

**ANALISIS TINGKAT RISIKO DAMPAK GEMPABUMI DI
KABUPATEN PESISIR BARAT MENGGUNAKAN METODE
*DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (DSHA)***

(Skripsi)

Oleh

**Haqqie Ramadhan
1615051035**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

**ANALISIS TINGKAT RISIKO DAMPAK GEMPABUMI DI
KABUPATEN PESISIR BARAT MENGGUNAKAN METODE
*DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (DSHA)***

Oleh
HAQQIE RAMADHAN

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

ANALISIS TINGKAT RISIKO DAMPAK GEMPABUMI DI KABUPATEN PESISIR BARAT MENGGUNAKAN METODE *DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS* (DSHA)

Oleh

HAQQIE RAMADHAN

Bencana gempabumi merupakan salah satu bencana alam yang dapat mengakibatkan banyak kerugian, baik dari kerugian fisik, ekonomi hingga korban jiwa. Kabupaten Pesisir Barat merupakan salah satu kabupaten di Indonesia yang terletak di daerah pesisir pantai, dan merupakan kabupaten yang dekat dengan sesar terpanjang di Pulau Sumatera, yaitu Sesar Semangko. Maka dari itu diperlukan adanya penelitian yang membahas mengenai langkah mitigasi bencana gempabumi pada Kabupaten Pesisir Barat. Penelitian metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)* dapat digunakan sebagai salah satu langkah mitigasi bencana gempabumi. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan 140 data gempabumi sekunder yang diperoleh dari website *USGS*. Analisis *DSHA* merujuk pada sumber gempa Sesar Semangko. Berdasarkan estimasi nilai *PGA* hasil perhitungan metode *DSHA* pada daerah penelitian, didapat nilai *PGA* batuan dasar $0,006g - 0,0622g$, dan nilai *PGA* batuan permukaan $0,0087g - 0,3523g$. Berdasarkan klasifikasi *NEHRP* (2000) kelas tanah pada Kabupaten Pesisir Barat termasuk ke dalam kelas tanah B ($180 - 360$) m/s, kelas tanah C ($360 - 760$) m/s dan kelas tanah D ($760 - 1500$) m/s. Berdasarkan analisis tingkat risiko gempabumi, Kabupaten Pesisir Barat didominasi dengan tingkat risiko rendah.

Kata Kunci: *Gempa bumi, mitigasi, PGA, V_{S30} , DSHA*

ABSTRACT

ANALYSIS OF RISK LEVEL OF THE IMPACT OF EARTHQUAKE IN PESISIR BARAT REGENCY USING DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (DSHA) METHOD

By

HAQQIE RAMADHAN

Earthquake disaster is one of the natural disasters that can cause a lot of losses, both from physical and economic losses to fatalities. Pesisir Barat Regency is one of the regencies in Indonesia which is located in the coastal area, and is a district that is close to the longest fault on Sumatera Island, namely the Semangko Fault. Therefore it is necessary to have research that discusses earthquake disaster mitigation measures in Pesisir Barat Regency. Research on the Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) method can be used as one of the earthquake disaster mitigation steps. The data used in this research is 140 secondary earthquake data obtained from the USGS website. The DSHA analysis refers to the source of the Semangko Fault earthquake. Based on the estimated PGA value calculated by the DSHA method in the study area, the bedrock PGA value was 0.006g – 0.0622g, and the surface rock PGA value was 0.0087g – 0.3523g. Based on the NEHRP classification (2000) the soil class in Pesisir Barat Regency is included in soil class B (180 – 360) m/s, soil class C (360 – 760) m/s and soil class D (760 – 1500) m/s . Based on an analysis of the level of earthquake risk, Pesisir Barat Regency is dominated by low risk levels.

Keywords: *Earthquake, mitigation, PGA, V_{S30} , DSHA*

Judul Skripsi : **ANALISIS TINGKAT RISIKO DAMPAK GEMPABUMI DI KABUPATEN PESIR BARAT MENGGUNAKAN METODE DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (DSHA)**

Nama Mahasiswa : Haqqie Ramadhan

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615051035

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si
NIP. 19730716 200012 1002

Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si
NIP. 19720626 200012 1001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 1001

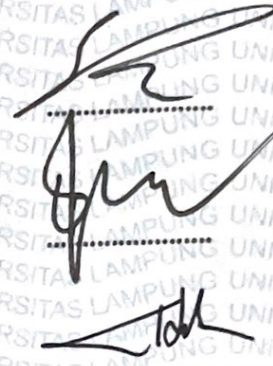
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si

Sekretaris : Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si

Anggota : Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si., I.PM.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. H. Helny Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1002

Tanggal Ujian Skripsi : 09 November 2022

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Haqqie Ramadhan

NPM : 1615051035

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 19 November 2022

Yang membuat pernyataan



Haqqie kamadhan

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Palembang pada tanggal 14 Desember 1999 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Dalmi SA dan Ibu Kartini. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Muhammadiyah 06 Palembang pada tahun 2011, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 19 Palembang pada tahun 2014, pendidikan Sekolah Menengah Atas di MA Negeri 2 Palembang yang diselesaikan pada tahun 2016.

Pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswa pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi di kampus. Pada tahun 2017 hingga 2018 penulis tercatat sebagai anggota aktif pada Bidang Sosial Budaya Masyarakat Himpunan Mahasiswa (HIMA) Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung. Pada tahun 2018 hingga 2019 penulis dipercaya sebagai Ketua Divisi Internal Himpunan Mahasiswa (HIMA) Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung dan menjadi anggota aktif pada divisi Internal Society of Exploration Geophysicist SC Universitas Lampung.

Pada bulan Januari hingga Februari tahun 2019 penulis melaksanakan Kerja Praktik di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG), Yogyakarta dengan judul **“Analisis Perbandingan Data Frekuensi Dominan Menggunakan Metode HVSR : Studi Kasus “Gunung Merapi di Daerah Yogyakarta”**”. Kemudian, pada bulan Juli hingga Agustus tahun 2019 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tampang Tua, Kecamatan Pematang Sawa, Kabupaten Tanggamus.

Pada bulan Juni tahun 2020 penulis melakukan penelitian Tugas Akhir (TA) di Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada bulan November tahun 2022 dengan judul skripsi **“Analisis Tingkat Risiko Dampak Gempabumi di Kabupaten Pesisir Barat Menggunakan Metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA)”**.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan berkat rahmat *Allah SWT.* Saya persembahkan skripsi ini kepada:

Ayah dan Ibu tercinta,

Dalmi SA. dan Kartini

Terima kasih atas doa, kasih sayang dan segala bentuk dukungan yang telah diberikan dengan sangat tulus kepada saya. Berkat pengorbanan dan jasa kalian lah yang menghantarkan saya ke titik ini. Semoga kelak saya dapat membahagiakan dan membanggakan keluarga.

Abang & Adik tersayang,

Aliief Agung Nauval dan Dinda Husnul Khotimah

Terima kasih atas do'a dan dukungan yang telah abang dan adik berikan. Terima kasih sudah menjadi panutan dan pelepas penat yang baik untuk penulis. Semoga kelak kita dapat membawa kebahagiaan dan kebanggaan pada orang tua dan keluarga.

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2016

Terimakasih atas do'a dan dukungan kalian selama ini. Terimakasih juga sudah menyambut, menerima, dan menjadi keluarga yang baik untuk saya di tanah rantau ini . Terimakasih untuk semua pengalaman dan pelajaran hidup, serta suka dan duka yang telah kita lalui bersama. Sukses selalu untuk kita semua.

Keluarga Besar Hayatudin dan Ratu Gamang

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

MOTTO

"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri"

(QS. Ar-Ra'd: 11)

"Insanity is doing the same thing over and over again and expecting different results"

(Albert Einstein)

"Cogito Ergo Sum"

(René Descartes)

"Jangan manja. Jangan minta dikasihani. Kerjakan sesuatu dengan maksimal"

(Syamsurijal Rasimeng)

"Kesia-siaan bermula dari ketidakhadiran Tuhan pada tiap-tiap keputusan"

(Haqqie R)

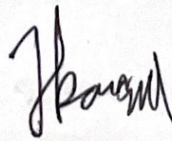
"Alive"

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kepada Allah SWT. atas limpahan rahmat, hidayah dan juga karunia-Nya Tak lupa shalawat dan juga salam yang selalu terucapkan kepada nabi Muhammad SAW yang menjadi panutan hidup sehingga skripsi berjudul “Analisis Tingkat Risiko Dampak Gempabumi di Kabupaten Pesisir Barat Menggunakan Metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA)” terselesaikan dengan baik. Skripsi ini dibuat sebagai bagian syarat penulis untuk dapat menyelesaikan studi sebagai Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung. pada Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bermanfaat guna pembaruan ilmu di masa yang akan datang terutama dalam bidang keilmuan Geofisika. Penulis sadar pada skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat menerima kritik dan saran yang bersifat membangun agar dapat lebih baik lagi untuk kedepannya.

Bandar Lampung, 19 November 2022

Penulis



Haqqie Ramadhan

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah dan juga karunia-Nya. Tak lupa shalawat dan juga salam yang selalu terucapkan kepada nabi Muhammad SAW yang menjadi panutan hidup sehingga skripsi berjudul “Analisis Tingkat Risiko Dampak Gempabumi di Kabupaten Pesisir Barat Menggunakan Metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA)” terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang telah melimpahkan berkah keimanan dan ketaatan serta hidayah yang terus menerus penulis harapkan untuk dihadirkan pada tiap aspek kehidupan penulis.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Dalmi SA dan Ibu Kartini yang tak henti-hentinya mendoakan, mendidik, berkorban dan mendukung penulis dalam segala hal.
3. Diri saya sendiri yang sudah berusaha dan bertahan sebaik mungkin sebagai manusia dan mahasiswa di tanah rantau.
4. Abang saya, Alief Agung Nauval yang sudah memberikan banyak dukungan, semangat dan menjadi panutan yang baik untuk penulis.
5. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
6. Bapak Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah memberikan arahan, bimbingan, ilmu, kritik dan saran untuk penulis.
7. Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir penulis yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan untuk penulis.

8. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
9. Dosen-dosen dan Staff Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang penulis hormati, yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama ini.
10. Desima Simanjuntak selaku Support System yang telah memberikan banyak sekali dukungan terutama dukungan emosional terhadap penulis.
11. Pupu Purnama, Puteri Indriyanni AF, Nadya Nur Ningtyas, Istifani Ferucha, Fikri Rahman, M. Ikhsan Fadhillah dan Kak Putri Amalia selaku tutor dan mentor yang telah menyampaikan ilmu dan arahan yang baik dalam penyelesaian skripsi ini. Terimakasih juga atas motivasi, semangat dan wejangan yang diberikan kepada penulis.
12. Arya, Ramos, Ahfas, Jaka, Alvin, Buyung, Igo, Mirza, Ripang, Fikri dan selaku Anggota Kontrakan Kontung dan GH yang telah menemani dan memberi warna pada hari-hari penulis selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
13. Fikri, Lintang, Ahfas, Alvin, Mufido, Detry dan Yola selaku Tim SARJANA TEKNIK yang telah membawa aura dan suasana kemahasiswaan selama penulis menjadi mahasiswa tingkat akhir.
14. Qodrit P. selaku teman sejati penulis yang paling setia menemani kemanapun penulis berkelana.
15. Pamungkas, Hindia, ROC, dan Danilla selaku musisi yang telah menciptakan karya indah yang menemani penulis di kala suntuk dan kantuk.
16. Keluarga besar Teknik Geofisika 2016, Arief, Arya, Ripang, Pupu, Umam, Tws, Mirza, Adli, Fikri, Yovan, Bebe, Ramos, Buyung, Mufido, Jaka, Alvin, Gege, Ahfas, Idzan, Bani, David, Fachrul, Lintang, Igo, Eko, Puteri, Ditha, Echa, Etri, Tiara, Zahra, Yola, Detri, Fristi, Kristin, Arel, Mach, Alia, Nadya, Puja, Dini, Desima, Tara, Clara, Iis, Suci A, Suci K, Fitria, Afifah, Fidel, Sarah, dan Ribka yang selalu memberikan dukungan serta semangat. Berkat dukungan dan bantuan kalian skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
17. Bantuan dari Kakak dan Adik tingkat Jurusan Teknik Geofisika Unila.
18. Serta semua pihak yang terlibat dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Semoga Allah SWT. mencatat dan mengganti semuanya sebagai amal

sholeh. Aamiin.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk kedepannya.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PERSETUJUAN	iv
PENGESAHAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Daerah Penelitian	3
2.2. Kondisi Geologi... ..	4
2.2.1. Geologi Regional.....	4
2.2.2. Stratigrafi	7

2.2.3. Topografi.....	8
III. TEORI DASAR.....	10
3.1. Gelombang Seismik	10
3.1.1. Gelombang Badan	10
3.1.2. Gelombang Permukaan.....	13
3.2. Zona Sumber Gempa.....	14
3.3. Mikrotremor.....	15
3.4. Amplifikasi	16
3.5. Kecepatan Gelombang Geser (V_{S30})	18
3.6. <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)</i>	19
3.7. Percepatan Tanah Maksimum (<i>PGA</i>).....	20
3.8. Fungsi Atenuasi.....	21
3.8.1. Boore – Atkinson (2008) NGA	21
3.8.2. Campbell Bozornia (2008).....	22
3.8.3. Chiou – Young (2008)	24
3.9. Konsep Risiko Bencana.....	25
3.9.1. Bahaya (<i>Hazard</i>)	25
3.9.2. Kerentanan (<i>Vulnerability</i>)	26
3.9.3. Kapasitas (<i>Capacity</i>).....	26
3.9.4. Risiko Bencana.....	26
IV. METODOLOGI PENELITIAN.....	28
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
4.2. Alat dan Bahan.....	28
4.3. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	29
4.4. Diagram Alir Penelitian.....	30
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
5.1. Data Penelitian	32
5.2. Analisis Gelombang S hingga kedalaman 30 m (V_{S30})	33
5.3. Analisa Faktor Amplifikasi	34
5.4. Analisis <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)</i>	36
5.5. Analisis Tingkat Bahaya.....	40

5.6. Analisis Tingkat Kerentanan	41
5.7. Analisis Tingkat Kapasitas.....	45
5.8. Analisis Tingkat Risiko	47
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	49
6.1. Kesimpulan	49
6.2. Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan <i>NEHRP</i>	18
2. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	29
3. Matriks Penentuan Tingkat Bahaya... ..	40
4. Klasifikasi Tingkat Kerentanan	45
5. Matriks penentuan tingkat risiko	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta administrasi daerah penelitian	4
2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian	6
3. Ilustrasi gerak gelombang primer	11
4. Ilustrasi gerak gelombang sekunder.....	12
5. Ilustrasi gerak gelombang <i>Love</i>	13
6. Ilustrasi gerak gelombang <i>Rayleigh</i>	13
7. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik.....	17
8. Diagram alir	30
9. Peta sebaran nilai V_{S30} Kabupaten Pesisir Barat.....	34
10. Peta sebaran nilai faktor amplifikasi Kabupaten Pesisir Barat.....	35
11. Peta sebaran nilai <i>PGA</i> batuan dasar Kabupaten Pesisir Barat	38
12. Peta Sebaran nilai <i>PGA</i> batuan permukaan Kabupaten Pesisir Barat.....	39
13. Peta tingkat bahaya Kabupaten Pesisir Barat.	41
14. Peta tingkat kerentanan Kabupaten Pesisir Barat.	44
15. Peta tingkat kapasitas Kabupaten Pesisir Barat.	46
16. Peta tingkat risiko Kabupaten Pesisir Barat.	48

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu bencana alam yang dapat mengakibatkan kerugian yang besar adalah bencana gempa bumi. Gempa bumi merupakan suatu kondisi bergetarnya permukaan bumi yang diakibatkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba yang mengakibatkan gelombang sesimik. Gempa bumi dapat disebabkan oleh banyak sebab. Berdasarkan penyebabnya gempa bumi dapat dibagi menjadi lima jenis, diantaranya adalah; gempa tektonik, vulkanik, tumbukan, runtunan, dan buatan. Gempa tektonik disebabkan oleh adanya pergeseran atau pergerakan lempeng bumi yang menghasilkan energi besar yang mengakibatkan bergetarnya permukaan bumi.

Indonesia merupakan salah satu negara yang sering dilanda gempa bumi. Hal tersebut dikarenakan negara kita berada di dalam zona cincin api pasifik (*ring of fire*), yang mana zona tersebut merupakan zona dengan aktivitas seismik terbanyak, seperti gempa bumi dan letusan gunung api. Sekitar 90% gempa bumi di dunia terjadi di zona ini, dan 81% gempa bumi terbesar dunia pun terjadi di zona ini.

Selain itu, letak geografis Indonesia yang berada di daerah pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng pasifik, indo-australia, dan eurasia menjadi faktor lain yang menyebabkan Indonesia menjadi daerah rawan bencana alam seperti gempa bumi. Ketiga lempeng tersebut membentuk zona subduksi yang merupakan hasil dari interaksi lempeng indo-australia yang bergerak ke utara dengan lempeng eurasia yang bergerak ke selatan.

Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi ini ialah metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA). Metode ini merupakan metode yang digunakan untuk memprediksi nilai percepatan gempa untuk konstruksi yang sangat berbahaya. Dengan metode ini, gerakan gempa pada skenario terburuk dapat diprediksi. Kelemahannya, metode DSHA ini tidak dapat mengestimasi probabilitas kejadian gempa dan pengaruh ketidakpastian dalam suatu analisis (Kramer dan Steven, 1996),

Maka dari itu, pada penelitian ini metode ini akan sangat berguna jika diaplikasikan sebagai langkah mitigasi bencana gempa bumi pada daerah penelitian. Dengan metode ini, dapat diperkirakan gerakan gempa pada skenario yang terburuk, yang kemudian dapat diaplikasikan dalam pembuatan peta rawan bencana gempa bumi pada suatu daerah.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai PGA lapisan *bedrock* dan lapisan *soil* Kabupaten Pesisir Barat.
2. Memetakan zona tingkat risiko daerah Kabupaten Pesisir Barat berdasarkan faktor tingkat bahaya, faktor kerentanan, dan faktor kemampuan daerah penelitian.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah metode yang digunakan adalah:

1. Analisis nilai PGA dan faktor amplifikasi melalui pendekatan *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA) dengan menggunakan fungsi atenuasi.
2. Melakukan korelasi nilai V_{S30} , amplifikasi, PGA, kepadatan penduduk dan sarana kesehatan untuk pemetaan potensi risiko gempa bumi di Kabupaten Pesisir Barat.

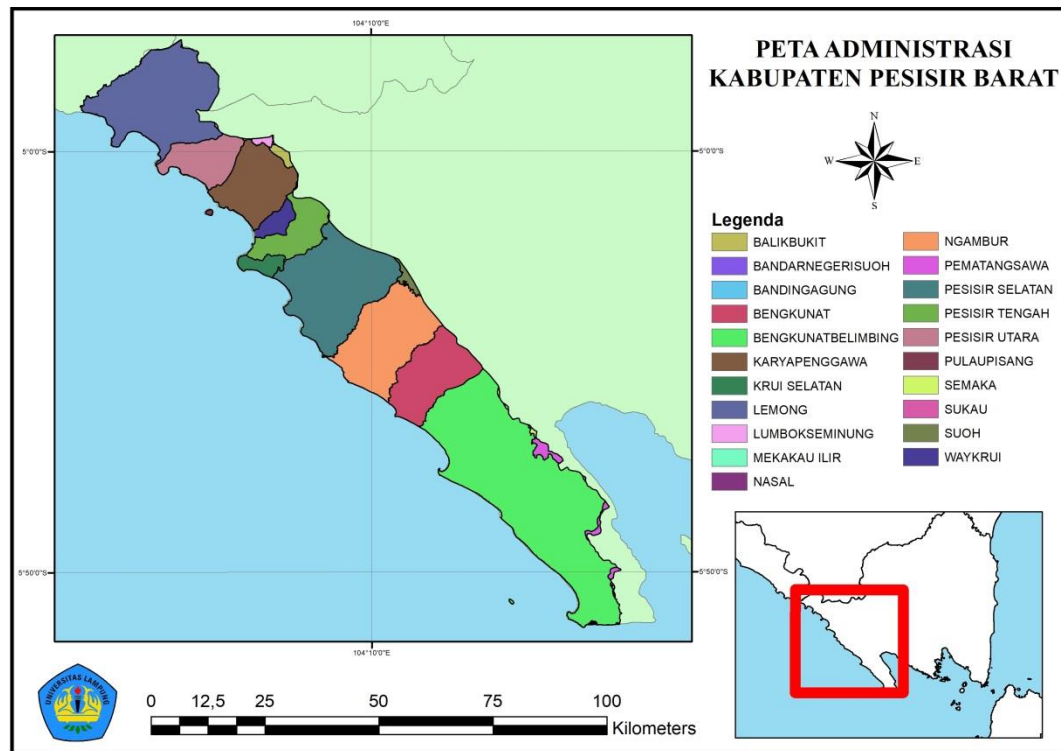
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Penelitian

Kabupaten Pesisir Barat merupakan kabupaten termuda di Provinsi Lampung, yang terletak pada posisi geografis $4^{\circ} 40' 0''$ - $6^{\circ} 0' 0''$ Lintang Selatan dan $103^{\circ} 30' 0''$ - $104^{\circ} 50' 0''$ Bujur Timur. Sejak tahun 2012, Kabupaten Pesisir Barat mulai memisahkan diri dari Kabupaten Lampung Barat berdasarkan UU Nomor 22 Tahun 2012. Wilayah administrasi Kabupaten Pesisir Barat terdiri dari 11 wilayah kecamatan, yaitu: Bengkuntat (kecamatan paling luas), Ngaras, Ngambur, Pesisir Selatan, Krui Selatan (kecamatan paling sempit), Pesisir Tengah, Way Krui, Karya Penggawa, Pesisir Utara, Lemong, dan Pulau Pisang, dengan batas wilayah sebagai berikut:

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Lumbok Seminung, Kecamatan Balik Bukit, Kecamatan Batu Brak, Kecamatan Bandar Negeri Suoh Kabupaten Lampung Barat, Kecamatan Bandar Negeri Semuong, Desa Ngarit, Desa Rejosari, Desa Petekayu, Desa Sirnagalih Kecamatan Ulu Belu, Desa Datar Lebuay Kecamatan Nanningan Kabupaten Tanggamus, Desa Way Beluah, dan Desa Melaya Kecamatan Banding Agung Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan Provinsi Sumatera Selatan;
- Sebelah Timur berbatasan dengan Desa Tampang Tua Kecamatan Pematang Sawa, Desa Sedayu, Desa Sidomulyo Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus;

- Sebelah Selatan berbatasan dengan Samudera Hindia; dan Sebelah Barat berbatasan dengan dengan Desa Tebing Rambutan Kecamatan Nasal Kabupaten Kaur Provinsi Bengkulu.



Gambar 1. Peta administrasi daerah penelitian.

2.2. Kondisi Geologi

2.2.1. Geologi Regional

Secara umum struktur geologi Pulau Sumatera dapat dibagi menjadi 5 (lima) bagian, yaitu :

1. Busur luar sunda, berupa busur non vulkanik yang terletak diluar pantai barat laut pulau Sumatera, yaitu sepanjang Pulau Singkil, Nias, Kepulauan Mentawai dan Enggano, menerus ke selatan Pulau Jawa. Busur ini memisahkan cekungan depan busur dengan palung tempat menjamnya lempeng Indo-Australia ke kontinen sunda.
2. Cekungan depan busur, terletak antara busur luar non vulkanik dan busur vulkanik Sumatera.

3. Cekungan belakang busur, termasuk cekungan Sumatera Selatan, Sumatera Tengah dan Utara. Cekungan-cekungan ini terbentuk oleh despresi batuan dasar di kaki Pegunungan Barisan.
4. Jalur pegunungan Barisan, memanjang arah barat laut – tenggara dan sejajar dengan Pulau Sumatera.
5. Cekungan Intermontane atau Intra- arcBasin.

Kawasan Indonesia bagian barat (Sumatera, Jawa dan sebagian Kalimantan) merupakan bagian dari Sunda Land yang termasuk lempeng benua Asia. Struktur tektonik Indonesia bagian barat dipengaruhi benturan lempeng Benua Asia dengan lempeng kerak Samudra Hindia – Australia (Amin dkk, 1993).

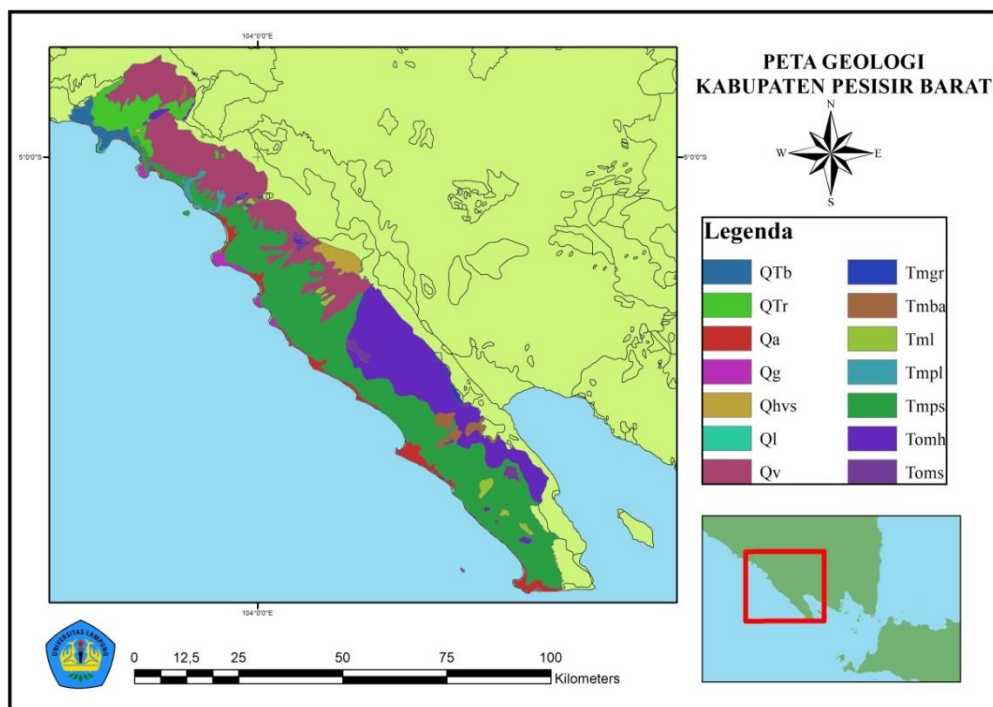
Sejarah tektonik Lembar Kotaagung berlangsung sejak Paleozoikum sampai Resen. Namun, struktur utama (sesar dan lipatan) terbentuk pada fase tektonik Tersier akhir sampai Kuartar awal. Batuan malihan menunjukkan struktur perdaunan lipatan pertama mempunyai sumbu kira-kira berarah timur-barat, dan lipatan kedua menghasilkan lipatan tegak berarah baratlaut-tenggara.

Sesar Sumatera merupakan sesar mendatar yang terbentuk akibat pengaruh dari subduksi miring (oblique) dimana tegangan antar lempeng dibagi ke dalam sistem strike-slip yang paralel di dalam zona busur depan maupun busur belakang. Sesar yang memiliki panjang ± 1900 km ini termasuk kedalam segmen Selat Sunda, dimana patahan ini bergerak kearah kanan (dextral). Sesar ini diduga berumur Miosen tengah dan berhubungan dengan pemekaran yang terjadi di Laut Andaman dan juga konsekuensi Paparan Sunda (Sih & Nathawidjaja, 2000).

Struktur geologi yang berkembang di daerah Lampung adalah lipatan antiklin, sinklin, sesar dan kelurusan. Kegiatan kemagmaan kembali meningkat pada Miosen Tengah yang berlanjut sampai Pliosen. Pada Plio-Plistosen sepanjang sistem sesar Sumatera terjadi geser menganan berarah baratlauttenggara yang diikuti oleh berkembangnya struktur lipatan sejajar pada cekungan busur belakang. Busur Bukit Barisan pada zaman Kuartar terjadi kegiatan penunjaman dan menghasilkan tufa, lava dan breksi gunungapi

bersusunan riolit-basalt. Endapan Holosen, diwakili oleh aluvium dan endapan rawa. (Katilli 1971; dalam Hutchison, 1973).

Kabupaten Pesisir Barat secara tektonik sangat dipengaruhi oleh Patahan Semangko atau Sesar Besar Sumatera. Kabupaten Pesisir Barat termasuk ke dalam Lembar Peta Geologi Kotaagung, Morfologi pada lembar Kotaagung sendiri dibagi menjadi lima satuan morfologi berupa dataran rendah sepanjang tepian bagian barat, pegunungan dan perbukitan dibagian barat, tengah dan bagian timur laut, perbukitan bergelombang, dataran tinggi dan kerucut gunungapi. Lembar Kotaagung ini terletak ditepi barat daya daratan Sunda, yang merupakan pengembangan daratan Asia Tenggara dari Lempeng Eurasia dan bagian dari Busur Sunda. Batuan di Wilayah Kabupaten Pesisir Barat secara umum terdiri dari Formasi Simpang Aur, Formasi Hulusimpang, Formasi Lakitan dan Formasi Gunungapi Tua (Gafoer dkk., 1994).



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian.

2.2.2. Stratigrafi

Berdasarkan peta geologi pada **Gambar 2**, Berikut ini stratigrafi batuan pada daerah penelitian menurut umur dari yang paling tua ke paling muda:

- Tomh (Formasi Hulusimpang) = Breksi gunungapi, lava, tuf bersusunan andesitic-basal, terubah, berurat kuarsa dan bermineral sulfida. Formasi Hulusimpang berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal. Batuan pada formasi ini sering didapatkan sudah mengalami ubahan, urat-urat kuarsa sering dijumpai. Pada beberapa tempat formasi Hulusimpang diterobos oleh batuan plutonik berkomporsi Granit.
- Toms (Formasi Seblat) = Formasi Seblat berumur Oligosen Akhir-Miosen Tengah. Perselingan batulempung, batupasir, batupasir tufan, serpih, batuan lanau, umumnya gampingan, dan lapisan tipis atau bintal batugamping.
- Tmgr (Batuan Terobosan) = Pada Kabupaten Pesisir Barat, terdapat batuan terobosan jenis granit. Batuan ini menerobos batuan lainnya yang lebih tua yaitu batuan pada formasi Hulusimpang. Batuan ini berumur miosen.
- Tmba (Formasi Bal) = Breksi gunungapi bersusunan dasit, tuf dasitan dan sisipan batupasir. Formasi ini berumur Miosen Tengah.
- Tml (Formasi Lemau) = Batupasir tufan atau gampingan, batu lempung gampingan dengan sisipan tipis atau bintal batugampingan, mengandung foram dan moluska. Formasi ini bermumur Miosen Tengah-Miosen Akhir.
- Tmpl (Formasi Lakitan) = Breksi gunungapi bersusunan andesit-basal, epiklastik, sedikit dasitan, tuf, dan batupasir tufan. Batuan ini miosen akhir hingga pilosen akhir.
- Tmps (Formasi Simpangaur) = Batupasir tufan, batu lanau tufan, tuf, konglomerat aneka bahan, mengandung moluska dan cangkang kerang, setempat sisipan tipis lignit. Formasi Simpangaur berada sejajar dengan formasi Hulusimpang. Formasi ini berumur Miosen Akhir-Pliosen.
- QTr (Formasi Ranau) = Breksi batu apung, tuf mikaan, tuf batuapung dan

kayu terkeringkan. Batuan ini berumur Pliosen akhir hingga Plestosen akhir.

- QTb (Formasi Bintunan) = Batupasir tufan, tuf pasir, batu lempung tufan, konglomerat aneka batuan, tuf berbatu apung dan sisa tumbuhan. Batuan ini berumur Pliosen hingga Plestosen.
- Qg (Batugamping Koral) = Batugamping koral sebagian berkeping. Batuan ini berumur Plestosen akhir.
- Qhvh (Batuan Gunung api Kuartar Muda) = Breksi, lava dan tuf bersusunan andesit-basalt. Pada lembar geologi Kota Agung terdapat lima jenis batuan gunung api muda (Qhv). Untuk Kabupaten Pesisir Barat Batuan Qhv ini hanya ada satu jenis, yaitu batuan gunung api kuartar muda yang berasal dari Bukit Penetoh. Batuan ini berumur Plestosen hingga Holosen.
- Qv (Batuan Gunungapi Kuartar Tua) = Lava andesit-basal, tuf dan breksi gunungapi. Batuan ini berumur Holosen.
- Qa (Aluvium) = Bongkah, kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Batuan ini berumur Holosen.

2.2.3. Topografi

Secara topografi, Kabupaten Pesisir Barat dapat dibagi menjadi 3 (tiga) unit topografis, yaitu:

- Daerah Dataran Rendah (ketinggian 0 sampai 600 meter dari permukaan laut).
- Daerah Berbukit (ketinggian 600 sampai 1.000 meter dari permukaan laut).
- Daerah Pegunungan. (Daerah ketinggian 1.000 sampai dengan 2.000 meter dari permukaan laut).

Wilayah Kabupaten Pesisir Barat merupakan wilayah dengan kemiringan di atas 15 %. Dengan kondisi topografi tersebut maka kawasan permukiman pada umumnya di daerah yang relatif datar tetapi dengan luas lokasi lahan yang terbatas. Maka kemungkinan arah pengembangan permukiman ke

daerah-daerah yang memiliki topografi dan kolektor kontur tajam. Keadaan wilayah sepanjang Pantai Pesisir Barat umumnya datar sampai berombak dengan kemiringan berkisar 3% sampai 5%. Di bagian Barat Laut Kabupaten Pesisir Barat terdapat gunung-gunung dan bukit, yaitu Gunung Pugung (1.964 m), Gunung Sebayon (1.744 m), Gunung Telalawan (1.753 m) dan Gunung Tampak Tunggak (1.744 m).

III. TEORI DASAR

3.1. Gelombang Seismik

Gelombang seismik dapat dibedakan berdasarkan tempat penjarannya yaitu gelombang tubuh (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang tubuh yaitu gelombang yang arah rambatannya masuk ke bawah permukaan bumi terdiri atas gelombang kompresional (gelombang longitudinal atau *P-wave*) dan gelombang geser (gelombang transversal atau *S-wave*). Gelombang P memiliki ciri arah gerakan partikel dalam medium searah dengan arah perambatan gelombang sedangkan gelombang S arah perambatannya tegak lurus dengan gerak partikel dalam medium. Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang arah rambatannya hanya pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastis. Jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu gelombang *Reyleigh* dan gelombang *Love* (Telford, 1976).

3.1.1. Gelombang Badan (*Body Wave*)

3.1.1.1. Gelombang Primer (P)

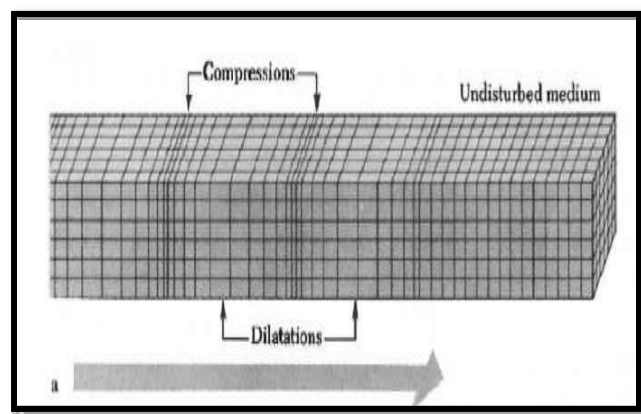
Gelombang Primer atau gelombang kompresi merupakan gelombang badan (*body wave*) yang memiliki kecepatan paling tinggi dari gelombang S. Gelombang ini merupakan gelombang longitudinal partikel yang merambat bolak balik dengan arah rambatnya. Gelombang ini terjadi karena adanya

tekanan.

Karena memiliki kecepatan tinggi, gelombang ini memiliki waktu tiba terlebih dahulu dari pada gelombang S. Kecepatan gelombang Primer (V_P) adalah $\pm 5 - 7$ km/s di kerak bumi, > 8 km/s di dalam mantel dan inti bumi, $\pm 1,5$ km/s di dalam air, dan $\pm 0,3$ km/s di udara. Untuk menghitung kecepatan gelombang primer ditunjukkan pada persamaan 1 :

$$V_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

Dimana V_P adalah kecepatan gelombang primer (P), k adalah konstanta lame (N/m^2), μ adalah modulus geser (N/m^2), dan ρ = Densitas material yang dilalui gelombang (kg/m^3).



Gambar 3. Ilustrasi gerak gelombang primer (Hidayati, 2010)

3.1.1.2. Gelombang Sekunder (S)

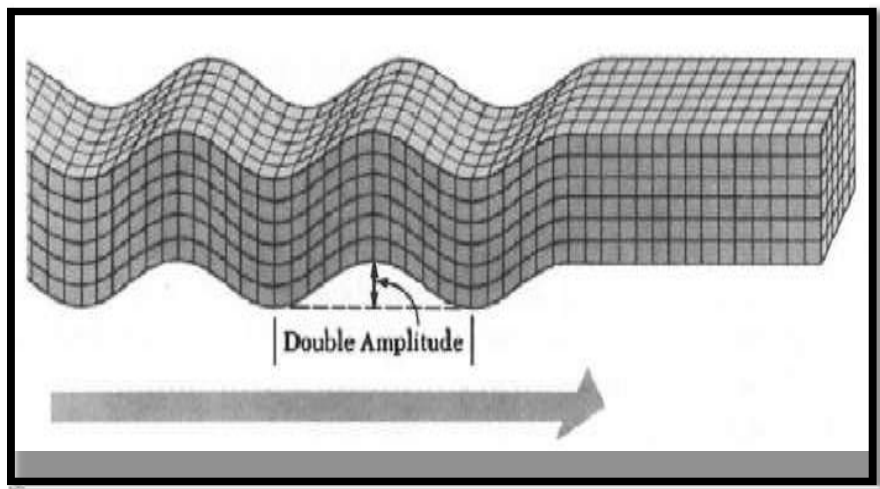
Gelombang S atau gelombang transversal (*shear wave*) adalah salah satu gelombang badan (*body wave*) yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya serta waktu tibanya setelah gelombang P.

Gelombang ini tidak dapat merambat pada fluida, sehingga pada bagian inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bumi bagian dalam mampu dilewati. Kecepatan gelombang S (V_S) adalah $\pm 3 - 4$ km/s di kerak bumi, $> 4,5$ km/s di dalam mantel bumi, dan $2,5 - 3$ km/s di dalam inti

bumi. Untuk menghitung kecepatan gelombang sekunder ditunjukkan pada persamaan 1:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

Dimana V_s adalah kecepatan gelombang S (sekunder), μ adalah modulus geser (kg/m^2), dan ρ adalah Densitas batuan yang dilalui gelombang (kg/m^3).

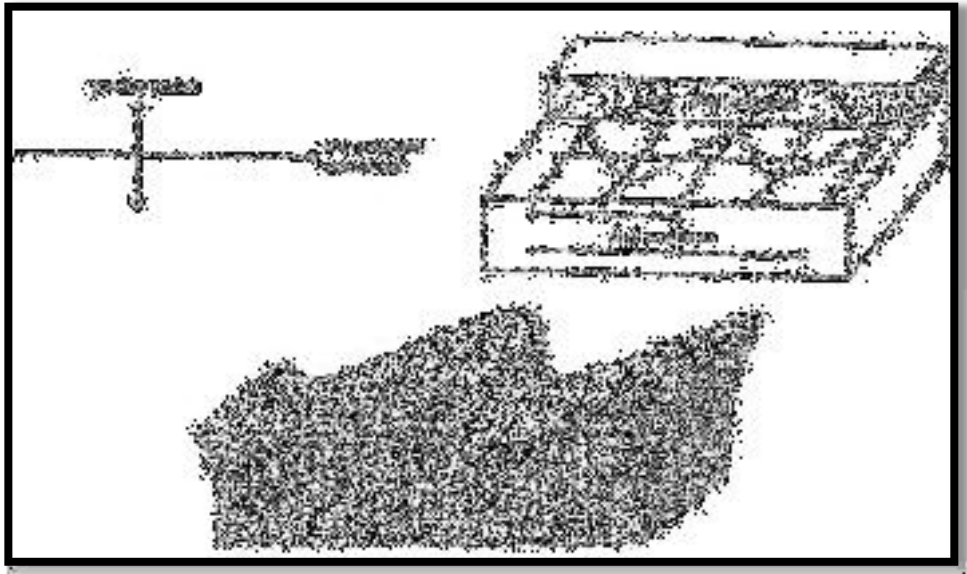


Gambar 4. Ilustrasi gerak gelombang sekunder (Hidayati, 2010).

3.1.2. Gelombang Permukaan

3.1.2.1. Gelombang *Love*

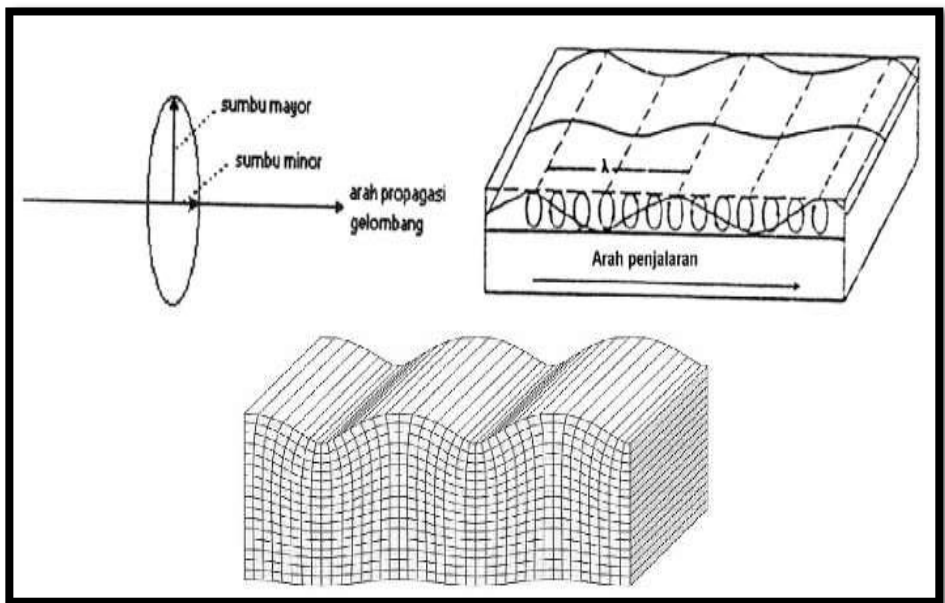
Gelombang ini merupakan gelombang yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjarannya. Gelombang *Love* merupakan gelombang transversal, kecepatan gelombang ini di permukaan bumi (V_L) adalah $\pm 2 - 4,4 \text{ km/s}$.



Gambar 5. Ilustrasi gerak gelombang *love* (Hidayati, 2010)

3.1.2.2. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* merupakan jenis gelombang permukaan yang memiliki kecepatan (V_R) adalah $\pm 2 - 4,2$ km/s di dalam bumi. Arah rambatnya bergerak tegak lurus terhadap arah rambat dan searah bidang datar.



Gambar 6. Ilustrasi gerak gelombang *Rayleigh* (Hidayati, 2010)

3.2. Zona Sumber Gempa

Zona sumber gempa merupakan area yang mempunyai derajat gempa yang sama. Dimana di setiap titik di zona tersebut memiliki kemungkinan yang sama akan terjadinya gempa di masa mendatang. Gambar 8 merupakan ilustrasi berbagai sumber gempa.

Sumber-sumber gempa dalam *seismic hazard* diklasifikasikan dalam tiga jenis zona sumber gempa, yaitu:

1. Zona *fault*, yaitu zona kejadian gempa patahan dangkal (*shallow crustal fault*) dengan mekanisme *strike-slip*, *reverse*, atau *normal* yang terjadi pada patahan-patahan yang sudah terdefinisi dengan jelas, yaitu mekanisme, *slip-rate*, *dip*, panjang patahan, dan lokasinya. Sumber gempa patahan dangkal dimodelkan hingga kedalaman 15 km.
2. Zona subduksi, merupakan zona penunjaman litosfer samudera terhadap litosfer daratan, hal ini terjadi karena kepadatan relatif litosfer samudera lebih besar dan karakter astenosfer yang relatif lemah. Batas kedalaman maksimum dari sumber gempa ini dimodelkan hingga 50 km atau merupakan daerah *Megathrust*. Untuk daerah yang lebih dalam (>50 km) atau daerah *Benioff* diwakili oleh model sumber gempa *deep background* dimana gempa-gempa yang terjadi merupakan gempa *intraslab* karena pada kedalaman tersebut kondisi batuan lebih *ductile*, sehingga mekanisme gempa yang terjadi bukan merupakan akibat pertemuan antara dua permukaan bidang lempeng. Model segmentasi dan parameter sumber gempa subduksi (*megathrust*) wilayah Indonesia ditunjukkan oleh Gambar 9.
3. Zona *background*, yaitu sumber gempa yang belum diketahui secara jelas. tetapi pada tempat tersebut didapati adanya beberapa kejadian gempa (kejadian gempa yang belum diketahui sesarnya) (Kramer, 1996).

3.3. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah selain gempabumi, bisa berupa getaran akibat aktivitas manusia maupun aktivitas alam. Jadi mikrotremor bisa terjadi karena getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah. Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempabumi, periodenya kurang dari 0,1 detik yang secara umum antara 0,05 – 2 detik dan untuk mikrotremor periode panjang bisa 5 detik, sedang amplitudanya berkisar 0,1 – 2 mikron (Kanai, 1983).

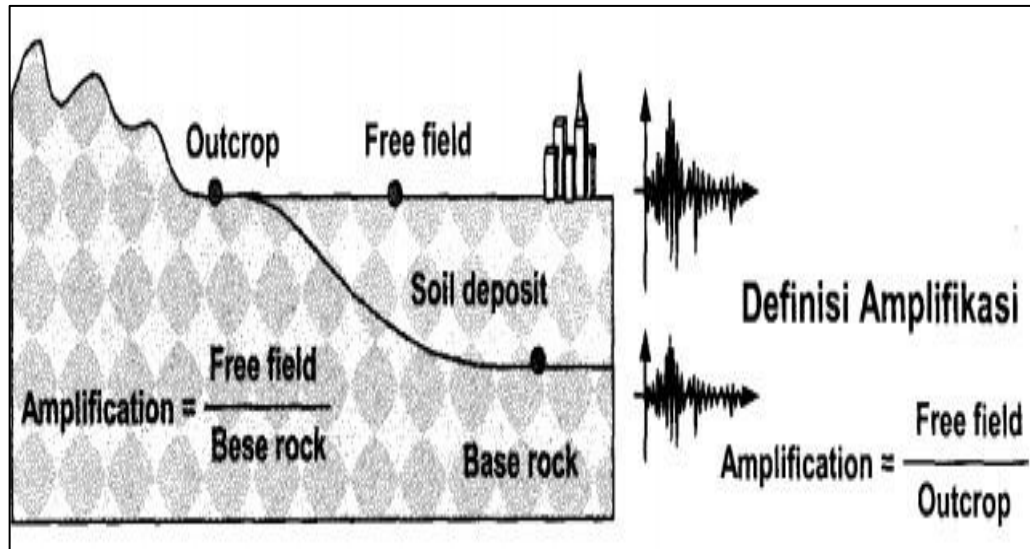
Implementasi mikrotremor adalah dalam bidang *prospecting*, khususnya dalam merancang bangunan tahan gempa, juga dapat dipakai untuk investigasi struktur bangunan yang rusak akibat gempa. Dalam merancang bangunan tahan gempa sebaiknya perlu diketahui periode natural dari tanah setempat untuk menghindari adanya fenomena resonansi yang dapat memperbesar (amplifikasi) getaran, jika terjadi gempabumi. Mikrotremor juga dapat dipakai untuk mengetahui jenis tanah atau *top soil* berdasarkan tingkat kekerasannya, dimana semakin kecil periode dominan tanah maka tingkat kekerasannya semakin besar atau tanah yang mempunyai periode dominan semakin besar semakin lunak atau lembek sifatnya (Nakamura, 2000).

Analisis *ambient noise* ini menggunakan teknik HVSR (*Horizontal to Vertical Fourier Amplitude Spectral Ratio*) pada tanah, sedangkan analisis spektrum, RDM (*Random Decrement Method*) dan FSR (*Floor Spectral Ratio*) pada bangunan untuk mendapat frekuensi natural dan rasio redaman. Sehingga untuk estimasi frekuensi, redaman dan indeks kerentanan pada getaran bangunan dari eksitasi amplitudo kecil dinilai akurat dan stabil. Proses analisis ini menggunakan RDM untuk mengekstrak frekuensi natural dan rasio redaman bangunan, dengan menggunakan FSR di setiap komponen horizontal untuk memperkirakan indeks kerentanan bangunan. Frekuensi natural dan rasio redaman dapat dihitung secara simultan menggunakan daya *spectral random decrement method* atau analisis *non parametric*, sementara perhitungan indeks kerentanan bangunan untuk menghitung amplitudo fungsi transfer dari struktur

floor spectral ratio dan kekuatan struktur bangunan. Rasio redaman adalah parameter yang menyatakan penyerapan energi atau redaman dari suatu sistem yang beresilasi dari redaman material maupun radiasi. Secara umum rasio redaman digunakan untuk menggambarkan tingkat redaman struktur bangunan. Kemampuan struktur bangunan untuk menghilangkan energi getaran dapat dihitung dari rasio redaman. Meskipun getaran gempa sangat kuat, suatu bangunan memiliki amplitudo yang tinggi, tetapi respon frekuensi natural bangunan tergantung pada massa struktur dan kekakuan bangunan. Dengan demikian tingkat redaman adalah desain yang sangat penting dalam pengurangan getaran dan bangunan tahan gempa (Tokimatsu, 1989).

3.4. Amplifikasi

Amplifikasi adalah perbesaran gelombang, dalam penelitian ini gelombang yang dimaksud adalah gelombang seismik, yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan. Gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat getaran gempa ialah daerah yang permukaannya tersusun atas sedimen lunak (gambut, pasir, pasir lanau) dengan batuan dasar yang keras. Karena pada geologi yang seperti ini, kontras (perbedaan antara lapisan sedimen dan batuan dasar) impedansinya besar. Nakamura (2000) menyatakan bahwa nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi, maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya.



Gambar 7. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik (Arifin, 2014).

Kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas guncangan tanah selama gempa secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat. Batuan sedimen yang lunak dapat memperkuat gerakan tanah selama gempa dan karena itu rata-rata kerusakan yang diakibatkan lebih parah dari pada lapisan keras. Artinya batuan sedimen merupakan faktor amplifikasi amplitudo gelombang gempa. Daerah pemukiman yang dibangun di atas sedimen lunak akan mudah mengalami kerusakan akibat amplifikasi gelombang gempa.

Terdapat dua sebab terjadinya amplifikasi gelombang gempa yang dapat mengakibatkan kerusakan bangunan. Pertama, adanya gelombang yang terjebak di lapisan lunak, sehingga gelombang tersebut terjadi superposisi antar gelombang, jika gelombang tersebut mempunyai frekuensi yang relatif sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat proses resonansi ini, gelombang tersebut saling menguatkan. Kedua, adanya kesamaan frekuensi natural antara geologi setempat dengan bangunan. Ini akan mengakibatkan resonansi antara bangunan dan tanah setempat. Akibatnya, getaran tanah pada bangunan lebih kuat (Nakamura, 2000).

Berdasarkan pengertian di atas, maka amplifikasi dapat dituliskan sebagai fungsi perbandingan nilai kontras impedansi, yaitu:

$$\text{Log}(ampv) = 2,367 - 0,852 \times \text{log}(v_{s30}) \quad (3)$$

Dengan Amp_v adalah factor amplifikasi, dan V_{s30} adalah kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (m/s)

3.5. Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30})

Penentuan kelas tanah didasarkan pada kecepatan gelombang permukaan (V_{s30}). Penetapan jenis tanah, yaitu antara tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak dapat ditentukan dengan kecepatan rambat gelombang geser (V_{s30}). Nilai V_{s30} ini bergantung pada kondisi fisik batuan sehingga dapat diprediksi berdasarkan parameter geologi dan morfologi. Elevasi atau ketinggian berhubungan erat dengan kekerasan batuan. Pelapukan berlangsung secara intensif pada puncak bukit sedangkan sedimentasi berada pada tingkat yang paling rendah. Sebaliknya pada suatu cekungan, pelapukan berada pada tingkat paling rendah dan pengendapan atau sedimentasi mencapai tingkat maksimum. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa batuan yang berada di puncak bukit merupakan batuan yang keras dan tahan terhadap pelapukan, sedangkan cekungan yang berada di daerah yang lebih rendah merupakan endapan muda yang lunak. Gunung dan bukit berumur Tersier atau lebih tua berperan sebagai sumber material sedimen. Tabel 1 merupakan penentuan *site class* berdasarkan standar *NEHRP*.

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan *NEHRP* (Athanasius Dan Solikhin, 2015).

<i>Site Class</i>	<i>Soil Profile Name</i>	<i>Average Properties in Top 100 feet (as per 2000 IBC section 1615.1.5) Soil Shear Wave Velocity, V_s</i>	
		<i>Feet/Second</i>	<i>Meters/Second</i>
A	<i>Hard Rock</i>	$V_s > 5000$	$V_s > 1524$
B	<i>Rock</i>	$2500 < V_s \leq 5000$	$762 < V_s \leq 1524$
C	<i>Very dense soil and soft rock</i>	$1200 < V_s \leq 2500$	$366 < V_s \leq 762$
D	<i>Stiff soil profile</i>	$600 < V_s \leq 1200$	$183 < V_s \leq 366$

E	<i>Soft soil profile</i>	$V_S < 600$	$V_S < 183$
---	--------------------------	-------------	-------------

Kemiringan lereng (*slope*) dapat mengindikasikan ketebalan lapisan sedimen. Material hasil pelapukan akan diendapkan lebih tebal pada bagian yang mempunyai kemiringan lereng lebih kecil. Material sedimen di lereng akan jauh lebih tipis dibandingkan dengan endapan sedimen dalam suatu cekungan. Oleh sebab itu, pada elevasi yang tinggi dan kemiringan lereng yang curam, nilai V_{S30} relatif lebih kecil karena pada daerah tersebut didominasi batuan yang keras. Hasil perhitungan V_{S30} kemudian dikelaskan ke dalam standar *NEHRP* untuk mengetahui kelas tanah pada daerah tersebut (Athanasius dan Solikhin, 2015).

Berdasarkan pengertian diatas, maka amplifikasi dapat dituliskan sebagai fungsi perbandingan nilai kontras impedansi, yaitu:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{v_i}\right)} \quad (4)$$

3.6. *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)*

Konsep dasar DSHA adalah menentukan parameter *ground motion* dengan menggunakan magnituda gempa maksimum dan jarak sumber gempa yang paling dekat dari titik pengamatan (Kramer, 1996). Secara umum metoda *DSHA* dapat dibagi menjadi empat tahap. Model dan konsep dari analisis ini tetap dipakai sampai sekarang, namun model dari analisis dan teknik perhitungannya yang terus dikembangkan oleh *EERI Committee on Seismic Risk* (Tim Revisi Peta Gempabumi Indonesia, 2010) memiliki empat tahap, yaitu tahap pertama identifikasi sumber gempa. Tahap kedua karakterisasi sumber gempa. Tahap ketiga pemilihan fungsi atenuasi dan tahap keempat menentukan *controlling earthquake* berdasarkan hasil perhitungan terbesar yang diperoleh.

Metode DSHA umumnya diaplikasikan untuk mengestimasi percepatan gempa untuk konstruksi yang sangat membahayakan jika terjadi kerusakan, seperti bangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), bendungan besar, konstruksi yang dekat dengan sesar aktif, dan untuk keperluan *emergency*

response (Irsyam dkk, 1999). Kelebihan metoda ini adalah mudah digunakan untuk memprediksi gerakan gempa pada skenario terburuk. Sedangkan kelemahannya adalah metoda ini tidak mempertimbangkan probabilitas terjadinya gempa dan pengaruh berbagai ketidakpastian yang terkait dalam analisis (Kramer, 1996). Teori ini mengasumsikan magnitudo gempa (M) dan jarak (R) sebagai variabel acak independen yang menerus.

DSHA dilakukan dengan menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan fungsi atenuasi. Pemilihan fungsi atenuasi sangat dipengaruhi oleh mekanisme kegempaan dari sumber gempa.

3.7. Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan puncak merupakan peningkatan paling besar pada rekaman kecepatan dari tiap stasiun yang terpisah selama terjadi gempabumi. Gerakan tanah yang terjadi pada lapisan bawah tanah atau batuan padat, karakteristiknya dijelaskan menggunakan parameter amplitudo, yaitu percepatan tanah maksimum, kecepatan tanah maksimum dan pergeseran maksimum. Percepatan tanah maksimum merupakan parameter yang sering digunakan. Perambatan gelombang seismik yang menjadi akibat dari percepatan tanah maksimum. Percepatan tanah maksimum dinyatakan dalam g (*Gravitational Acceleration*= g) atau m/s^2 ($1 g = 9,81 m/s^2$ atau dalam *gal*, dimana $1 gal$ sama dengan $0,01 m/s^2$. $1 g$ sama dengan $981 Gal$) (Irwansyah, 2012). Nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan menunjukkan tingkat risiko bencana yang terjadi. Nilainya dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan mitigasi bencana, desain struktur bangunan dan rencana tata ruang. Nilai percepatan maksimum ditetapkan dalam skala besar pada suatu daerah, dengan periode ulang yang variatif. Nilai percepatan tanah maksimum dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan alat pengukur *accelerograf* dan perhitungan dengan pendekatan empiris. Bila jaringan *accelerograf* tidak mendukung, maka pemanfaatan perhitungan empiris menjadi alternatif. Pendekatan metode empiris tidak selalu benar, namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum.

3.8. Fungsi Atenuasi

Dengan tidak tersedianya data untuk menurunkan suatu fungsi atenuasi di wilayah Indonesia, pemakaian fungsi atenuasi yang diturunkan dari wilayah lain tidak dapat dihindari. Fungsi atenuasi yang digunakan sebagian besar sudah menggunakan *Next Generation Attenuation* (NGA), dimana atenuasi ini diturunkan menggunakan data gempa global (*worldwide data*). Dasar pemilihan fungsi atenuasi adalah berdasarkan mekanisme kejadian gempa, dimana secara umum dikategorikan dalam zona gempa subduksi, zona gempa *background* dan zona gempa *shallow crustal* (patahan). Berikut adalah beberapa fungsi atenuasi yang digunakan:

3.8.1. Boore - Atkinson (2008) NGA

Fungsi atenuasi ini digunakan untuk sumber gempa shallow crustal (strike slip, reverse dan normal). Fungsi atenuasi ini dapat digunakan untuk $M= 5-8$, $R_{JB} < 200$ km, dan $V_{S30} = 180-1300$ m/s. Bentuk dari fungsi atenuasi tersebut adalah sebagai berikut:

$$\ln(Y) = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) \quad (6)$$

$F_M(M)$ adalah fungsi berdasarkan magnitudo.

Pada kondisi $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2 \quad (7)$$

Pada kondisi $M \geq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h) \quad (8)$$

$F_D(R_{JB}, M)$ adalah fungsi berdasarkan jarak.

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3(R - R_{ref}) \quad (9)$$

Nilai R dihitung dengan persamaan berikut R_{jb}^2

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (10)$$

F_S adalah nilai amplifikasi lapangan.

$$F_s = F_{LIN} + F_{NL} \quad (11)$$

F_{LIN} bersifat linear, dimana:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{s30} + V_{ref}) \quad (12)$$

F_{NL} bersifat nonlinear, dimana:

Pada kondisi $pga_{4nl} \leq a_1$

$$F_{NL} = b_{NL} \ln\left(\frac{pga_{low}}{0.1}\right) \quad (13)$$

Pada kondisi $a_1 \leq pga_{4nl} \leq a_2$:

$$F_{NL} = b_{nl} \ln\left(\frac{pga_{low}}{0.1}\right) + c \left[\ln\left(\frac{pga_{4nl}}{a_1}\right) \right]^2 + d \left[\ln\left(\frac{pga_{4nl}}{a_1}\right) \right]^3 \quad (14)$$

Pada kondisi $a_2 \leq pga_{4nl}$:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln\left(\frac{pga_{4nl}}{0.1}\right) \quad (15)$$

3.8.2. Campbell-Bozornia (2008)

Fungsi Atenuasi ini berlaku untuk sumber seismik kerak dangkal (strike slip, reverse atau normal). Model regresi persamaan ini dikembangkan menggunakan data strong-motion dibandingkan dengan jarak (0 sampai 200 km) menggunakan data 1.561 dari 64 peristiwa gempa utama untuk M antara 4,3 sampai 7,9 dan jarak rupture antara 0,1 sampai 199 km. Data gempa dikombinasikan dari gempabumi dangkal yang terletak pada daerah tektonik aktif di seluruh dunia. Persamaan atenuasi adalah sebagai berikut:

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \quad (16)$$

F_{mag} adalah fungsi berdasarkan magnitudo

$$F_{mag} = C_0 + C_1 M \quad \text{untuk} \quad M < 5,5 \quad (17)$$

$$C_0 + C_1 M + C_2 (M-5.5) \quad \text{untuk} \quad 5.5 \leq M \leq 6,5 \quad (18)$$

$$C_0 + C_1 M + C_2 (M-5.5) + C_3 (M-6.5) \quad \text{untuk} \quad M > 6,5 \quad (19)$$

F_{dis} merupakan fungsi berdasarkan pada jarak dari titik ukur ke sumber gempa

$$F_{dis} = (C_4 + C_3 M) \ln(\sqrt{Rrup^2 + C_6^2}) \quad (20)$$

F_{flt} merupakan fungsi berdasarkan tipe patahan

$$F_{flt} = C_7 FRV. F_{flt,z} + C_8 FNM \quad (21)$$

$$F_{flt,Z} = Z_{Tor} \text{ untuk } Z_{Tor} < 1$$

$$1 \text{ untuk } Z_{Tor} > 1$$

F_{hng} merupakan fungsi berdasarkan efek *hanging wall*

$$F_{hng} = C_9 F_{hng,R} + F_{hng,M} + F_{hng,Z} + F_{hng,\delta} \quad (22)$$

$$F_{hng,R} = 1 \quad \text{untuk } R_{jb} = 0 \quad (23)$$

$$\left[\frac{\max\left(R_{RUP} + \sqrt{R_{JB}^2 + 1}\right) - R_{JB}}{\max\left(R_{RUP}\left(\sqrt{R_{JB}^2 + 1}\right)\right)} \right] \quad \text{untuk } R_{jb} > 0, Z_{Tor} < 1 \quad (24)$$

$$\frac{(RRup - R_{jb})}{RRup} \quad \text{untuk } R_{jb} > 0, Z_{Tor} \geq 1 \quad (25)$$

$$F_{hng,M} = \begin{cases} 0 & \text{untuk } M \leq 6,0 \end{cases} \quad (26)$$

$$2 - (M - 6,0) \quad \text{untuk } 6,0 < M < 6,5 \quad (27)$$

$$1 \quad \text{untuk } M \geq 6,5 \quad (28)$$

$$\text{untuk } Z_{Tor} \geq 20 \quad (29)$$

$$F_{hng,Z} = 0$$

$$\frac{20 - Z_{Tor}}{20} \quad \text{untuk } 0 < Z_{Tor} < 20 \quad (30)$$

$$F_{hng,\delta} = 1 \quad \text{untuk } \delta \leq 70 \quad (31)$$

$$\frac{90 - \delta}{20} \quad \text{untuk } \delta > 70 \quad (32)$$

F_{site} adalah fungsi berdasarkan *shallow site*

$$F_{site} = C_{10} \ln\left(\frac{V_{S30}}{K_1}\right) + K_2 \left\{ \ln \left[A_{1100} + C \left(\frac{V_{S30}}{K_1} \right)^n \right] \right\} \quad \text{untuk } V_{S30} < K_1 \quad (33)$$

Fsed adalah fungsi berdasarkan *deep site*

$$F_{sed} = C_{11} (Z_{2,5} - 1) \quad \text{untuk} \quad Z_{2,5} < 1 \quad (37)$$

$$0 \quad \text{untuk} \quad 1 \leq Z_{2,5} \leq 3 \quad (38)$$

$$C_{12} K_3 e^{-0,75} [1 - e^{-0,25} (Z_{2,5} - 3)] \quad \text{untuk} \quad Z_{2,5} > 3 \quad (39)$$

dimana M adalah momen magnitudo, y adalah PGA (g); $c_0 = -1,715$; $c_1 = 0,5$; $c_2 = -0,53$; $c_3 = -0,262$; $c_4 = -2,118$; $c_5 = 0,17$; $c_6 = 5,6$; $c_7 = 0,28$; $c_8 = -0,12$; $c_{12} = 0,61$; $k_1 = 865$; $k_2 = -1,186$; $k_3 = 1,839$; $T_c = 0,166$; $F_{nm} = 0$; $Z_{tor} = 3$; $c_9 = 0,49$; $h = 3$; $\eta = 1,18$; $C = 1,88$; $F_{rv} = 0$; $V_{s30} = 1500$ m/s; $c_{11} = 0,04$; $c_{10} = 1,058$; $\delta = 90$; $Z_{2,5} = 1$.

3.8.3. Chiou - Young (2008)

Persamaan atenuasi dikembangkan oleh Sadigh et al, 1997 dapat digunakan untuk sumber gempa yang terletak di *shallow crustal (strike slip, reverse dan normal)*. Persamaan ini dikembangkan dari data *strong-motion*, menggunakan 3551 data dari 173 gempa utama dan gempa susulan sebagai informasi tambahan untuk membuat model koefisien, jarak *rupture* maksimal sampai 70 km, data ini dikombinasikan dari data gempa dangkal, khususnya pada zona sesar aktif di seluruh dunia. Fungsi atenuasi Youngs (1997) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \ln(Y_{ref\ ij}) = & C_1 + C_{1a} F_{Rvi} + C_{1b} F_{Nmi} + C_7 (Z_{TORI} - 4) + C_2 (M_i - 6) + \\ & \frac{c_2 - c_3}{cn} \ln(1 + e^{cn(cM - Mi)}) + C_4 \ln(R_{RUPij}) + C_5 \cosh(C_6 (M_i - C_{HM}, 0)) + \\ & (C_{4a} - C_4) \ln\left(\sqrt{R_{RUPij}^2 + C_{RB}^2}\right) + \left\{ C_{y1} + \frac{C_{y2}}{\cosh((M_i - C_{y3}, 0)_{max})} \right\}, R_{RUPij} + \\ & c_9 \cdot \cos^2 \delta_1 \cdot \tanh\left(\frac{R_{RUPij}}{2}\right) \tan^{-1}\left(\frac{W_i \cos \delta_1}{2(Z_{TORI} + 1)}\right) \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{R_{JBij}}{R_{RUPij} + 0.001} \right\} + \tau \cdot Z_I \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \ln(Y_{IJ}) = & \ln(Y_{ref\ ij}) + \phi_1 \cdot \min\left(\ln\left(\frac{V_{s30ij}}{1130}\right), 0\right) \min + \phi_2 \cdot \left\{ e^{\phi_s (V_{s30ij}, 1130)^{min-360}} - \right. \\ & \left. e^{\phi_s (11360-360)} \right\} \cdot \ln\left(\frac{SA_{1130IJ} + \phi_4}{\phi_4}\right) \sigma \cdot Z_{IJ} \end{aligned} \quad (41)$$

dimana M adalah *Moment magnitude*; R_{RUP} adalah Jarak terdekat ke bidang *rupture*(km); R_{JB} adalah Jarak *Joyner-Boore* ke bidang *rupture* (km); R_X adalah Koordinat lokasi (km) diukur tegak lurus terhadap patahan dari proyeksi di permukaan; F_{HW} (*Hanging wall*) adalah 1 untuk $R_X \geq 0$ dan 0 for $R_X < 0$, δ adalah *Fault dip angle*; $ZTOR$ adalah *Depth to top of rupture* (km); λ adalah *the rake angle* AS (*Aftershock*)= 1 untuk *aftershock*, selain itu 0; V_{S30} adalah Rata-rata kecepatan gelombang S pada kedalaman 30 m (m/s); $Z1.0$ adalah kedalaman saat $V_{S30}=1,0$ km/s (m); FRV adalah *Reverse-faulting*= 1 untuk $30^\circ \leq \lambda \leq 150^\circ$ (kombinasi *reverse* dan *reverse-oblique*), selain itu 0; FNM adalah *Normal faulting*= 1 untuk $-120^\circ \leq \lambda \leq -60^\circ$ (tidak termasuk *normal-oblique*), selain itu 0; $c1= -1,2687$; $c1a= 0,1$; $c1b= -0,255$; $c2= 1,06$; $c3= 3,45$; $c4= -2,1$; $c4a= -0,5$; $c5= 6,16$; $c6= 0,4893$; $c7= 0,0512$; $c7a= 0,086$; $c9= 0,79$; $c9a= 1,5005$; $c10= -0,3218$; $c_n= 2,996$; $c_m= 4,184$; $c_{rb}= 50$; $c_{hm}= 3$; $c_{\gamma 1}= -0,00804$; $c_{\gamma 3}= 4$; $c_{\gamma 2}= -0,00785$; $\eta= 0$; $\phi 1= -0,4417$; $\phi 2= -0,1417$; $\phi 3= -0,00701$; $\phi 4= 0,102151$; $\phi 5= 0,2289$; $\phi 6= 0,014996$; $\phi 7= 580$; $\phi 8= 0,07$; $T1= 0,3437$; $T2= 0,2637$; $To1= 0,4458$; $To2= 0,3459$; $To3= 0,8$.

3.9. Konsep Risiko Bencana

3.9.1. Bahaya (*Hazard*)

Bahaya adalah suatu fenomena alam atau buatan yang mempunyai potensi mengancam kehidupan manusia, kerugian harta benda dan kerusakan lingkungan. Bumi tempat kita tinggal secara alami mengalami perubahan secara dinamis untuk mencapai suatu keseimbangan. Akibat proses-proses dari dalam bumi dan dari luar bumi, bumi membangun dirinya yang ditunjukkan dengan pergerakan kulit bumi, pembentukan gunungapi, pengangkatan daerah dataran menjadi pegunungan yang merupakan bagian dari proses internal. Sedangkan proses eksternal yang berupa hujan, angin, serta fenomena iklim lainnya cenderung melakukan

‘perusakan’ morfologi melalui proses degradasi (pelapukan batuan, erosi dan abrasi). Proses perubahan secara dinamis dari bumi ini dipandang sebagai potensi ancaman bahaya bagi manusia yang tinggal di atasnya. (Bakornas PB, 2007).

3.9.2. Kerentanan (*Vulnerability*)

Kerentanan (*vulnerability*) merupakan suatu kondisi dari suatu komunitas atau masyarakat yang mengarah atau menyebabkan ketidakmampuan dalam menghadapi ancaman bahaya. Tingkat kerentanan adalah suatu hal penting untuk diketahui sebagai salah satu faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya bencana, karena bencana baru akan terjadi bila ‘bahaya’ terjadi pada ‘kondisi yang rentan’. Tingkat kerentanan dapat ditinjau dari kerentanan fisik (infrastruktur), sosial kependudukan, dan ekonomi.

3.9.3. Kemampuan (*Capacity*)

Kemampuan (*capacity*) adalah penguasaan sumberdaya, cara, dan kekuatan yang dimiliki masyarakat, yang memungkinkan mereka untuk mempertahankan dan mempersiapkan diri mencegah, menanggulangi, meredam, serta dengan cepat memulihkan diri dari akibat bencana.

3.9.4. Risiko Bencana

Risiko bencana adalah interaksi antara tingkat kerentanan daerah dengan ancaman bahaya (*hazards*) yang ada. Ancaman bahaya, khususnya bahaya alam bersifat tetap karena bagian dari dinamika proses alami pembangunan atau pembentukan rona muka bumi baik dari tenaga internal maupun eksternal, sedangkan tingkat kerentanan daerah dapat dikurangi, sehingga kemampuan dalam menghadapi ancaman tersebut semakin meningkat. Secara umum risiko dapat dirumuskan dengan

persamaan 70 dan 71.

$$Resiko = \frac{Bahaya \times Kkerentanan}{Kemampuan} \quad (42)$$

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada:

Waktu : 1 April 2022 – 31 Oktober 2022

Tempat : Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung

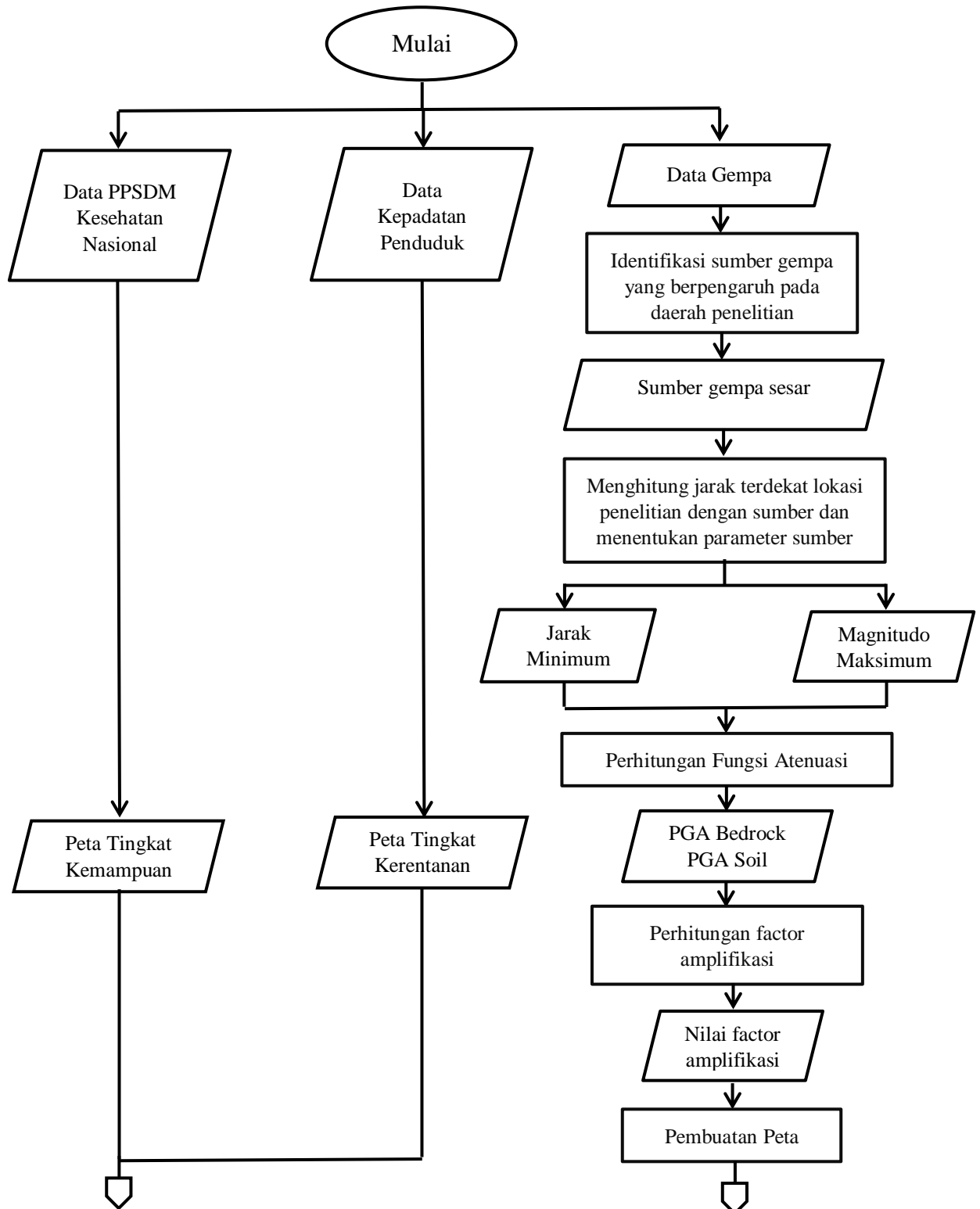
4.2. Alat dan Bahan

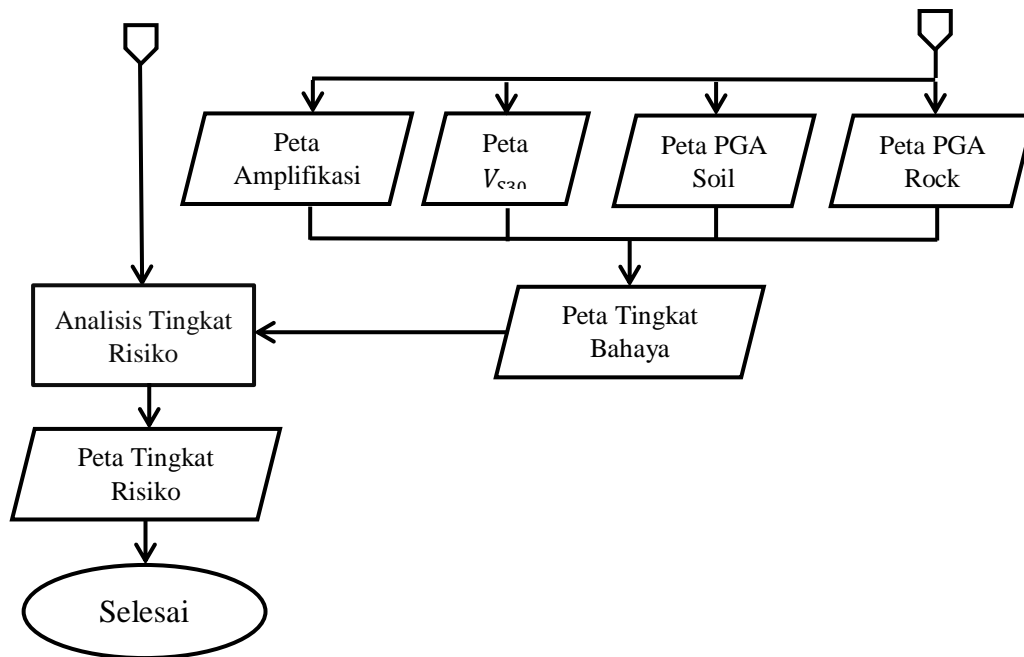
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Laptop
2. *Software Google Earth*
3. *Software ArzGis*
4. Data Gempa Kabupaten Pesisir Barat

4.4. Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir yang digunakan pada penelitian ini:





Gambar 8. Diagram alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai *PGA* batuan dasar (*bedrock*) pada Kabupaten Pesisir Barat yang didapatkan ialah 0,004 – 0,062 g. Nilai *PGA* batuan permukaan (*soil*) pada Kabupaten Pesisir Barat yang didapatkan ialah 0,0087 – 0,3523 g.
2. Kabupaten Pesisir Barat memiliki tiga tingkat risiko bencana gempabumi yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Wilayah yang dominan tingkat risiko rendah terdapat pada bagian utara daerah penelitian. Wilayah yang dominan tingkat risiko sedang terdapat pada bagian selatan daerah penelitian. Wilayah yang dominan tingkat risiko tinggi terdapat pada bagian selatan daerah penelitian.

6.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu diperlukan data tambahan yang lebih baik lagi untuk menghitung tingkat kerentanan dan tingkat kemampuan agar lebih sesuai dengan indikator yang ditetapkan BNPB, seperti nilai tingkat pendidikan, nilai tingkat ekonomi, dan jumlah jenis kelamin per usia sehingga bisa didapat nilai tingkat risiko yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, T.C., dkk. 1993. *Peta Geologi Regional Lembar Kotaagung*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung
- Arifin, S. Sapto, B. Marjiyono, dan Setyanegara, R. 2014. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *JGE*. Vol. 2 (No. 1)
- Athanasius, C. dan Solikhin, A. 2015. Pendugaan Kecepatan Gelombang Permukaan (V_{S30}) di Pulau Sulawesi Berdasarkan Klasifikasi Geomorfologi dan Aplikasinya. *Regional Indonesia*. Vol. 2 (No. 2).
- Maarif, S. 2012. *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 2 Tahun 2012*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- BAKORNAS PB. 2007. *Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia*. Pelaksana Harian Badan Koordinasi Nasional Penanganan Bencana. Edisi II. Jakarta Pusat.
- Gafoer, S., TC Amin, Sidarto, S. Santoso dan W. Gunawan. 1994. *Peta Geologi Lembar Kota Agung skala 1: 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Hidayati, S. 2010. *Pengenalan Seismologi Gunungapi*. Diklat Pelaksana Pemula Pengamat Gunungapi Baru. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.
- Hutchison, C. S. 1973. Tectonic Evolution of Sundaland: A Phanerozoic Synthesis. *Proceedings Regional Conference on the Geology of South East Asia, Geological Society of Malaysia*. Vol. 6. Hal. 61-86.

- Irsyam, M., Himawan, A., Subki, B.A. dan Suntoko, H. 1999. Analisis Seismisitas untuk Semenanjung Muria. *Prosiding Konferensi Nasional Rekayasa Gempa, Pemanfaatan Perkembangan Rekayasa Kegempaan dalam Rangka Penyempurnaan Peraturan dan Peningkatan Kepedulian Masyarakat Terhadap Bencana Gempa di Indonesia*. hal VI-9-VI-20.
- Kanai, K. 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo University. Japan.
- Kramer, S.L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, xviii.
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. Tokyo University. Japan.
- Sieh, K., S.N. Ward, D.H. Natawidjaja, and B.W. Suwargadi, Crustal deformation at the Sumatran subduction zone, *Geophysical Research Letters*, 26 (20), 3141-3144, 1999
- Telford, W. Geldart, L. Sheriff, R. dan Keys, D. 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. London.
- Tokimatsu K. 1995. Geotechnical site characterisation using surface waves *Proceedings of First Int. Conf. on Eartq. Geotechn. Eng.*, hlm. 1333-1368.