adalah kejadian gempa bumi tanggal 26 Desember 2004 dengan magnitudo sebesar 9,2 dan skala MMI mencapai VIII serta menimbulkan korban jiwa berkisar 265.000 orang di Provinsi Aceh dan di sekitar pantai barat Sumatra Utara. Kemudian gempa bumi merusak juga pernah terjadi pada 22 Januari 2013 dengan kekuatan gempa mencapai M 5,9 yang mengakibatkan 8 orang luka-luka, 1 orang korban jiwa, dan 14 rumah mengalami kerusakan di Pidie Jaya serta keretakan pada sejumlah ruas jalan. Masih pada tahun yang sama, yaitu tepatnya pada 2 Juli 2013 Provinsi Aceh kembali dilanda gempa dengan magnitudo 6,1 dan skala MMI sebesar VI yang menimbulkan 42 orang korban jiwa serta beberapa ruas jalan di

wilayah Bireun – Takengan yang tertutup longsor dan 3000 rumah mengalami kerusakan (Hidayati *et al.*, 2014).

Badan Pusat Statistik Provinsi Aceh pada tahun 2021 merilis jumlah penduduk Provinsi Aceh pada tahun 2020 mencapai 5.274.821 jiwa yang tersebar di 23 kota/ kabupaten di Provinsi Aceh. Selama kurun waktu 10 tahun terakhir (2010 – 2020), laju pertumbuhan penduduk Provinsi Aceh sebesar 1,56 % per tahun. Daerah dengan kepadatan penduduk tertinggi berada pada Kota Banda Aceh dengan kepadatan penduduk sebesar 4.122 jiwa/ km². Kepadatan penduduk terus mengalami peningkatan sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk setiap tahunnya. Sementara itu, perkembangan sektor konstruksi atau pembangunan di Provinsi Aceh pada tahun 2016 hingga tahun 2020 cenderung mengalami peningkatan, dimana pada tahun 2019 sampai 2020 laju pertumbuhan sektor pembangunan di Provinsi Aceh mencapai 10,61% (BPS., 2021).

Mengingat banyaknya kejadian gempa bumi merusak yang telah melanda Provinsi Aceh dan pertumbuhan penduduk serta perkembangan sektor pembangunan yang relatif pesat, maka kewaspadaan terhadap kerugian yang ditimbulkan oleh gempa bumi perlu ditingkatkan. Salah satu langkah dalam upaya mitigasi bencana ialah dengan mengetahui daerah yang rawan diguncang gempa bumi. Hal tersebut dapat menjadi informasi mitigasi untuk pemerintah setempat dan masyarakat dalam memperkirakan wilayah yang beresiko besar mengalami kerusakan serta sebagai salah satu acuan dalam menentukan wilayah atau zona yang aman digunakan sebagai keperluan pemukiman dengan tetap memperhatikan data-data lain yang berhubungan dengan wilayah tersebut. Salah

satu bentuk kewaspadaan untuk meminimalisasi dampak gempa, yaitu dengan melakukan kajian mendasar berdasarkan historis kegempaan di Provinsi Aceh. Bentuk kajian yang dapat dilakukan adalah dengan menganalisis parameter seismotektonik yang ditunjukkan sebagai *a-value* dan *b-value* menggunakan metode *Maximum Likelihood* dan analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan modifikasi formula empiris.

Analisis seismitasitas yang dilakukan adalah dengan analisis tingkat keaktifan gempa (*a-value*) dan nilai tingkat kerapuhan batuan atau *stressmeter* (*b-value*) menggunakan pendekatan *Maximum Likelihood*. Metode *Maximum Likelihood* memiliki keunggulan dalam menghitung secara statistik nilai parameter seismotektonik yang lebih baik dibandingkan dengan metode *Least Square* karena dapat menghindari kekosongan magnitudo pada interval tertentu (Suwandi *et al.*, 2017).

Metode *Maximum Likelihood* dalam perhitungan *a-value* dan *b-value* telah banyak digunakan untuk mengetahui potensi kegempaan di wilayah Indonesia, seperti penelitian yang dilakukan oleh Raharjo *et al.* (2016) mengenai analisis variasi spasial parameter seismotektonik daerah Sumatera Barat dan sekitarnya. Sementara itu, Apriliani dan Prastowo (2021) melakukan penelitian mengenai penentuan parameter seismik *a-value* dan *b-value* untuk analisis potensi bencana gempabumi di wilayah Maluku. Pada penelitian tersebut menggunakan metode *Maximum Likelihood* dan *Least Square*, yang pada kesimpulannya metode *Maximum Likelihood* terbukti lebih akurat dan konsisten dalam menentukan *a-value* dan *b-value* dibanding metode *Least Square*.

Pesatnya pembangunan infrastruktur tiap tahun dan minimnya bangunan yang didirikan berdasarkan standar bangunan tahan gempa menjadi suatu hal yang perlu diperhatikan untuk mengurangi dampak kerusakan dari guncangan gempabumi. Setiap suatu kejadian gempa akan menghasilkan nilai percepatan tanah yang dapat digunakan dalam perhitungan perencanaan tata wilayah dan ruang. Nilai percepatan tanah maksimum pada suatu wilayah merupakan bahan informasi yang bisa dijadikan petunjuk resiko kerusakan yang ditimbulkan terhadap bangunan yang ada di wilayah tersebut, semakin besar nilai percepatan tanah suatu wilayah maka semakin tinggi tingkat bahaya gempabumi. Selain itu, nilai percepatan tanah dapat digunakan sebagai perhitungan dalam merancang bangunan tahan gempa. Nilai percepatan tanah dibutuhkan untuk menyesuaikan kekuatan bangunan yang akan didirikan pada suatu daerah (Sunarjo *et al.*, 2012). Besarnya nilai percepatan tanah pada suatu wilayah dapat diukur menggunakan alat akselograf yang dipasang pada lokasi penelitian. Namun, jumlah akselograf yang minim dan tidak tersebar merata di seluruh wilayah Indonesia sehingga perlu dilakukan perhitungan *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan menggunakan metode empiris.

Metode empiris telah banyak digunakan pada penelitian sebelumnya, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Nofaslah dan Pujiastuti (2017) berdasarkan data gempa Segmen Tripa menggunakan rumus Mc. Guirre.. Sedangkan, Ulfiana *et al.* (2018) melakukan penelitian di Pulau Bali menggunakan rumus empiris Donovan dan Mc. Guirre. Sementara itu, Gusdalina, Syfriani dan Ma'muri (2018) melakukan penelitiannya di wilayah Sumatera Barat

dengan menggunakan metode empiris Fukushima dan Tanaka. Adapun, Hartanto (2020) melakukan penelitian mengenai perbandingan percepatan tanah maksimum antara metode empiris dengan hasil yang terbaca pada akselograf untuk daerah Jayapura menggunakan metode empiris Campbell.

Setiap model formula empiris memiliki karakteristik tertentu berdasarkan lokasi penelitian. Sebagian Besar, formula empiris dibuat di luar dari wilayah Indonesia. Namun, formula empiris khusus untuk wilayah Indonesia belum tersedia, termasuk Provinsi Aceh. Sehingga, diperlukan rumus empiris khusus yang melibatkan hasil perekaman akselograf. Hasil perhitungan dengan modifikasi rumus empiris yang baru diharapkan dapat mendekati pada kondisi sebenarnya yang didasarkan pada observasi alat dan cukup relevan untuk digunakan dibandingkan dengan metode empiris lain yang sudah ada sebelumnya seperti rumus Fukushima & Tanaka, Mc. Guirre, Donovan dan Campbell.

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis parameter seismotektonik dan percepatan tanah maksimum di wilayah Provinsi Aceh untuk mengamati tingkat bahaya gempa berdasarkan data gempabumi tahun 2000 sampai 2021. Diharapkan hasil penelitian ini mampu memberikan informasi yang sekiranya dapat digunakan oleh pemerintah setempat sebagai bahan kajian dalam upaya mengurangi dampak kerusakan akibat gempabumi pada masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana sebaran nilai tingkat seismisitas (*a-value*) dan kerapuhan batuan (*b-value*) menggunakan metode *Maximum Likelihood* di wilayah Provinsi Aceh berdasarkan data gempabumi tahun 2000 sampai 2021?
- 2) Bagaimana sebaran nilai percepatan tanah maksimum di wilayah Provinsi Aceh berdasarkan historis data gempabumi periode 2000 – 2021 dengan menggunakan modifikasi rumus empiris percepatan tanah?
- 3) Bagaimana kerawanan gempabumi berdasarkan *a-value* dan *b-value* serta resiko kerusakan akibat gempabumi berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum di wilayah Provinsi Aceh dalam rentang waktu 2000 - 2021?.

1.3 Ruang Lingkup

Pada penelitian ini dibatasi oleh analisis parameter seismotektonik (*a value* dan *b value*) menggunakan metode *Maximum Likelihood* dan penentuan percepatan tanah maksimum wilayah Provinsi Aceh menggunakan modifikasi formula empiris. Adapun daerah penelitian dibatasi pada clustering sumber gempabumi daerah Provinsi Aceh yang terletak pada kordinat $2,0^{\circ} - 6,0^{\circ}$ LU dan $94,0^{\circ} - 98,0^{\circ}$ BT. Data penelitian yang digunakan adalah data PGA hasil rekaman *accelograph* BMKG dengan rentang waktu tahun 2013 - 2021 dan data parameter gempabumi dari katalog USGS rentang waktu 1 Januari 2000 sampai 31 Desember 2021 dengan $M_w \geq 4$ dan kedalaman ≤ 60 km. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini berupa peta persebaran *a-value* dan *b-value*, peta kerawanan gempabumi berdasarkan *a-value* dan *b-value*, persamaan baru hasil modifikasi formula empiris percepatan tanah maksimum dan peta persebaran percepatan

tanah maksimum untuk wilayah Provinsi Aceh serta peta potensi kerusakan berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum Provinsi Aceh. Diharapkan hasil penelitian ini mampu memberikan informasi yang sekiranya dapat digunakan oleh pemerintah setempat sebagai bahan kajian dalam upaya mengurangi dampak kerusakan akibat gempabumi pada masa mendatang.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

- 1) Menentukan nilai parameter seismotektonik yaitu *a-value* sebagai tingkat keaktifan gempabumi dan *b-value* sebagai tingkat kerapuhan batuan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood* pada Provinsi Aceh.
- 2) Menentukan nilai PGA wilayah Provinsi Aceh dengan menggunakan modifikasi rumus empiris percepatan tanah.
- 3) Membuat zonasi wilayah yang rawan mengalami gempabumi berdasarkan *a-value* dan *b-value* serta wilayah yang berpotensi mengalami kerusakan akibat gempabumi berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum di Provinsi Aceh.

1.5 Manfaat Penelitian

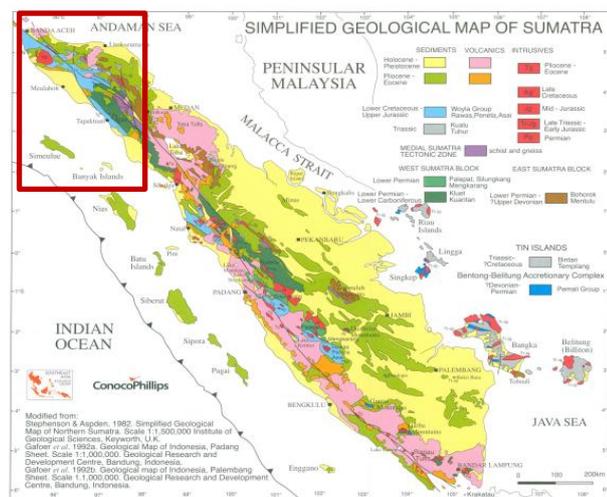
Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu menjadi bahan pustaka untuk Pemerintah Daerah maupun Pemerintah Pusat dan masyarakat sebagai langkah awal dalam upaya mitigasi bencana gempabumi di wilayah Provinsi Aceh, dengan begitu dampak kerusakan dari guncangan gempabumi dapat diminimalisir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tatanan Geologi dan Tektonik

Pulau Sumatra, termasuk Provinsi Aceh merupakan bagian dari Kerak Sunda (*Sundaland*) yang terletak antara pertemuan dua lempeng tektonik yaitu Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara dengan kecepatan sekitar 7 cm/tahun dan Lempeng Eurasia yang bergerak ke tenggara dengan kecepatan sekitar 0,4 cm/ tahun. Tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia mengakibatkan terbentuknya zona subduksi (Supartoyo *et al.*, 2014).



Gambar 2. 1 Peta Geologi Sumatra (Barber *et al.*, 2005).

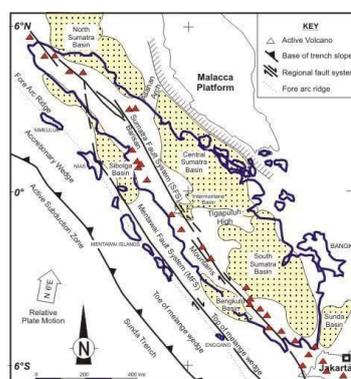
Provinsi Aceh memiliki kondisi geologi yang sangat kompleks, yang terdiri dari beraneka ragam jenis batuan dengan struktur yang rumit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Sejarah geologi maupun tektonik, menyebabkan Aceh memiliki sumber daya geologi yang kaya dan bervariasi. Adapun jenis-jenis batuan yang terdapat di Provinsi Aceh terdiri dari batuan sedimen, batuan malihan

atau batuan metamorf, batuan beku, endapan alluvium serta batuan gunungapi. Klasifikasi berdasarkan jenis-jenis litologi batuan, terdiri atas (Pemerintah Aceh, 2019) :

- 1) Batuan beku dan batuan malihan (*igneous rocks or metamorphic rocks*), berada pada kompleks pegunungan mulai dari punggung atau puncak dengan potensi air tanah yang sangat rendah.
- 2) Sedimen padu - tak terbedakan (*consolidated sediment – undifferentiated*), terletak di bagian bawah/ hilir batuan beku di atas, namun masih terletak pada kompleks pegunungan hingga ke kaki pegunungan dan di Pulau Simeulue yang juga memiliki potensi air tanah yang sangat rendah.
- 3) Dolomit atau batugamping (*dolomites or limestones*), tersebar di beberapa tempat, yaitu di Aceh Timur, Gayo Lues, Aceh Jaya, dan di bagian barat laut Aceh Besar (sekitar Peukan Bada dan Lhok Nga), yang juga memiliki potensi air tanah sangat rendah.
- 4) Hasil gunungapi yaitu breksi, tufa, lava dan lahar (*Volcanic products are breccia, tuff, lava, lahar*), berada di sekitar gunung berapi, umumnya di dominasi di sekitar Gunung Peut Sagoe, Gunung Seulawah, dan Gunung Geuredong, dengan potensi air tanah yang cukup rendah.
- 5) Sedimen lepas atau setengah padu – lempung, lanau, kerikil, pasir (*loose or semi-consolidated sediment (clay silt, gravel, sand)*), terdapat di bagian paling bawah atau hilir yaitu di pesisir, baik di pesisir barat maupun di pesisir timur serta di Cekungan Krueng Aceh, yang memiliki potensi air tanah sedang hingga tinggi.

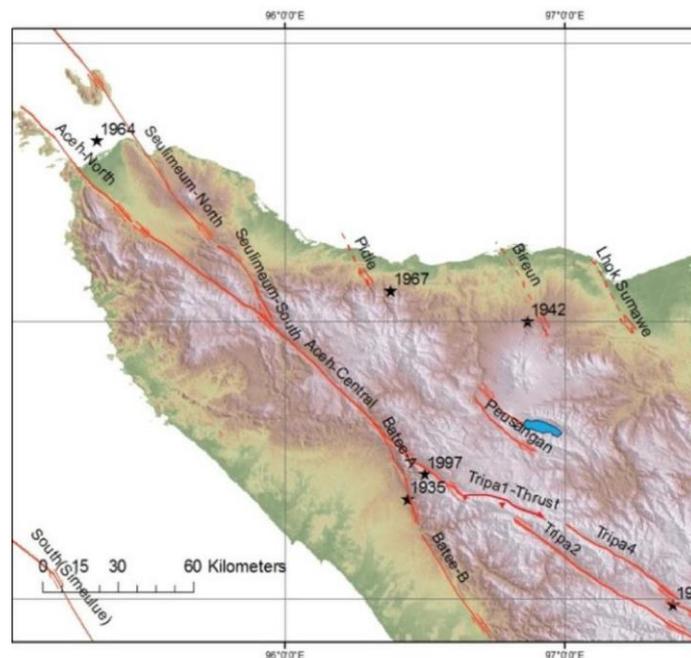
Aktivitas geologi di wilayah Provinsi Aceh dimulai pada zaman Miosen, yaitu saat batuan yang dikenal sebagai Formasi Woyla terendapkan. Struktur geologi berarah selatan – utara dihasilkan pada zaman tersebut, yang sejalan dengan permulaan subduksi Lempeng Indo–Australia terhadap Lempeng Eurasia pada zaman Yura Akhir. Terjadi pengendapan satuan batuan vulkanik pada periode Yura Akhir – Kapur. Kemudian, di atas satuan batuan vulkanik tersebut diendapkan batugamping (*wreckstone* dan *mudstone*) secara tak selaras berdasarkan ditemukannya konglomerat (Astawa *et al.*, 2012).

Efek dari *subduction* tersebut menghasilkan rangkaian Pegunungan Bukit Barisan yang memiliki jalur vulkanik di tengahnya, rangkaian busur pulau depan (*forearch island*) yang non vulkanik (seperti : Pulau Enggano, Pulau Siberut, Pulau Batu, Pulau Nias, Pulau Banyak, hingga Pulau Simeulue) dan sesar aktif yang membelah Pulau Sumatera mulai dari Teluk Semangko sampai Banda Aceh, yang dikenal sebagai “*The Great Sumatera Fault*” yang menerus hingga ke Laut Andaman sampai Burma. Sesar aktif ini merupakan daerah yang sering mengalami tanah longsor dan diguncang gempa bumi serta diperkirakan sesar ini bergerak 11 cm pertahun (Astawa *et al.*, 2012).



Gambar 2. 2 Peta tatanan tektonik Pulau Sumatra (Darman dan Sidi., 2000)

Di Sumatera, khususnya Provinsi Aceh terdapat dua sumber utama gempa bumi, yaitu pada zona *megathrust* Sumatera dan zona Sesar Besar Sumatera (*The Great Sumatera Fault*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Zona *megathrust* merupakan batas antar Lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Eurasia atau disebut juga sebagai batas lempeng pada zona subduksi. Sementara itu, zona Sesar Besar Sumatera (*The Great Sumatera Fault*) merupakan jalur sesar mendatar sepanjang 1.650 km yang membelah Pegunungan Bukit Barisan, mulai dari wilayah Aceh hingga Selat Sunda (PusGen. 2017).



Gambar 2. 3 Sesar aktif di daratan Provinsi Aceh dan historis gempa bumi merusak (PuSGeN., 2017)

Sistem Sesar Sumatera yang menjadi sumber utama gempa bumi terbagi menjadi 19 segmen, yang tersebar di sepanjang tulang punggung Sumatera dengan pergerakan relatifnya yaitu *strike slip* yang berarah dekstral dan panjang

masing-masing berkisar 35 – 200 km (Lusiana *et al.*, 2018). Seperti pada Gambar 2.3, di Provinsi Aceh, Sesar Sumatera tersebut melingkupi segmen Sesar Tripa, segmen Sesar Aceh, segmen Sesar Seulimeum, dan segmen Sesar Batee. Selain itu, terdapat pula sesar-sesar lokal yang memiliki historis aktifitas kegempaan yang rendah, yaitu Sesar Pesaungan, Sesar Bireun, Sesar Pidie, dan Sesar Lhoksemawe (PusGen., 2017). Di sepanjang Sesar Sumatra terdapat kenampakan bukit-bukit kecil, danau-danau, dan alur-alur sungai. Jalur Sesar Sumatra ini membentang di sepanjang Bukit Barisan (BPBD., 2016)

Sesar ini diakibatkan oleh adanya zona subduksi (*subduction zone*) di bagian barat sepanjang Pulau Sumatera dan akibat dari pengaruh tektonisme secara global serta adanya *uplift* pada Pegunungan Bukit Barisan. Wilayah yang terletak di sepanjang sesar tersebut memiliki tingkat seismisitas dan tanah longsor yang tinggi dikarenakan rawannya guncangan gempa bumi dan aktivitas vulkanisme. Provinsi Aceh adalah wilayah yang datarannya merupakan hasil amblesan sejak zaman Pliosen sehingga menghasilkan suatu graben. Adapun datarannya tersusun oleh batuan sedimen, yang memiliki pengaruh besar apabila terjadi guncangan gempabumi di sekitar wilayah tersebut. Sehingga, Pulau Sumatera termasuk Provinsi Aceh perlu berhati-hati dari potensi bencana (Arifin dan Subarsyah, 2018).

Geomorfologi Provinsi Aceh juga dipengaruhi oleh penunjaman Lempeng Indo – Australia. Bagian Pulau Barat Sumatera terangkat disebabkan oleh adanya penunjaman, dan relatif turun pada bagian timur. Sehingga, mengakibatkan dataran pantai yang sempit dan kadang-kadang terjal pada bagian barat. Tanah

hasil erosi dari bagian barat (yang bergerak naik) akan berpindah ke bagian timur yang turun, menyebabkan pantai pada bagian timur menjadi datar dan luas pada bagian timur (Astawa *et al.*, 2012).

II.2 Historis Gempabumi Provinsi Aceh

Saat gempabumi terjadi di permukaan bumi, efek getarannya menimbulkan kerugian baik harta maupun jiwa bagi daerah yang ditimpanya dalam kurun waktu yang relatif singkat. Ada bermacam-macam gempabumi yang dikenal, yaitu gempabumi tektonik, gempabumi vulkanik, gempabumi runtuhan, dan gempabumi buatan. Dari keempat jenis gempabumi tersebut, gempa yang sering menimbulkan bencana di daerah yang luas adalah gempa tektonik (Mulyo., 2004).

Tabel 2. 1 Sejarah kejadian gempabumi merusak di Provinsi Aceh (Hidayati et al., 2014).

No .	Nama Gempa	Tanggal	Pusat Gempa	Kedalaman (km)	Mag.	Skala MMI	Kerusakan
1.	Banda Aceh	23/08/1936	6,1° LU - 94,8° BT	33	7,3	VII - VIII	9 orang meninggal dunia, 20 orang luka parah di Banda Aceh
2.	Banda Aceh	02/04/1964	5,9° LU - 95,7° BT	33	6,5	VII	Kerusakan infrastruktur di Banda Aceh
3.	Lhok Semawe – Sigli	12/04/1967	5,3° LU - 97,3° BT	55	6,1	VIII	Tsunami melanda Lhok

No .	Nama Gempa	Tanggal	Pusat Gempa	Kedalaman (km)	Mag.	Skala MMI	Kerusakan
	(Tsunami)						Semawe dan Sigli
4.	Kutacane	20/6/1976	3,2° LU– 96,3° BT	33	6,1	VII	Kerusakan infrastruktur bangunan di Kutacane
5.	Banda Aceh	04/04/1983	5,8° LU– 93,27° BT	51	6,6	VI	Kerusakan infrastruktur bangunan di Kota Banda Aceh
6.	Blangjeren	15/11/1990	3,908° LU – 97,457° BT	33	6,8	VIII	1 orang meninggal dunia dan sebanyak 32 orang luka-luka di Blangkejeren
7.	Simeuleu	02/11/2002	5,7° LU – 97,1° BT	33	6,5	VII	2 orang meninggal dunia dan sebanyak 127 orang luka-luka di Pulau Simeulue
8.	Peureulak, Aceh Timur	22/01/2003	4,577° LU – 97,54° BT	33	5,7	V	Sebanyak 31 bangunan rusak parah dan 26 bangunan rusak ringan di Rantau

No .	Nama Gempa	Tanggal	Pusat Gempa	Kedalaman (km)	Mag.	Skala MMI	Kerusakan
							Peureulak
9.	Nanggroe Aceh Darussalam (NAD)	26/12/2004	3,307° LU– 95,947° BT	30	9	VIII	Lebih dari 265.000 korban jiwa di Provinsi Aceh dan di bagian pantai Barat Sumatera Utara
10.	Cot Glie, Aceh Besar	05/10/2005	5,2°LU- 95,6°BT	10	5,7	V	Terjadi kerusakan infrastruktur di Pulau Simeulue.
11.	Simeulue	01/02/2006	2,744°LU– 96,059°BT	10	5,9	V	Beberapa infrastruktur rusak di Pulau Simeulue
12.	Simeulue	21/02/2008	2,58° LU – 95,99° BT	30	7,3	VI	25 orang mengalami luka-luka dan 3 orang meninggal dunia di Pulau Simeulue.
13.	Takengon	28/01/2010	4,82°LU - 96,78°BT	10	5,0	II - VI	Beberapa bangunan mengalami kerusakan yang ringan hingga parah dan ruas jalan

No .	Nama Gempa	Tanggal	Pusat Gempa	Kedalaman (km)	Mag.	Skala MMI	Kerusakan
							yang retak
14.	Geumpang, Pidie	22/01/2013	4,935° LU – 96,172° BT	37,3	5,9	VI	Sebanyak 1 orang meninggal dunia, 8 orang mengalami luka-luka, kerusakan pada 14 rumah di Pidie dan retakan pada sejumlah ruas jalan serta 20 titik lokasi longsor di jalan Tangse – Mane.
15.	Aceh Tengah	02/07/2013	4,698° LU – 96,687° BT	10	6,1	VI	Sebanyak 42 orang meninggal dunia dan longsor yang menutup ruas jalan Bireun – Takengon
16.	Tangse, Pidie	22/10/2013	5,29°LU - 95,42°BT	10	5,6	III - V	Sebanyak 1 orang meninggal dunia dan beberapa infrastruktur

No .	Nama Gempa	Tanggal	Pusat Gempa	Kedalaman (km)	Mag.	Skala MMI	Kerusakan
							mengalami kerusakan.

II.3 Gempa Bumi

Gempabumi (*earthquake*) merupakan pergerakan lempeng-lempeng tektonik yang menyebabkan bergetar atau berguncangnya bumi karena pergeseran atau pergerakan lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba. Gempabumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik disebut sebagai gempabumi tektonik, adapun gempabumi yang disebabkan karena pengaruh dari aktifitas gunungapi disebut sebagai gempabumi vulkanik (Sunarjo *et al.*, 2012).

Penyebab gempabumi dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu akibat dari jatuhnya meteorit, ledakan bom, tanah longsor, dan letusan gunung berapi. Namun umumnya gempabumi disebabkan oleh pergerakan secara tiba-tiba oleh kerak bumi di sepanjang bidang sesar (Husein, 2016).

Berdasarkan teori *Elastic Rebound* yang dikemukakan oleh seismolog H. F. Reid, menurut teori ini gempabumi (*earthquake*) merupakan peristiwa alam yang disebabkan oleh adanya deformasi pada batuan yang ada di litosfer. Energi yang terakumulasi pada batuan yang mengalami deformasi akan mencapai batas maksimum daya dukung batuan sehingga mengakibatkan terjadinya pelepasan energi dan menimbulkan patahan ataupun rekahan (Simanjuntak dan Olymphia., 2017).

Dampak yang diakibatkan oleh guncangan gempa bumi sangat dahsyat karena getarannya mampu menjangkau wilayah yang sangat luas, baik itu batas teritorial negara maupun antar benua. Getaran gempa bumi yang merambat ke segala arah dan sangat kuat sehingga seringkali menimbulkan kerusakan bangunan-bangunan sipil bahkan mengakibatkan adanya korban jiwa. Gempa bumi juga mampu menimbulkan bencana alam lainnya yang lebih parah baik itu berupa tanah longsor maupun gelombang tsunami (Sunarjo *et al.*, 2012).

Jenis-jenis gempa bumi berdasarkan sumber terjadinya gempa, dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sunarjo *et al.* 2012):

- 1) Gempa bumi vulkanik yang disebabkan oleh gejala vulkanisme berupa peningkatan aktivitas gas ataupun magma di dalam dapur magma sehingga mengakibatkan adanya ledakan yang disertai dengan gempa bumi.
- 2) Gempa bumi runtuh disebabkan oleh pergerakan atau perpindahan sejumlah massa permukaan tanah ataupun gua runtuh yang dapat menimbulkan adanya getaran gempa bumi.
- 3) Gempa bumi tektonik merupakan jenis gempa bumi yang diakibatkan oleh adanya pergeseran ataupun sesar pada bagian lempeng bumi yang disebabkan oleh adanya *stress* ataupun tegangan yang bekerja secara terus menerus.
- 4) Gempa bumi buatan merupakan gempa bumi yang terjadi karena aktivitas manusia seperti, ledakan nuklir maupun dinamit.
- 5) Gempa bumi yang disebabkan oleh jatuhnya meteor ke permukaan bumi.

Jenis-jenis gempa bumi yang diklasifikasikan berdasarkan magnitudo adalah sebagai berikut (Mujahid dan Hutapea., 2018):

Tabel 2. 2 Klasifikasi gempabumi berdasarkan magnitudo (BMKG., 2018)

No.	Klasifikasi Gempabumi	Magnitudo
1.	Gempabumi sangat besar (<i>Great Earthquake</i>)	M > 8,0
2.	Gempabumi Besar (<i>Major Earthquake</i>)	7,0 – 7,9
3.	Gempabumi Kuat (<i>Strong Earthquake</i>)	6,0 – 6,9
4.	Gempabumi Sedang (<i>Moderate Earthquake</i>)	5,0 – 5,9
5.	Gempabumi Ringil (<i>Light Earthquake</i>)	4,0 – 4,9
6.	Gempabumi Kecil (<i>Minor Earthquake</i>)	3,0 – 3,9

Untuk setiap peristiwa gempabumi akan menghasilkan gelombang seismik yang dapat dideteksi oleh alat seismogram. Alat tersebut akan menghasilkan informasi seismik yang kemudian diolah dan dianalisis sehingga menjadi parameter gempabumi. Adapun parameter gempabumi terdiri dari (Shohaya *et al.*, 2013):

- 1) *Origin Time* (waktu terjadinya) merupakan waktu yang menunjukkan terjadinya sesar ataupun pergerakan yang mengakibatkan terjadinya pelepasan energi dan penjalaran gelombang seismik.
- 2) Kedalaman sumber gempabumi, adalah ukuran kedalaman terjadinya sesar ataupun runtuh di dalam bumi. Ukuran ini terbagi atas 3, yaitu dangkal, menengah, dan dalam yang nilainya bergantung pada keadaan tektonik lokasi kejadian gempabumi.
- 3) Hiposenter adalah lokasi yang menjadi pusat gempabumi di dalam bumi sedangkan episenter merupakan titik di permukaan bumi yang menjadi hasil refleksi tegak lurus dari sumber gempa di dalam bumi (hiposenter).

- 4) Magnitudo merupakan ukuran besarnya kekuatan yang berupa energi seismik yang dipancarkan pada peristiwa gempabumi. Skala magnitudo terdiri dari beberapa macam, yaitu *Magnitude Local* (MI), *Magnitude Body* (Mb), *Magnitude Surafce* (Ms), dan *Magntude Moment* (Mw).

II.4 Magnitudo Gempabumi

Magnitudo merupakan besaran yang menggambarkan ukuran dari kekuatan gempabumi dan menunjukkan besarnya energi seismik yang dikeluarkan dari guncangan gempabumi yang terekam oleh alat seismogram. Adapun 5 macam magnitudo yang digunakan sampai saat ini adalah *Magnitude Body* (Mb), *Magnitude Surface* (Ms), *Magnitude Local* (MI), dan *Magnitude Momen* (Mw) (Husein.,2016).

II.4.1 *Magnitude Local* (MI)

Di awal tahun 1930-an seorang peneliti bernama Richter untuk pertama kalinya memperkenalkan magnitude lokal dengan menggunakan data gempabumi di California yang direkam oleh alat *seismograph* Woods-Anderson. Menurut Richter dengan mengetahui jarak antara episenter gempabumi dengan stasiun pencatat gempabumi atau seismograf dan menghitung besarnya amplitude maksimum dari sinyal yang tercatat pada alat seismograf maka dapat dilakukan pendekatan untuk mengetahui besarnya energi yang dihasilkan dari suatu kejadian gempabumi (Pawirodikromo., 2012).

Standar episenter dari magnitudo lokal adalah 100 km. Sehingga untuk gempa yang memiliki episenter lebih besar atau lebih kecil dari 100 km maka

digunakan sistem nomograph yang bertujuan untuk menormalisasi amplitude bumi baik jauh maupun dekat dari 100 km bergantung pada pelemahan energi (atenuasi) seismik di wilayah California. Tidak hanya itu, *magnitude local* juga akan mengalami saturasi pada gempa yang memiliki energi > 6,5 skala richter (Pawirodikromo., 2012).

II.4.2 Magnitude Body (Mb)

Karena adanya keterbatasan jarak dalam penggunaan *magnitude local* sehingga diperlukan besaran lain untuk merepresentasikan besarnya energi seismik yang dihasilkan dari kejadian gempabumi. Sehingga dihasilkanlah *magnitude body* yang mekanisme dari magnitudo ini menggunakan catatan amplitudo dari gelombang primer (*P-wave*) yang menjalar di dalam bumi. (Pawirodikromo., 2012).

II.4.3 Magnitude Surface (Ms)

Magnitude Surface merupakan hasil perhitungan terhadap *surface wave*, yang mana gelombang permukaan akan mendominasi seismogram periode panjang (*long-period seismograph*) pada gempabumi yang memiliki jarak lebih dari 600 km dan merupakan gempabumi dangkal. Namun, magnitudo ini akan mengalami saturasi pada gempabumi yang memiliki energi seismik > 8 SR. *Magnitude surface* tidak memerlukan koreksi kedalaman karena pada kasus gempabumi dalam (*deep earthquake*) tidak terdapat gelombang permukaan (Pawirodikromo., 2012).

II.4.4 Magnitude Moment (Mw)

Energi yang dilepaskan oleh gempa bumi berkaitan dengan kekuatan gempa bumi. Bentuk penjarannya ini berupa gelombang yang merambat baik ke permukaan bumi maupun ke dalam bumi. Gelombang yang merambat tersebut akan mengalami atenuasi akibat dari penyerapan energi oleh batuan atau material yang dilaluinya. Sehingga energi gempa bumi yang tercatat di seismogram kurang mampu merepresentasikan energi gempa bumi yang sesungguhnya yang ada di hiposenter (Pawirodikromo., 2012).

Berdasarkan teori *Elastic Rebound* yang dikemukakan oleh H.F Rheid (1906) diperkenalkan istilah *seismic moment* atau momen seismik. Pengukuran seismik moment ini menggunakan dimensi pergeseran patahan atau sesar yang tercatat di seismograf (Pawirodikromo., 2012).

Berikut ini merupakan persamaan matematis untuk mengonversi Ms, Mb, Ml, dan Md ke Mw:

Tabel 2. 3 Rumus Konversi Magnitudo Momen

1.	$M_w = 0,67 \times M_s + 2,13$ $M_s \leq 6,47$	(Giacomo <i>et al.</i> , 2014)
2.	$M_w = 1,10 \times M_s - 0,67$ $M_s > 6,47$	(Giacomo <i>et al.</i> , 2014)
3.	$M_w = (1,38 \times M_b) - 1,79$ $4,6 < M_b < 6,5$	(Giacomo <i>et al.</i> , 2014)
4.	$M_w = 0,953 M_l + 0,422$ $3,9 \leq M_l \leq 6,8$	(Yenier <i>et al.</i> , 2008)
5.	$M_w = 0,764 M_d + 1,379$ $3,7 \leq M_d \leq 6,0$	(Yenier <i>et al.</i> , 2008)

(2.1)

Meskipun penggunaan skala *magnitude moment* dapat merepresentasikan secara akurat besarnya energi seismik yang dipancarkan di sumber gempa bumi, akan tetapi pengukuran magnitudo ini lebih rumit dibandingkan skala magnitudo yang lainnya. Oleh karena itu, penggunaannya lebih minim daripada skala magnitudo M_l , M_b dan M_s .

II.5 a-Value dan b-Value

a-value merupakan parameter yang nilainya berasal dari relasi Gutenberg-Richter, yaitu $\log N(M) = a' - bM$, dimana $a' = a - \log(b \ln 10)$. Sehingga, didapatkan persamaan *a-value* adalah sebagai berikut:

$$a = \log N(M) + \log(b \ln 10) + b M_0 \quad (2.2)$$

Nilai a atau *a-value* bergantung pada periode pengamatan, luas wilayah penelitian dan aktivitas seismik di wilayah tersebut. Parameter *a-value* menunjukkan tingkat keaktifan seismik pada suatu daerah, tingkat keaktifan seismik tersebut juga dipengaruhi oleh kerapuhan batuan setempat. Wilayah yang memiliki nilai a yang tinggi maka wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi. Begitupun sebaliknya, jika suatu daerah memiliki nilai a yang rendah maka aktivitas seismiknya juga rendah

B-value merupakan konstanta atau parameter tektonik pada suatu wilayah penelitian. Suatu wilayah yang memiliki *b-value* tinggi maka wilayah tersebut memiliki kerapuhan batuan yang tinggi. Sehingga dapat dikatakan bahwa *b-value* menunjukkan jumlah relatif dari kejadian gempa bumi bermagnitudo kecil hingga gempa bumi bermagnitudo besar dan nilai ini biasanya mendekati 1. Aktifitas

seismisitas suatu wilayah dapat diamati melalui *Frequency-Magnitude Distribution* (FMD) yang merupakan hubungan pangkat (*power law*). Secara umum, nilai b mendekati 1, yang berarti 10 kali penurunan aktivitas terkait dengan kenaikan dalam tiap unit magnitudo (Rohadi *et al.*, 2008).

Nilai b atau *b-value* merupakan suatu konstanta yang nilainya bergantung pada karakteristik tektonik dan tingkat *stress* atau struktur material dari suatu daerah. Wilayah yang memiliki *b-value* yang rendah dan keaktifan seismiknya juga rendah, maka wilayah tersebut berpotensi untuk mengalami guncangan gempa bumi dengan magnitudo yang besar di masa yang akan datang. Begitu pula sebaliknya, jika wilayah tersebut memiliki nilai b yang tinggi dan keaktifan seismiknya pun tinggi, maka kekuatan atau magnitudo gempa bumi yang akan dilepaskan bernilai rendah (Harime *et al.*, 2017).

II.5.1 Metode *Maximum Likelihood*

Metode *maximum likelihood* merupakan salah satu metode statistik yang umum digunakan dalam pemecahan masalah di bidang seismologi. Jika suatu fungsi probabilitas $f(x, \theta)$ bergantung pada parameter θ , maka bersesuaian dengan fungsi likelihood yang didefinisikan sebagai berikut (Graybill., 1961):

$$P(x, \theta) = f(x_1, \theta), f(x_2, \theta) \dots f(x_n, \theta) \quad (2.3)$$

Estimasi *maximum likelihood* dari θ adalah fungsi maksimum $P(x_1, \theta)$ untuk perhitungan yang bersesuaian. Turunan dari $\log P(x_1, \theta)$ umumnya untuk memperoleh harga maksimum dari θ (Bain dan Engelhardt., 1992):

$$\frac{\partial \ln P}{\partial \theta} = 0 \quad (2.4)$$

Menurut Aki (1965) metode ini digunakan dalam mengatasi masalah yang berkaitan dengan hubungan frekuensi gempa bumi dan magnitudo. Adapun suatu fungsi distribusi probabilitas M dapat didefinisikan ke dalam bentuk:

$$F(M, b') = b' \cdot e^{-b'(M_i - M_o)} ; M_i > M_o \quad (2.5)$$

dengan $b' = b \ln 10$

Sehingga fungsi *likelihood* yang ditunjukkan adalah sebagai berikut:

$$P = (b')^N \cdot \exp[-b' (\sum_i^N M_i - NM_o)] \quad (2.6)$$

Merujuk pada persamaan 2.6, estimasi *maximum likelihood* dari *b-value* adalah sebagai berikut (Utsu, 1965):

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_o} \quad (2.7)$$

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i N_i}{\sum_{i=1}^n n} \quad (2.8)$$

dengan, \bar{M} = Magnitudo rata-rata

b = Estimasi tingkat kerapuhan batuan

M_o = Nilai magnitudo minimum

M_i = Jumlah magnitudo data ke- i

N_i = Jumlah frekuensi gempa data ke- i

$e = 2,71828$

$\log e = 0,4343$

II.6 Formulasi Inversi Linier

Antara data dan parameter model adalah bersifat linier sehingga pemodelan inversinya disebut sebagai inversi linier. Variabel atau parameter yang terlibat dinyatakan dalam bentuk vektor atau matriks untuk memformulasikan

permasalahan inversi secara lebih umum. Dimana (**d**) merupakan data dan (**m**) merupakan model yang mana masing-masing variabel tersebut dinyatakan dalam vector berikut (Grandis., 2009):

$$\mathbf{d} = [d_1, d_2, d_3, \dots, d_N]^T \quad (2.9)$$

$$\mathbf{m} = [m_1, m_2, m_3, \dots, m_M]^T \quad (2.10)$$

Sehingga hubungan antara data dan parameter model dapat dinyatakan dalam rumus berikut:

$$\mathbf{d} = \mathbf{g}(\mathbf{m}) \quad (2.11)$$

g merupakan fungsi dari *forward modelling* yang memungkinkan kita memprediksi data untuk suatu model **m** tertentu.

Adapun setiap komponen pada persamaan (2.11) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_1(m_1, m_2, \dots, m_M) \\ g_2(m_1, m_2, \dots, m_M) \\ \vdots \\ g_N(m_1, m_2, \dots, m_M) \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

g_i menyatakan “fungsi” prediksi data elemen ke- i hasil perhitungan fungsi pemodelan kedepan **g** sebagai fungsi model **m**. Fungsi g_i pada dasarnya adalah fungsi yang sama untuk semua $i = 1, 2, \dots, N$. Perbedaannya, fungsi tersebut dihitung untuk variabel bebas tertentu sehingga berasosiasi dengan komponen data tertentu.

Suatu fungsi linier yang menghubungkan data dengan parameter model dinyatakan dalam bentuk persamaan matriks sebagai berikut (Grandis., 2009):

$$\mathbf{d} = \underline{\mathbf{G}}\mathbf{m} \quad (2.13)$$

atau

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \cdots & G_{1M} \\ G_{21} & G_{22} & \cdots & G_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{N1} & G_{N2} & \cdots & G_{NM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_M \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Adapun $\underline{\mathbf{G}}$ merupakan matriks yang berordo $N \times M$ yang biasa disebut sebagai matriks kernel.

Dikarenakan matrik $\underline{\mathbf{G}}$ belum tentu berupa matriks bujur sangkar sehingga parameter model \mathbf{m} tidak dapat diperoleh secara langsung hanya dengan melakukan inversi matriks. Perkalian matriks diatas dapat pula dinyatakan dalam bentuk notasi somasi atau penjumlahan seperti berikut ini:

$$d_i = \sum_{j=1}^M G_{ij} m_j ; i = 1, 2, \dots, N \quad (2.15)$$

Penyelesaian persamaan (2.11) sampai persamaan (2.15) merupakan proses untuk *forward modelling*.

Adapun untuk penyelesaian inversi yaitu memperkirakan parameter model \mathbf{m} yang memiliki data kalkulasi yang cocok dengan data observasi di lapangan. Sehingga digunakan metode *least square* untuk memperoleh solusi dari parameter model \mathbf{m} . Data hasil observasi disimbolkan dengan d_i dan data kalkulasi dinyatakan pada ruas kanan persamaan di bawah ini:

$$E = \sum_{i=1}^N (\sum_{j=1}^M G_{ij} m_j - d_i)^2 \quad (2.16)$$

Persamaan (2.16) dapat pula ditulis dalam bentuk yang lebih eksplisit seperti pada persamaan berikut:

$$E = \sum_{i=1}^N (\sum_{j=1}^M G_{ij} m_j - d_i) (\sum_{k=1}^M G_{ik} m_k - d_i) \quad (2.17)$$

Atau seperti persamaan (2.18) di bawah ini:

$$E = \mathbf{e}^T \mathbf{e} = [\mathbf{d} - \underline{\mathbf{G}} \mathbf{m}]^T [\mathbf{d} - \underline{\mathbf{G}} \mathbf{m}] \quad (2.18)$$

Persamaan (2.17) kemudian diperkalikan sehingga menghasilkan:

$$E = \sum_{i=1}^N d_i d_i - 2 \sum_{j=1}^M m_j \sum_{i=1}^N G_{ij} d_i + \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M m_j m_k \sum_{i=1}^N G_{ij} G_{ik} \quad (2.19)$$

Kemudian persamaan (2.19) diturunkan terhadap m_q , sehingga menghasilkan persamaan (2.20) seperti dibawah ini:

$$\frac{\partial E}{\partial m_q} = -2 \sum_{i=1}^N G_{iq} d_i + 2 \sum_{k=1}^M m_k \sum_{i=1}^N G_{ij} G_{ik} \quad (2.20)$$

Karena hasil dari $\frac{\partial E}{\partial m_q} = 0$, maka persamaan diatas menjadi:

$$0 = -2 \sum_{i=1}^N G_{iq} d_i + 2 \sum_{k=1}^M m_k \sum_{i=1}^N G_{ij} G_{ik} \quad (2.21)$$

Kemudian persamaan (2.20) dituliskan menggunakan notasi matriks, seperti di bawah ini:

$$0 = 2 (- \underline{\mathbf{G}}^T \mathbf{d} + \underline{\mathbf{G}}^T \underline{\mathbf{G}} \mathbf{m}) \quad (2.22)$$

Persamaan di atas kemudian disusun sedemikian rupa sehingga memperoleh parameter model \mathbf{m} sebagai solusi inversi linier (Grandis., 2009)

$$\mathbf{m} = [\underline{\mathbf{G}}^T \underline{\mathbf{G}}]^{-1} \underline{\mathbf{G}}^T \mathbf{d} \quad (2.23)$$

II.7 PGA (*Peak Ground Acceleration*)

Percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* merupakan besarnya nilai percepatan tanah yang paling tinggi dalam periode tertentu akibat getaran gempabumi yang pernah terjadi pada suatu wilayah. Efek terparah yang dapat dialami oleh suatu daerah yang diguncang gempabumi dapat diketahui berdasarkan data PGA wilayah tersebut (Massinai *et al.*, 2016).

Percepatan tanah maksimum merupakan parameter yang menyatakan perubahan kecepatan pergerakan tanah perselang waktu mulai dari dalam keadaan

diam hingga mencapai kecepatan tertentu. Adapun faktor yang mempengaruhi PGA ialah, sumber gempa bumi (jenis sesar, magnitudo, dan hal lain yang berkaitan dengan titik sumber gempa bumi), jalur penjalaran gelombang termasuk jarak hiposenter) serta keadaan geologi setempat. Berdasarkan hal tersebut, menyebabkan adanya perbedaan nilai PGA di setiap wilayah yang berkaitan dengan kondisi geologi lokasi (Ulfiana *et al.*, 2018).

Setiap kejadian gempa memiliki percepatan tanah maksimum. Percepatan tanah maksimum atau PGA dipetakan dengan tujuan agar memiliki pengetahuan yang lebih baik mengenai dampak paling parah dari suatu lokasi yang diguncang gempa bumi. *Peak Ground Acceleration* (PGA) merupakan nilai percepatan tanah tertinggi yang pernah tercatat di suatu lokasi akibat guncangan gempa bumi. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi di suatu lokasi maka semakin parah pula dampak gempa bumi yang akan ditimbulkan. Percepatan tanah merupakan komponen terpenting yang mempengaruhi desain bangunan, terkhususnya pada struktur bangunan tahan gempa (Putri *et al.*, 2017).

II.8 Rumus Empiris PGA

Besarnya nilai percepatan tanah maksimum pada suatu wilayah dapat diketahui baik melalui hasil pengamatan alat *accelograph* maupun berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumusan empiris atau yang biasa disebut sebagai *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE). Tidak dapat dipungkiri, bahwa perkembangan *accelograph* diberbagai negara telah meningkat pesat mulai dari proses perekaman hingga analisis hasil perekaman pergerakan tanah. Banyak peneliti juga yang telah melakukan perhitungan nilai *Peak Ground Acceleration*

(PGA) menggunakan model empiris yang telah dikembangkan dari berbagai negara yang didasarkan pada kondisi geologi maupun tektonik dari negara tersebut. Adapun negara-negara yang sering terjadi gempa bumi seperti Jepang, California, Meksiko dan wilayah bagian selatan Amerika, negara-negara tersebut sudah memiliki rumus ataupun model empiris PGA yang sesuai dengan keadaan wilayahnya. Akan tetapi beberapa negara seperti Indonesia belum memiliki model empiris tersendiri yang sesuai dengan kondisi yang ada di Kepulauan Indonesia. Hal ini dikarenakan minimnya data hasil perekaman pergerakan tanah yang dimiliki untuk beberapa tahun sebelumnya hingga masa sekarang (Leviana *et al.*, 2017). Besarnya percepatan tanah dapat dihitung menggunakan akselograf, namun dikarenakan jaringan akselograf yang masih kurang memadai baik dari segi periode waktu maupun tempatnya, maka perhitungan nilai percepatan tanah menggunakan pemodelan empiris sangat perlu untuk dilakukan (Kapojos *et al.*, 2015).

Meskipun belum ada model empiris untuk wilayah Indonesia, namun banyak pula peneliti yang telah melakukan pemodelan GMPE (*Ground Motion Prediction Equation*) untuk beberapa daerah yang ada di Indonesia. Pemodelan GMPE (*Ground Motion Prediction Equation*) tersebut dikembangkan dari model empiris negara lain yang memiliki keadaan wilayah yang mirip dengan Indonesia seperti model empiris Mc. Guirre (1963), Fukushima dan Tanaka (1990), Campbell (1981), Donovan (1973) dan sebagainya. Dengan begitu muncullah berbagai macam estimasi perhitungan PGA yang didasarkan pada model empiris yang sesuai dengan lokasi penelitian.

Metode empiris merupakan metode yang digunakan untuk menghitung nilai *peak ground acceleration* menggunakan model atau rumus empiris yang telah dibuat oleh para peneliti sebelumnya. Adapun model empiris yang digunakan dalam perhitungan percepatan tanah adalah sebagai berikut (Douglas., 2021):

1) Rumus Empiris Donovan (1973)

$$\alpha = b_1 \text{Exp} (b_2 \times M_s) \times (R+25)^{-b_3} \quad (2.24)$$

Keterangan :

α = Percepatan gerakan tanah (gal)

$b_1 = 1080$

$b_2 = 0,5$

$b_3 = 1,32$

$M_s = \text{Magnitude surface}$

$R = \text{Jarak Hiposenter (km)}$

Rumusan empiris Donovan (1973) merupakan model empiris yang telah banyak digunakan oleh peneliti untuk perhitungan PGA di berbagai wilayah Indonesia. Romadiana *et al.* (2018) melakukan investigasi dalam menganalisis nilai percepatan tanah maksimum di wilayah Sumatra Barat dengan menggunakan metode Donovan. Selain itu, Kapojos *et al.* (2015) juga telah menggunakan metode Donovan dalam penyelidikannya untuk menganalisis percepatan pergerakan tanah di wilayah Semenanjung Utara Pulau Sulawesi. Kemudian, Elsi Ariani (2020) melakukan analisis nilai *peak ground acceleration* dan intensitas gempabumi menggunakan metode Donovan di wilayah Provinsi Banten. Di tahun

yang sama pula, Kusumawardani *et al* (2020) melakukan penelitian di Pulau Lombok mengenai analisis PGA menggunakan beberapa metode empiris yang salah satunya adalah model empiris Donovan. Rumusan empiris ini juga digunakan untuk menentukan besarnya nilai PGA suatu wilayah yang memiliki keadaan tektonik subduksi. Adapun model empiris Donovan ini diadaptasi dari hasil rekaman gempabumi yang terjadi di San Fernando pada 9 Februari 1971 dan 53% data hasil rekaman gempabumi yang memiliki PGA kurang dari $0,5 \text{ m/s}^2$ (Douglas., 2021).

2) Rumusan Empiris Fukushima & Tanaka (1990)

$$\text{Log } \alpha = (b_1 \times M_s) - \text{Log} (R + b_2 \times 10^{b_1 \times M_s}) - (b_3 \times R) + b_4 \quad (2.25)$$

Keterangan :

α = Percepatan gerakan tanah (gal)

$b_1 = 0,41$

$b_2 = 0,032$

$b_3 = 0,0034$

$b_4 = 1,30$

$M_s = \text{Magnitude surface}$

$R = \text{Jarak Hiposenter (km)}$

Rumusan Fukushima & Tanaka merupakan model empiris yang pernah digunakan di Jepang, dengan kondisi tektoniknya yang berupa *subduction zone* dan zona sesar geser (Putri *et al.*, 2017).

3) Rumusan Empiris Mc. Guirre (1963)

$$\alpha = b_1 \times 10^{b_2 \times M_s} \times (R + 25)^{-b_3} \quad (2.26)$$

Keterangan :

α = Percepatan gerakan tanah (gal)

$b_1 = 472,3$

$b_2 = 0,278$

$b_3 = 1,301$

$M_s = \text{Magnitude surface}$

$R = \text{Jarak Hiposenter (km)}$

Pertama kalinya model empiris ini digunakan untuk menghitung besarnya nilai *peak ground acceleration* di California tepatnya pada patahan San Andreas yang memiliki panjang 1.300 km. Patahan San Andreas ini merupakan patahan transform yang ada di daratan, sama halnya seperti Sesar Besar Sumatera (*The Great Sumatera Faults*) yang membentang dari Teluk Semangko di Lampung hingga ke Aceh (Pawirodikromo., 2012).

4) Rumusan Empiris Campbell (1981)

$$\alpha = b_1 \exp(b_2 \times M_s) \times (R + b_3 \exp(b_4 \times M_s))^{-b_5} \quad (2.27)$$

Keterangan :

α = Percepatan gerakan tanah (gal)

$b_1 = 0,0159$

$b_2 = 0,868$

$b_3 = 0,0606$

$b_4 = 0,70$

$$b_5 = 1,09$$

M_s = *Magnitude surface*

R = Jarak Hiposenter (km)

Campbell (1981) melakukan studi tentang atenuasi percepatan gempa berdasarkan terjadinya gempabumi *interplate* kerak dangkal. Terutama terjadi di pantai barat Amerika Serikat, dengan kedalaman gempa > 25 km. Gempa yang diamati adalah gempa yang relatif dekat dengan sumbernya (*near source*), dengan jarak episenternya berkisar 30 – 50 km. Sejumlah data gempa dari berbagai negara (*world wide*) digunakan sebagai bahan kajian. Campbell (1981) menganggap bahwa meskipun beberapa data yang berasal dari luar Amerika Serikat adalah gempabumi di sepanjang batas lempeng (*subduction zone*) tetapi secara umum kondisinya agak mirip dengan gempabumi *interplate* yang terjadi di pantai barat Amerika Serikat (Tati dan Ilman, 2017).

II. 9 Skala Intensitas Gempabumi

Intensitas gempabumi adalah skala kualitatif yang menunjukkan efek atau dampak dari guncangan gempabumi yang didasarkan pada hasil pengamatan terhadap struktur bangunan, manusia, dan lingkungan di lokasi penelitian (Sulaeman dan Cipta., 2012).

Hubungan antara intensitas dan percepatan tanah ialah semakin besarnya nilai percepatan getaran tanah yang pernah terjadi di suatu tempat, maka semakin besar pula bahaya dan resiko gempabumi yang mungkin terjadi (Suwandi *et al.*, 2017). Adapun variabel yang mempengaruhi intensitas gempabumi yaitu:

magnitudo gempa bumi, jarak terhadap hiposenter atau episenter, jenis batuan pada permukaan bumi, jenis dan desain konstruksi bangunan, serta durasi getaran (Husein., 2016).

Umumnya daerah episenter memiliki intensitas yang terbesar dan akan menurun seiring dengan pertambahan jarak ke semua arah. Para peneliti akan dikirim ke wilayah yang terkena dampak guncangan gempa bumi untuk melakukan pengamatan secara langsung potensi kerusakan yang terjadi. Intensitas kerusakan yang disebabkan oleh efek guncangan gempa bumi dinyatakan dalam skala. Adapun skala intensitas kerusakan yang umum digunakan adalah skala *Modified Mercally Intensity* (MMI) atau yang biasa disebut skala intensitas Mercalli. Sementara itu, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menetapkan Skala Intensitas Gempabumi (SIG) yang didasarkan pada tipikal bangunan di Indonesia. Skala SIG ini disusun lebih sederhana yang hanya memiliki lima tingkatan yaitu I – V, seperti yang tercantum pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Skala Intensitas Gempabumi (SIG) BMKG (BMKG., 2021)

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN (<i>Not Felt</i>)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat	I - II	< 2,9
II	Hijau	DIRASAKAN (<i>Felt</i>)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakn. Benda-	III - V	2,9 – 88

			benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar		
III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN (<i>Slight Damage</i>)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, atap bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan	VI	89-167
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG (<i>Moderate Damage</i>)	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar atap bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII - VIII	168 - 564
V	Merah	KERUSAKAN BERAT (<i>Heavy Damage</i>)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung	IX - XII	> 564

II.10 Metode Interpolasi

Kondisi lingkungan yang terkadang tidak mendukung serta luasnya cakupan wilayah dan keterbatasan dana dalam pengambilan data pengukuran di lapangan, sehingga pengambilan sampel pengukuran hanya dilakukan pada beberapa titik di lokasi penelitian. Sementara itu, dalam analisa spasial dibutuhkan data yang mencakup keseluruhan studi area. Sehingga, diperlukan upaya interpolasi untuk memprediksi nilai diantara titik pengukuran Metode interpolasi merupakan suatu metode untuk mencari data yang didasarkan pada data yang telah diketahui (Pramono., 2008).

Pada konteks distribusi spasial atau pemetaan, metode interpolasi digunakan untuk memperkirakan nilai pada wilayah yang tidak dilakukan pengukuran berdasarkan data sampel yang diperoleh dari hasil observasi, dengan begitu terbentuk peta sebaran nilai untuk keseluruhan wilayah (Pramono., 2008). Beberapa teknik interpolasi telah dikembangkan dalam *software* SIG ialah *Inverse Distance Weighting* (IDW) dan *Kriging* (Sejati., 2019).

Pada dasarnya teknik interpolasi menghitung estimasi pada beberapa wilayah atau daerah menggunakan rata-rata terbobot dari wilayah terdekat (Borrough dan McDonnell., 1998). Metode *kriging* merupakan metode interpolasi yang ditemukan oleh D.I. Krige yang digunakan untuk mengestimasi bahan tambang. Asumsi dari metode interpolasi *kriging* adalah jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial yang penting dalam hasil interpolasi. Metode interpolasi ini akan unggul digunakan jika mengetahui korelasi spasial

jarak dan orientasi dari data. Oleh karena itu, metode interpolasi *kriging* sering digunakan dalam bidang ketanahan dan geologi (Pramono., 2008).

Adapun persamaan umum dari *ordinary kriging* adalah sebagai berikut (Isaaks dan Srivastava., 1989) :

$$\hat{Z}(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i), \quad \text{dengan} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2.28)$$

dengan:

$Z(s)$ = nilai prediksi

λ_i = Faktor bobot

$Z(s_i)$ = nilai pengamatan ke-i

Metode interpolasi *kriging* menggunakan semivariogram yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. Semivariogram juga menunjukkan bobot (*weight*) yang digunakan dalam interpolasi (Pramono., 2008). Tahapan awal yang harus dilakukan dalam penentuan model semivariogram adalah membuat semivariogram ekperimental yang diperoleh dari data yang diketahui. Semivariogram eksperimental dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Cressie., 1993):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_{(s_i+h)} - Z_{(s_i)}]^2 \quad (2.29)$$

dengan:

s_i = lokasi titik sampel ke-i

$Z(s_i)$ = nilai pengamatan pada lokasi s_i

h = jarak antara 2 titik sampel

$s_i, s_i + h$ = pasangan titik sampel yang berjarak h

$N(h)$ = banyak pasangan data yang memiliki jarak h

Adapun semivariogram teoritis merupakan bentuk analisis lanjutan dari semivariogram eksperimental yang digunakan sebagai pembanding dari semivariogram eksperimental. Semivariogram teoritis yang digunakan adalah *spherical*, dengan rumus sebagai berikut (Cressie., 1993):

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} C \left(\left[\frac{3}{2} \right] \left[\frac{h}{a} \right] - \left[\frac{1}{2} \right] \left[\frac{h}{a} \right]^3 \right), & h < a \\ C & , h \leq a \end{cases} \quad (2.30)$$

dengan:

h = Jarak lokasi antar sampel.

C = Sill, yaitu nilai semivariogram pada saat tidak terjadi peningkatan yang signifikan (saat semivariogram cenderung mencapai nilai yang stabil).

a = Range, yaitu jarak pada saat nilai variogram mencapai sill.

Nilai bobot *ordinary kriging* dapat diperoleh melalui persamaan berikut (Webster dan Oliver., 2007):

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(s_1, s_1) & \cdots & \gamma(s_1, s_n) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(s_n, s_1) & \cdots & \gamma(s_n, s_n) & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \gamma(s_1, s_0) \\ \vdots \\ \gamma(s_n, s_0) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.31)$$

dengan :

S_0 = titik atau lokasi yang akan diduga

S_1, S_2, \dots, S_n = titik atau lokasi sampel yang diketahui nilainya

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ = bobot tiap lokasi tersampel

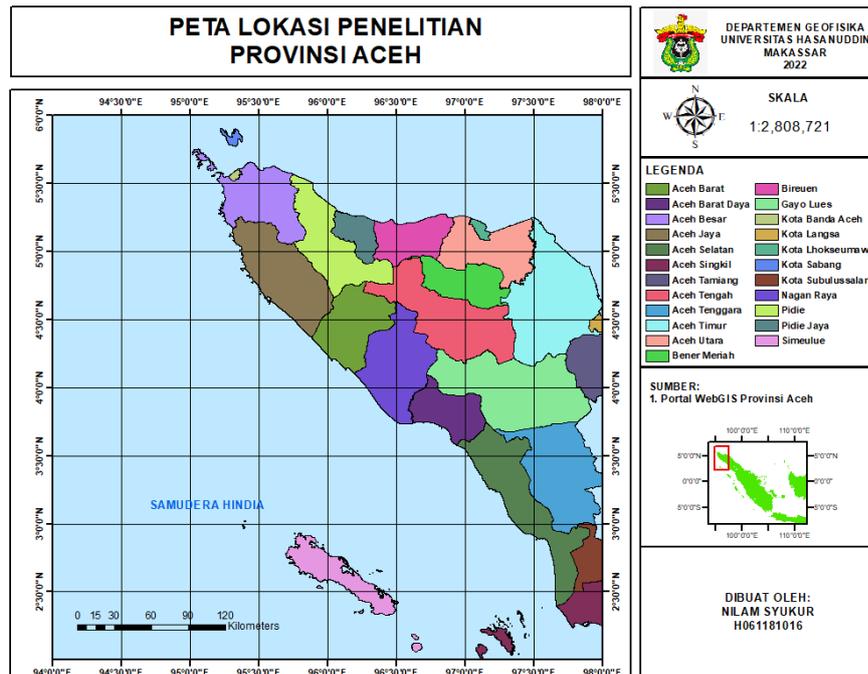
μ = Langrange multiplier

$\gamma(s_0)$ = semivariogram titik yang akan diduga

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.I Lokasi Penelitian



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian

Secara geografis wilayah Provinsi Aceh terletak di sebelah Utara Selat Malaka dan Laut Andaman, di sebelah Selatan berbatasan dengan Samudra Hindia, di sebelah Timur berbatasan Sumatra Utara, dan di sebelah Barat berbatasan dengan Samudra Hindia (Pemerintah Aceh, 2019).

Seperti pada Gambar 3.1, secara astronomis, Provinsi Aceh terletak pada $2,0^{\circ} - 6,0^{\circ}$ LU dan $94,0^{\circ} - 98,0^{\circ}$ BT. Berdasarkan letak astronomisnya, dapat diketahui bahwa kawasan Provinsi Aceh ini terletak di pertemuan dua lempeng, yakni Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, menyebabkan wilayah