

**PENDUGAAN MEKANISME FOKUS (*FOCAL MECHANISM*)
GEMPABUMI DANGKAL DENGAN ANALISIS
PERGERAKAN AWAL GELOMBANG PRIMER DI
WILAYAH BANTEN**

SKRIPSI

Oleh:

ABDUL AZIZ AFIF

125090707111013



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENDUGAAN MEKANISME FOKUS (*FOCAL MECHANISM*)
GEMPABUMI DANGKAL DENGAN ANALISIS
PERGERAKAN AWAL GELOMBANG PRIMER DI
WILAYAH BANTEN

Oleh:
ABDUL AZIZ AFIF
125090707111013

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 30 MAY 2018
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. A. M. Juwono, PhD.
NIP.196004211988021001

Litanya Octonovriha, M. Si.
NIP.198910242009112001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda
NIP. 19640910 1990 021 001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LEMBAR PERNYATAAN

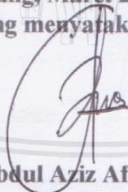
Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Abdul Aziz Afif
NIM : 125090707111013
Jurusan : Fisika
Judul Skripsi : Pendugaan Mekanisme Fokus (*Focal Mechanism*) Gempabumi Dangkal Dengan Analisis Pergerakan Awal Gelombang Primer Di Wilayah Banten

Menyatakan bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil pemikiran dan penelitian dari diri saya sendiri selama kegiatan pengolahan maupun penulisan laporan yang tertera dari bagian Skripsi. Apabila terdapat penyebutan hasil dari karya pihak lain, hal itu dilakukan sebagai rujukan, dan saya telah mencantulkannya dalam Daftar Pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan maupun tekanan dari pihak lain. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa dalam karya ini ada penjiplakan karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi.

Malang, Maret 2018
Yang menyatakan,



(Abdul Aziz Afif)
NIM. 125090707111013



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id

**PENDUGAAN MEKANISME FOKUS (*FOCAL MECHANISM*)
GEMPABUMI DANGKAL DENGAN ANALISIS
PERGERAKAN AWAL GELOMBANG PRIMER DI
WILAYAH BANTEN**

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di suatu zona yang terbagi atas dua zona yaitu Zona Krakatau dan Zona Ujung Kulon, Wilayah Banten. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi *focal mechanism* beserta menentukan jenis sesar di daerah tersebut. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode analisis pergerakan awal gelombang primer yang akan menghasilkan parameter sesar seperti *strike*, *dip*, dan *rake* yang terproyeksi dalam bentuk *beach ball* (bola fokus). Data yang digunakan adalah data primer berupa sinyal digital *waveform* periode 2010 hingga 2016 dengan kedalaman dangkal hingga 70 kilometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sesar yang terjadi di Zona Krakatau memiliki *strike* yang bernilai antara 174° sampai 191° , nilai *dip* antara 40° sampai 52° , nilai *rake* antara -70° sampai -98° pada empat kejadian terseleksi, sedangkan hasil dari Zona Ujung Kulon menunjukkan nilai *strike* antara 100° sampai 178° , nilai *rake* antara -18° sampai -126° , nilai *dip* antara 5° sampai 17° untuk empat kejadian terseleksi dan nilai *strike* antara 97° dan 105° , nilai *dip* antara 88° dan 89° , nilai *rake* antara 80° dan 102° untuk dua kejadian terseleksi.

Kata Kunci : Gempa Banten, sesar, *focal mechanism*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

repository.ub.ac.id

FUNCTION OF FOCAL MECHANISM (FOCAL MECHANISM) GETTING DIRECTLY WITH PREVIOUS MOVEMENT IN BANTEN AREA

ABSTRACT

The research has been done in a zone which was divided into two zones, namely Krakatau Zone and Ujungkulon Zone of Banten Region. The purposes of the research are to identify the focal mechanism and to determine the type of faults in the areas. The research uses primary wave movement analysis method that would produce the fault parameters such as strike, dip, and rake, projected in the form of beach ball (focal ball). Primary data has been used in the form of digital signals from 2010 to 2016 with the depth ranging from shallow up to 70 kilometers. The results showed that the faults occurring in the Krakatau Zone had strike values ranging from 174° to 191° , dip values between 40° to 52° , rake values between -70° to -98° on four selected events, whereas the results from the Ujung Kulon Zone showed strike values between 100° and 178° , rake values between -18° to -126° , dip values between 5° to 17° for four selected events and strike values between 97° and 105° , dip values between 88° and 89° , rake value between 80° and 102° for two selected events.

Keywords: Earthquake, Fault, *focal mechanism*, Banten.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Pendugaan Mekanisme Fokus (*Focal Mechanism*) Gempabumi Dangkal Dengan Analisis Pergerakan Awal Gelombang Primer Di Wilayah Banten**”. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademis untuk mendapatkan gelar Sarjana Fisika.

Sehubungan dengan selesainya penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis serta turut berperan dalam menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir ini. Rasa terima kasih penulis ucapkan kepada:

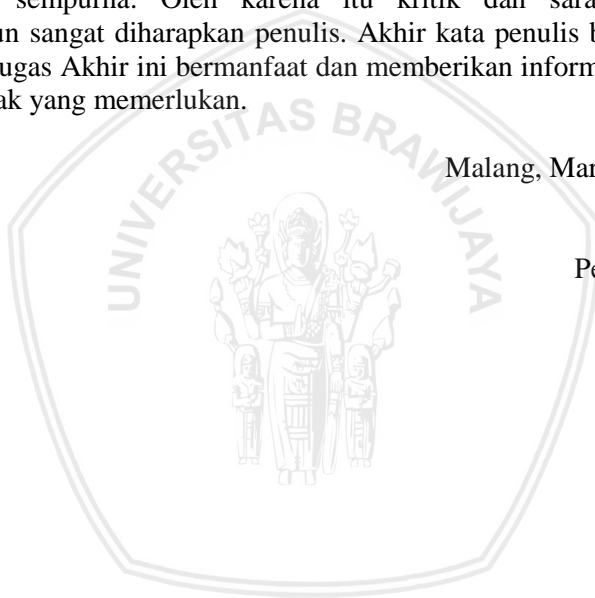
1. Ibu Halimatus Sa'diyah, Bapak Rachmat, Adik Alya Aulia Arisca serta seluruh keluarga yang selalu member doa dan dukungan serta semangat dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Drs. Alamsyah Muhammad Juwono, M.Sc., PhD. Selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu, nasihat dan arahan bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
3. Ibu Litanya Octonovrilna, S. Si., M. Si. Selaku pembimbing II selama Tugas Akhir yang berlangsung di kantor Stasiun Geofisika Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Klas 1 Kota Tangerang, Banten untuk segala ilmu, bimbingan dan kesabaran yang diberikan kepada penulis.
4. Mas Syawal BMKG Tretes, Mas Fawzy dan kerabat Geofisika ITB yang telah membantu penulis saat mengalami kesulitan dalam menganalisis data dan menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis.
5. Keluarga Mas Indra dan Mbak Idayang telah memberikan tempat tinggal dan dukungan selama di Tangerang.
6. Lutfi, Ridak, Roni dan kerabat Madura selaku sahabat penulis yang selalu member dukungan dan semangat pada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

7. Keluarga Geofisika Universitas Brawijaya Angkatan 2012 yang telah membantu serta mendukung penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Keluarga IPNU-IPPNU Universitas Brawijaya dalam dukungan spiritual.
9. Seluruh dosen dan staf jurusan Fisika serta Fakultas MIPA atas kesabaran pelayanan akademis yang diberikan selama ini kepada penulis.
10. Dan seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis. Akhir kata penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat dan memberikan informasi bagi semua pihak yang memerlukan.

Malang, Maret 2018

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3 Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Tujuan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Manfaat Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1 Gempa Bumi.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.1 Parameter.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.2 Klasifikasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Lempeng Tektonik.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Gelombang Seismik.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Gelombang Badan	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Gelombang Permukaan	Error! Bookmark not defined.
2.4 Mekanisme Fokus.....	Error! Bookmark not defined.

2.5	Patahan	Error! Bookmark not defined.
2.6	Mekanisme Sumber Gempa..	Error! Bookmark not defined.
2.6.1	Pergerakan Awal Gelombang P.....	Error! Bookmark not defined.
2.6.2	Tatanan Tektonik.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN ...		Error! Bookmark not defined.
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2	Rancangan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3	Materi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4	Langkah Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4.1	Clustering Zona Gempa....	Error! Bookmark not defined.
3.4.2	<i>Picking</i> Gelombang	Error! Bookmark not defined.
3.4.3	Beach Ball	Error! Bookmark not defined.
3.4.4	Mapping.....	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		Error! Bookmark not defined.
4.1	Zona Krakatau	Error! Bookmark not defined.
4.2	Zona Ujungkulon.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP		Error! Bookmark not defined.
5.1	Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2	Saran.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA.....		Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN		Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Cakupan daerah penelitian (Google Earth, 2018).**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 1 Struktur lapisan bumi (Beiser, 1979) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 2 Peta persebaran pertemuan lempeng (Noor, 2014)
..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 3 Terjadinya tumbukan lempeng (Setyanta dan Setiadi, 2010)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.4 Hiposenter dan episenter (Jia, 2016) . **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 5 Lempeng tektonik di dunia (Spilhaus, 1991).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 6 Dampak pergerakan lempeng (Setyanta dan Setiadi, 2010)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 7 Gelombang P (Elnashai & Sarno, 2008).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 8 Gelombang S (Elnashai & Sarno, 2008).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 9 Gelombang Rayleigh (Elnashai & Sarno, 2008) ..**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 10 Gelombang Love (Elnashai & Sarno, 2008).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 11 Bola fokus (Detweiler & Ellsworth, 2015).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 12 Macam-macam sesar (Inove, 1994) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 13 *Dip* (Mann, 2005) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 14 *Strike* (Mann, 2005) ... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 15 *Slip* (Mann, 2005) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 16 Bagian sesar (Mann, 2005)**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 17 Pergerakan Awal Gelombang P (Cronin, 2004) .**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 18 Bidang Nodal (Takagi, 1999) ...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 19 Diagram pengukuran sudut *strike* dan *dip* (Mann, 2005)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 20 Garis nodal pada penentuan sumbu P dan T dari kutub (Mann, 2005)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 21 Tektonik (Roberts, 2016).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 2 Peta penelitian (Google Earth, 2018) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 3 *waveform* gempa tanggal 31 Mei 2010 jam 12:17 WIB pada stasiun CNJI..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 4 Tampilan parameter gempa pada Notepad++**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 5 Tampilan program azmtak.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 6 Tampilan program PMAN.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 7 Contoh hasil penentuan bidang nodal**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 8 Tampilan bola fokus pada peta...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 1 Hasil Zona Krakatau **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 2 Hasil Zona Ujungkulon **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data parameter bidang sesar Zona Krakatau.....**Error!
Bookmark not defined.**

Tabel 4. 2 Data parameter bidang sesar Zona Ujungkulon**Error!
Bookmark not defined.**





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 *Beach ball* gempa Krakatau 10 September 2013 ...**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 2 *Beach ball* gempa Krakatau 12 September 2013 ...**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 3 *Beach ball* gempa Krakatau 5 Januari 2014.....**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 4 *Beach ball* gempa Krakatau 11 Juni 2015.....**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 5 *Beach Ball* gempa Ujungkulon 12 Januari 2011**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 6 *Beach Ball* gempa Ujungkulon 14 April 2012.....**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 7 *Beach Ball* gempa Ujungkulon 8 Januari 2014.....**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 8 *Beach Ball* gempa Ujungkulon 26 Maret 2014.....**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 9 *Beach Ball* gempa Ujungkulon 9 April 2015.....**Error!**
Bookmark not defined.
- Lampiran 10 *Beach Ball* gempa Ujungkulon 4 November 2015
..... **Error! Bookmark not defined.**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak dapat dicegah, dan seringkali menimbulkan banyak kerugian dan korban jiwa. Gempa bumi bisa terjadi karena adanya pertemuan lempeng bumi yang terus bergerak sehingga muncul sesar atau patahan. Indonesia termasuk negara yang dilewati oleh tiga lempeng raksasa, yaitu Lempeng Pasifik, Eurasia dan Indo-Australia serta berada pada *Ring of Fire*, yakni daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi yang berjajar mengelilingi cekungan Samudera Pasifik.

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), pada peta indeks risiko bencana gempa bumi tahun 2013, hampir 70% wilayah Indonesia berada pada status risiko tinggi, sementara Pulau Jawa hampir 90% merupakan wilayah risiko tinggi bencana gempabumi dan Provinsi Banten berada pada posisi kedua di Pulau Jawa.

Provinsi Banten berdampingan langsung dengan Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta, sehingga banyak masyarakat menjadikan wilayah tersebut sebagai tempat tinggal dan daerah penyangga kehidupan di Ibukota. Berdasarkan perekaman gempa bumi yang tercatat, telah terjadi gempa kuat dengan beberapa gempanya merupakan tipe zona dangkal yang dampaknya sangat rentan untuk kehidupan masyarakat. Daerah yang pernah mengalami gempa bumi ada juga kemungkinan suatu saat akan terjadi lagi gempa bumi di tempat yang sama maupun disekelilingnya. Jika ditinjau dari faktor kapasitas, bahaya dan kerentanan yang akan menimbulkan risiko, maka perlu adanya sistem peringatan dini yang prediktif serta ilmiah untuk dapat mereduksi kerugian materi maupun korban jiwa.

Karakter gempa bumi dapat dipelajari melalui lokasi (lintang dan bujur), waktu kejadian serta magnitudo (kekuatan gempa) dengan dilakukan analisa pada bola fokus yang mempresentasikan karakteristik sesar berdasarkan nilai *strike*, *dip*, dan *rake*.

Gempabumi pada prinsipnya merupakan penjalaran gelombang dari sumber gempa ke permukaan tanah melalui medium. Berdasarkan waktu tempuhnya, gelombang terbagi atas gelombang primer dan

sekunder, dengan waktu tiba di permukaan lebih cepat gelombang primer dibandingkan gelombang sekunder. Analisis pergerakan awal gelombang primer penulis pilih karena gelombang primer memiliki karakteristik waktu tempuh yang lebih cepat dari gelombang sekunder. Prinsip dari *focal mechanism* yang memerhatikan catatan gempa dari masa sebelumnya dapat dijadikan sebagai pedoman arah pergerakan lempeng pada masa berikutnya di wilayah tertentu secara prediktif.



Gambar 1. 1 Cakupan daerah penelitian (Google Earth, 2018)

Secara umum daerah yang akan dikaji dalam penelitian ini terletak dalam wilayah Provinsi Banten (Gambar 1.1) yang mencakup daerah Ujung Kulon dan Krakatau dengan kedalaman sekitar 70 kilometer yang merupakan zona gempa dangkal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, permasalahan untuk tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana mengidentifikasi *focal mechanism* pada gempabumi di daerah penelitian?

- repository.ub.ac.id
2. Bagaimana menentukan parameter (*strike*, *dip* dan *rake*) untuk didapatkan jenis sesar?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi pembahasan penelitian pada masalah pendugaan *focal mechanism* atau pola sesar dari gempa bumi yang terjadi di Ujung Kulon dan Krakatau Provinsi Banten dengan kedalaman 0-70 kilometer dari tahun 2010 sampai 2016 dengan analisis pergerakan awal gelombang primer.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah

1. Mengidentifikasi *focal mechanism* pada gempabumi di daerah penelitian.
2. Menentukan parameter (*strike*, *dip* dan *rake*) untuk didapatkan jenis sesar.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat menentukan *focal mechanism* dan pola sesar gempa untuk diketahui mekanisme terjadinya gempa serta berperan aktif dalam memberikan informasi ilmiah kepada pemerintah dan masyarakat yang berguna untuk mengurangi dampak resiko bencana gempa bumi khususnya di Provinsi Banten.



(Halaman sengaja dikosongkan)

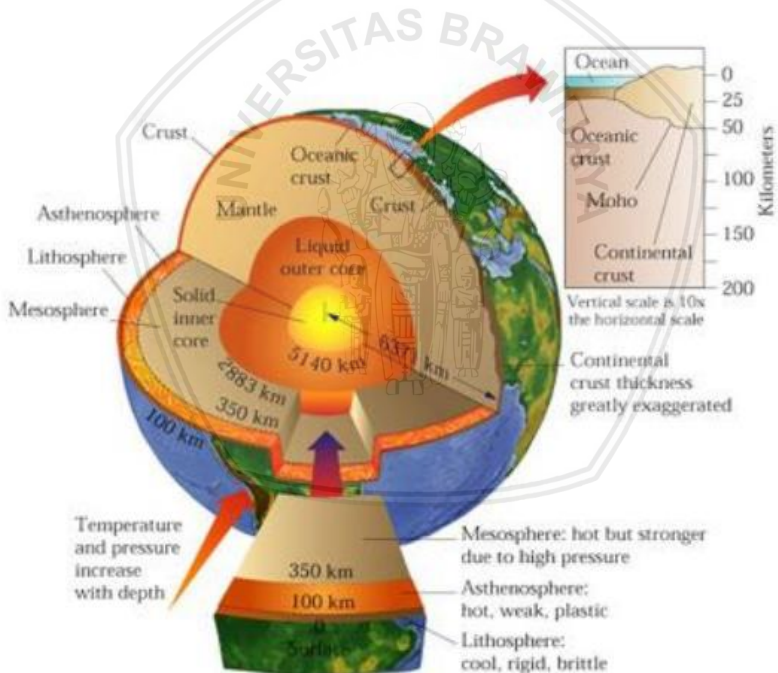




BAB II TINJAUAN PUSTAKA

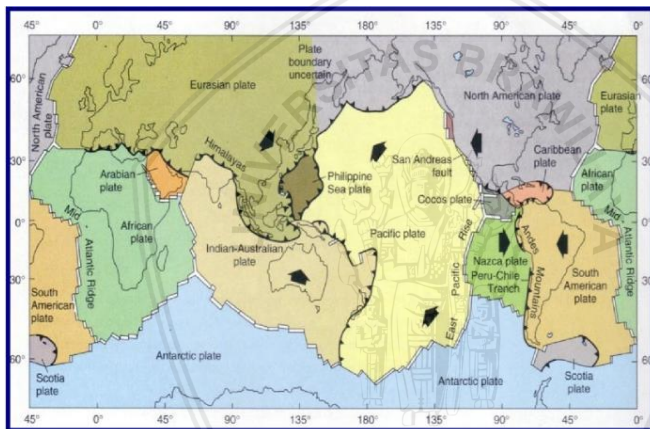
2.1 Gempa Bumi

Bumi terdiri atas 4 struktur lapisan (Gambar 2.1) yakni litosfer, stenosfer, mesosfer, dan inti bumi. Litosfer atau kerak bumi adalah lapisan terluar yang terdiri atas kerak samudra setebal kurang lebih 10 kilometer dan kerak benua setebal antara 30-70 kilometer. Di bawah litosfer terdapat astenosfer, yakni lapisan batuan setengah cair dengan suhu kira-kira 1.200⁰C. Astenosfer berada pada kedalaman antara 100-700 kilometer di bawah permukaan bumi. Di bawahnya lagi, dengan kedalaman antara 700-2.900 kilometer terdapat lapisan mesosfer dan yang terakhir adalah inti bumi terletak pada kedalaman 2.900-6.370 kilometer di bawah permukaan bumi. Lapisan astenosfer dan mesosfer bersama-sama juga disebut mantel bumi (Beiser, 1979).



Gambar 2. 1 Struktur lapisan bumi (Beiser, 1979)

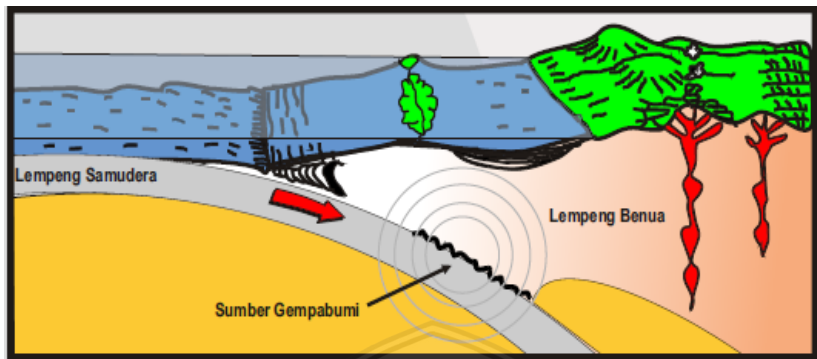
Jalur pertemuan tiga lempeng tektonik yang dilewati menyebabkan Indonesia sebagai daerah rawan gempa bumi (Gambar 2.2). Lokasi tumbukan Lempeng Australia dan Eurasia berada di lepas pantai barat Pulau Sumatera, lepas pantai selatan pulau Jawa, lepas pantai Selatan kepulauan Nusantara, dan berbelok ke arah utara menuju perairan Maluku sebelah selatan. Gambar 2.2 menurut Noor (2014), menjelaskan mengenai peta persebaran lempeng-lempeng utama litosfir. Konsep dari tektonik lempeng adalah litosfir (kerak Bumi) yang terpecah dalam beberapa lempeng kecil dan lempeng besar. Termasuk lempeng besar diantaranya Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, Lempeng India-Australia, Lempeng Afrika, Lempeng Amerika Utara, Lempeng Amerika Selatan dan Lempeng Antartika.



Gambar 2. 2 Peta persebaran pertemuan lempeng (Noor, 2014)

Proses gempa bumi terjadi ketika lempeng samudera dengan rapat massa yang lebih besar mengalami tumbukan (Gambar 2.3) dengan lempeng benua pada zona subduksi (tumbukan) dan mengalami penunjaman ke bawah kemudian lempeng tersebut mengalami perlambatan akibat gesekan yang menyebabkan energi menumpuk di zona patahan. Sehingga pada zona tersebut terjadi pergeseran, tekanan, dan tarikan. Pada saat lempeng berada di batas kemampuan elastis, terjadilah patahan batuan disertai pelepasan energi sehingga akan menimbulkan getaran partikel ke segala arah.

Proses tersebut merupakan gelombang gempabumi. (Setyanta dan Setiadi, 2010),



Gambar 2. 3 Terjadinya tumbukan lempeng (Setyanta dan Setiadi, 2010)

Kekuatan gempabumi dapat dianalisa melalui intensitas gempabumi. Tingkat kerusakan akibat gempabumi dapat dilihat berdasarkan Skala Mercalli.. Nilainya ditentukan pada kerusakan yang dihasilkan serta pengaruhnya pada benda-benda, bangunan, dan tanah. MMI (Modified Mercalli Intensity) merupakan skala yang diperkenalkan oleh Giuseppe Mercalli pada tahun 1902. Magnitudo gempa adalah besaran yang menyatakan energi sesimik oleh sumber gempa dengan satuan yang digunakan adalah Skala Richter yang diperkenalkan oleh Charles F. Richter tahun 1934. Misalnya gempabumi dengan kekuatan 8 Skala Richter setara dengan kekuatan bahan peledak TNT seberat 1 milyar ton.

2.1.1 Parameter

Parameter Gempabumi di antaranya waktu terjadinya gempabumi (*Origin Time - OT*), lokasi pusat gempabumi (*Episenter*), kedalaman pusat gempabumi (*Depth*), kekuatan gempabumi (*Magnitudo*). Karakteristik dari gempabumi dapat dianalisis dari kejadian yang berlangsung dalam waktu singkat berdasarkan lokasi kejadian gempabumi yang dapat menimbulkan bencana dan

berpotensi akan terulang lagi. Gempabumi belum dapat diprediksi dan tidak dapat dicegah tetapi akibat yang ditimbulkan dapat dikurangi (Arifin dan Nugraha, 2015). Beberapa parameter dasar gempa bumi yaitu Hiposenter dan Episenter (Gambar 2.4):

a. Hiposenter

Tempat pusat terjadinya gempa atau pergeseran lempeng di dalam bumi, dinyatakan sebagai jarak kedalaman dalam satuan km ($1^0 = 111$ km). Parameter hiposenter dan struktur kecepatan gelombang gempa dapat diketahui dari data waktu tiba gelombang gempa dari data gempa yang diketahui.

b. Episenter

Titik pusat gempa yang berada di atas permukaan bumi. Dibawah titik tersebut terjadi pelepasn energi oleh batuan sehingga terjadi patahan di kerak bumi.

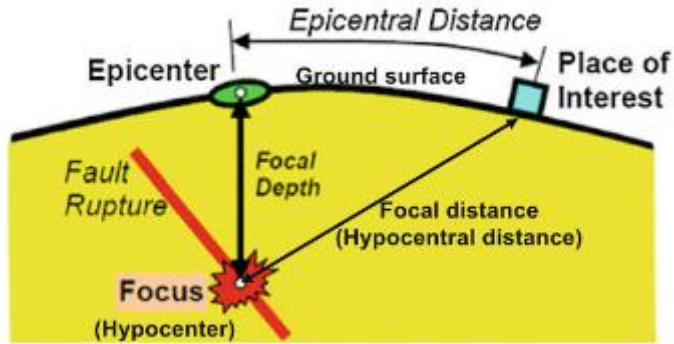
Penentuan letak titik episenter digunakan persamaan berikut:

$$L_{\text{episenter}} = \left(\frac{i_{N/S}}{i} \right) (\Delta^{\circ}) (L_{\text{stasiun}}) \quad (2.1)$$

$$B_{\text{episenter}} = \left(\frac{i_{E/W}}{i} \right) (\Delta^{\circ}) (B_{\text{stasiun}}) \quad (2.2)$$

dengan $L_{\text{episenter}}$ adalah titik lintang episenter, $B_{\text{episenter}}$ adalah titik bujur episenter, $i_{(N/S)}$ adalah setengah amplitudo gelombang pertama dari gelombang P pada komponen utara atau selatan, $i_{(E/W)}$ adalah setengah amplitudo gelombang pertama dari gelombang P pada komponen timur atau barat, Δ^0 adalah derajat yang ditentukan dari nilai Jeffreys-Bullent, L_{stasiun} adalah titik lintang stasiun, B_{stasiun} adalah titik bujur stasiun, sedangkan i (resultan impuls) didapat dari persamaan :

$$i = \sqrt{i_{(N/S)}^2 + i_{E/W}^2} \quad (2.3)$$



Gambar 2.4 Hiposenter dan episenter (Jia, 2016)

c. Skala gempa

Dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya gempabumi dinyatakan dengan skala. BMKG telah menyusun dampak dari gempabumi berdasarkan tipe bangunan di Indonesia yang disusun dengan lima tingkatan. Di Indonesia digunakan skala intensitas MMI (*Modified Mercalli Intensity*) versi tahun 1931.

d. *Origin Time*

Waktu terjadinya gempa bumi (*Origin Time*) merupakan waktu terlepasnya akumulasi tegangan dalam bentuk menjalarnya gelombang gempa bumi serta dinyatakan dengan detik, menit, jam, tanggal, bulan, tahun dengan satuan *Universal Time Coordinated* (UTC).

e. Magnitudo

Parameter gempa yang sering digunakan masyarakat untuk mengukur besar atau kecilnya suatu gempa adalah magnitudo. Magnitudo merupakan ukuran untuk menyatakan kekuatan gempa bumi berdasarkan energi yang dipancarkan pada saat terjadinya gempa bumi dan dinyatakan dalam Skala Richter. Pengukuran magnitudo yang dilakukan di tempat yang berbeda, harus menghasilkan harga yang sama walaupun gempa yang dirasakan di tempat-tempat tersebut tentu berbeda. Pada umumnya magnitudo diukur berdasarkan amplitudo dan periode fase gelombang tertentu. Rumus untuk

menentukan magnitudo gempa yang umum dipakai pada saat ini adalah :

$$M = \log \frac{a}{T} + f(\Delta, h) + C_s + C_R \quad (2.4)$$

di mana M adalah magnitudo, a adalah amplitudo gerakan tanah (dalam mikrometer), T adalah periode gelombang, Δ adalah jarak pusat gempa atau episenter, h adalah kedalaman gempa, C_s merupakan faktor koreksi stasiun yang bergantung pada jenis batuan di sekitar permukaan ataupun kondisi topografi, dan C_R adalah koreksi regional yang berbeda untuk setiap daerah gempa.

2.1.2 Klasifikasi

Menurut Nandi (2006), terdapat empat sebab yang menimbulkan gempa bumi, yaitu:

a. Runtuhan interior bumi

Runtuhnya lubang-lubang interior seperti gua atau tambang batuan maupun mineral dalam bumi menyebabkan getaran di atas permukaan, akan tetapi getaran ini tidak terlalu besar dan terjadi secara lokal.

b. Tabrakan (*impack*)

Tabrakan meteor atau benda langit lainnya dapat menyebabkan getaran, namun jarang terekam oleh alat pencatat gempa bumi.

c. Letusan Gunungapi

Aktivitas gunungapi dapat menimbulkan gempa yang disebut gempa vulkanik. Gempa bumi ini terjadi sebelum, selama maupun sesudah letusan gunungapi. Penyebab utamanya adalah persentuhan antara magma dengan dinding gunungapi dan tekanan gas pada letusan yang kuat.

d. Kegiatan tektonik

Efek yang sangat besar dari gempabumi berasal dari aktivitas tektonik atau lempeng bumi, mencakup 90% dari seluruh kejadian gempabumi dan berdampak dengan adanya kegiatan gaya tektonik yang terus berlangsung dalam pembentukan gunung maupun terjadinya patahan/tarikan/tekanan dari pergerakan lempeng batuan penyusun kerak bumi.

Proses dan jalur gempabumi tektonik di dunia dapat dijelaskan melalui teori tektonik lempeng. Bagian paling aktif sepanjang jalur

pusat gempa bumi terletak pada sepanjang busur kepulauan dan tepi benua. Proses gempa tektonik ini berkaitan dengan zona subduksi sehingga menyebabkan terjadinya perubahan bentuk yang menghasilkan pola baru dan disebut struktur diastropik.

Bentuk struktur diastropik adalah pelengkungan, pelipatan, patahan, dan retakan. Berikut keterangan bentuk tersebut :

- a. Pelengkungan, lapisan kulit bumi yang awalnya mendatar jika mendapat tekanan vertikal akibatnya membentuk struktur melengkung. Lengkungan yang mengarah ke atas disebut juga dengan kubah (dome) dan yang mengarah ke bawah yang disebut juga dengan basin.
- b. Lipatan adalah akibat dari tekanan arah mendatar pada kulit bumi. Sementara punggung lipatan disebut antiklinal dan lembah lipatan disebut sinklinal.
- c. Patahan terjadi karena tekanan atau gerakan tektonik secara horizontal maupun vertikal di kulit bumi yang rapuh. Daerah patahan ini adalah daerah yang rawan gempa karena daerah tersebut rapuh. Patahan disebut juga dengan sesar.
- d. Retakan terjadi disebabkan karena gaya regangan yang menyebabkan batuan menjadi retak.

Terjadinya gempa bumi biasanya diiringi oleh beberapa macam gempa kecil, di antaranya:

- a. *Foreshock*
Deretan gempa yang terjadi sebelum gempa utama, tak ada tanda-tanda berapa lama gempa akan terjadi setelah *foreshock* ini.
- b. *Aftershock*
Deretan gempa yang terjadi setelah gempa utama. Dapat terjadi selama berbulan – bulan.
- c. *Swarm*
Sejumlah gempa kecil tanpa ada gempa bumi utama.

Menurut bentuk episenternya:

- a. Gempa sentral yaitu episenternya berbentuk titik.
- b. Gempa linear yaitu episenternya berbentuk garis.

Menurut kedalaman hiposenternya (Spence, 1989):

- repository.ub.ac.id
- Gempa bumi dalam dengan kedalaman hiposenter melebihi 300 km di bawah permukaan bumi.
 - Gempa bumi menengah dengan kedalaman hiposenter yang berada antara 70-300 km di bawah permukaan bumi.
 - Gempa bumi dangkal dengan kedalaman hiposenter yang kurang dari 70 km di bawah permukaan bumi.

Menurut kekuatan Magnitude (M) (Spence, 1989):

- Gempa sangat besar, $M > 8,0$
- Gempa besar, $7,0 < M < 7,9$
- Gempa sedang, $5,5 < M < 6,0$
- Gempa mikro, $2,5 < M < 5,4$

Menurut lokasinya

- Gempa daratan, episentrumnya berada di daratan.
- Gempa lautan, episentrumnya berada di dasar laut. Gempa jenis inilah yang rawan menimbulkan terjadinya tsunami.

2.2 Lempeng Tektonik

Menurut teori lempeng tektonik, permukaan bumi terpecah menjadi beberapa lempeng tektonik besar. Lempeng tektonik adalah segmen keras kerak bumi yang mengapung di atas astenosfer yang cair dan panas. Oleh karena itu, lempeng tektonik ini bebas untuk saling berinteraksi satu sama lain. Daerah perbatasan lempeng-lempeng tektonik (Gambar 2.5), merupakan tempat-tempat yang memiliki kondisi tektonik yang aktif, yang menyebabkan gempa bumi, gunung berapi dan pembentukan dataran tinggi. Teori lempeng tektonik merupakan kombinasi dari teori sebelumnya yaitu: Teori Pergerakan Benua (*Continental Drift*) dan Pemekaran Dasar Samudra (*Sea Floor Spreading*).



Gambar 2. 5 Lempeng tektonik di dunia (Spilhaus, 1991)

Lapisan litosfer dibagi menjadi lempeng-lempeng tektonik (*tectonic plates*). Di bumi, terdapat tujuh lempeng utama dan banyak lempeng-lempeng yang lebih kecil. Lempeng-lempeng litosfer ini menumpang di atas astenosfer. Bergerak relatif satu dengan yang lainnya di batas-batas lempeng, baik *divergen* (menjauh), *konvergen* (bertumbukan), ataupun *transform* (menyamping). Gempa bumi, aktivitas vulkanik, pembentukan gunung, dan pembentukan palung samudera umumnya terjadi di daerah sepanjang batas lempeng. Pergerakan lateral lempeng berkecepatan 50–100 mm/tahun (Read & Janet, 1975). Umumnya, gerakan ini berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan oleh manusia namun terukur sebesar 0-15cm pertahun. Pergerakan lempeng (Gambar 2.6) akan berdampak dan saling berkaitan sehingga terjadi pengumpulan energi hingga batuan pada lempeng tersebut akan melepaskan energinya dan terjadilah gempabumi.



Gambar 2. 6 Dampak pergerakan lempeng (Setyanta dan Setiadi, 2010)

Menurut Henry (1978), pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, geolog berasumsi bahwa kenampakan-kenampakan yang ada di bumi ada sejak dulu tanpa perubahan yang signifikan. Kebanyakan kenampakan geologis seperti pegunungan bisa dijelaskan dengan pergerakan vertikal kerak seperti dijelaskan dalam teori geosinklin. Sejak tahun 1596, telah diamati bahwa pantai Samudera Atlantik yang berhadapan-hadapan antara benua Afrika dan Eropa dengan Amerika Utara dan Amerika Selatan memiliki kemiripan bentuk dan nampaknya pernah menjadi satu. Ketepatan ini akan semakin jelas jika dilihat tepi-tepi dari paparan benua.

Dua lempeng akan bertemu di sepanjang batas lempeng (*plate boundary*), yaitu daerah di mana aktivitas geologis umumnya terjadi seperti gempa bumi dan pembentukan kenampakan topografis seperti gunung, gunung berapi, dan palung samudera. Mayoritas gunung berapi yang aktif di dunia berada di atas batas lempeng, seperti Cincin Api Pasifik (*Pacific Ring of Fire*) di Lempeng Pasifik yang paling aktif dan terkenal. Perbedaan antara kerak benua dengan kerak samudera ialah berdasarkan material penyusunnya. Kerak samudera lebih padat daripada kerak benua dengan ketebalan kerak benua mulai dari 35 kilometer di daratan dan 70 kilometer di daerah pegunungan. Kerak benua lebih padat karena komposisinya yang mengandung lebih sedikit silikon dan lebih banyak materi yang berat. Dalam hal ini, kerak samudera dikatakan lebih bersifat mafik ketimbang felsik (Victor A & William, 2008).

Pergerakan lempeng tektonik bisa terjadi karena kepadatan relatif litosfer samudera dan karakter astenosfer yang relatif lemah. Pelepasan panas dari mantel bumi berperan sebagai sumber asli energi yang menggerakkan lempeng tektonik. Kelebihan kepadatan litosfer samudera yang membuat penyusupan ke bawah di zona subduksi

adalah sumber terkuat pergerakan lempengan. Menurut Landa (2016), pada waktu pembentukannya di *mid ocean ridge*, litosfer samudera pada mulanya memiliki kepadatan yang lebih rendah dari astenosfer di sekitarnya, tetapi kepadatan ini meningkat seiring dengan penuaan karena terjadinya pendinginan dan penebalan. Besarnya kepadatan litosfer bersifat relatif terhadap astenosfer di bawahnya, sehingga memungkinkan terjadinya penyusupan ke mantel yang berada di zona subduksi, sehingga menjadi sumber sebagian besar kekuatan penggerak-pergerakan lempengan. Kelemahan astenosfer memungkinkan lempengan untuk bergerak secara mudah ke arah zona subduksi.

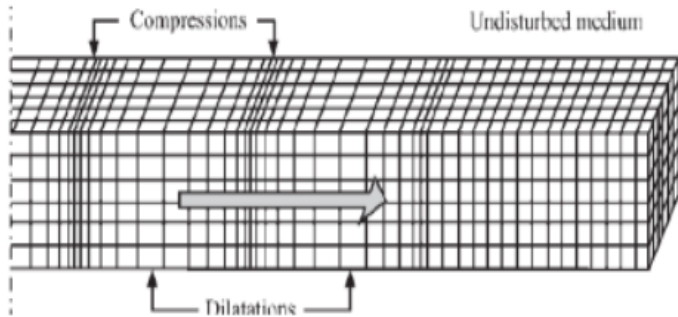
2.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik terjadi saat gempa bumi yang dipengaruhi oleh penjarangan gelombang di bawah permukaan bumi. Penjarangan tersebut bergantung pada medium penjarangannya serta kondisi struktur kulit bumi dan persebaran gaya. Karakter gelombang seismik yaitu menjalar di dalam bumi dan diklasifikasikan menjadi gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*body wave*) (Reza, 2008).

2.3.1 Gelombang Badan

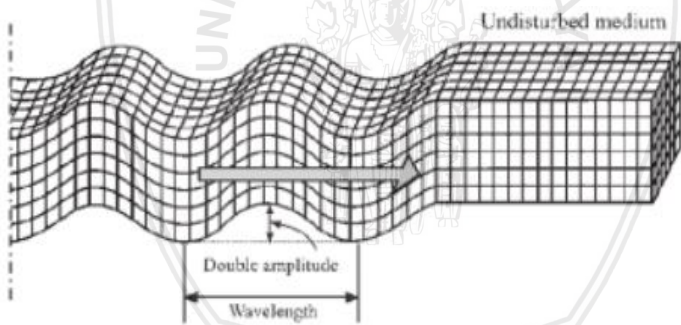
Gelombang dengan perambatan melalui lapisan di dalam bumi, terdiri dari dua macam yakni :

- a. Gelombang Longitudinal (Gambar 2.7) atau primer (P), merupakan gelombang berarah rambat searah, dengan arah getar partikel medium yang dilewatinya. Memiliki kecepatan paling tinggi dibanding gelombang lainnya dan memiliki waktu tiba lebih dahulu. Gelombang ini sering digunakan dalam penentuan mekanisme sumber gempa.



Gambar 2. 7 Gelombang P (Elnashai & Sarno, 2008)

- b. Gelombang Transversal (Gambar 2.8) atau sekunder (S), merupakan gelombang berarah rambat tegak lurus, dengan arah gerak partikel mediumnya. Memiliki waktu tiba setelah gelombang P, dengan dua komponen yakni gelombang berpartikel horizontal serta gelombang berpartikel vertikal.



Gambar 2. 8 Gelombang S (Elnashai & Sarno, 2008)

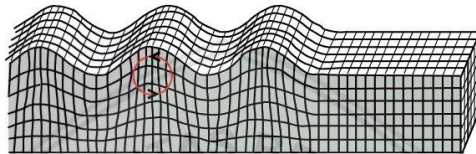
Meskipun gelombang badan mampu menjalar ke segala arah di permukaan bumi, akan tetapi, tidak mampu menembus inti bumi sebagai gelombang transversal. Kejadian ini membuktikan bahwa inti luar bumi berupa fluida.

2.3.2 Gelombang Permukaan

Gelombang Permukaan merupakan gelombang yang menjalar sepanjang permukaan pada lapisan bumi dengan frekuensi rendah. Gelombang ini terbagi menjadi :

- a. Gelombang Rayleigh (Gambar 2.9), merupakan gelombang yang merambat pada tanah seperti suatu gelombang di danau atau lautan. Gelombang ini memiliki arah rambat yang berlawanan arah dengan getarannya.

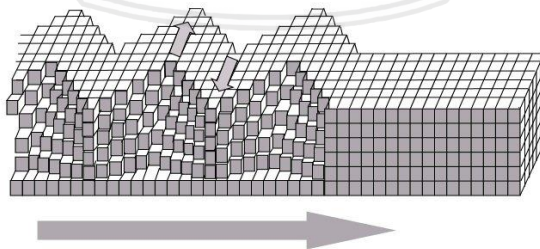
Rayleigh Wave



Gambar 2. 9 Gelombang Rayleigh (Elnashai & Sarno, 2008)

- b. Gelombang Love (Gambar 2.10), memiliki rambatan yang lebih cepat dibandingkan dengan gelombang Rayleigh sehingga akan tercatat pada seismograf terlebih dahulu. Gelombang ini bergerak pada bidang horisintal dan merambat di batas lapisan. Penjalaran gelombang Love bergantung pada variasi sepanjang penjalaran dan panjang gelombangnya.

Love Wave



Gambar 2. 10 Gelombang Love (Elnashai & Sarno, 2008)

Menurut Shearer (2009), kecepatan rambat gelombang tergantung pada kepadatan dan elastisitas medium yang dilalui. Kecepatan cenderung meningkat sesuai kedalaman dan berkisar dari sekitar 2 sampai 8 km/s di kerak bumi, hingga 13 km/s di dalam mantel bumi yang dalam. Gempa bumi menghasilkan jenis gelombang yang berbeda sesuai dengan kecepatan rambatnya, ketika terekam oleh seismogram, akan terlihat waktu perjalanan yang berbeda dan ini digunakan untuk menemukan sumber hiposenter tersebut. Respon dari gelombang seismik digunakan untuk menyelidiki kedalaman maupun struktur bawah permukaan.

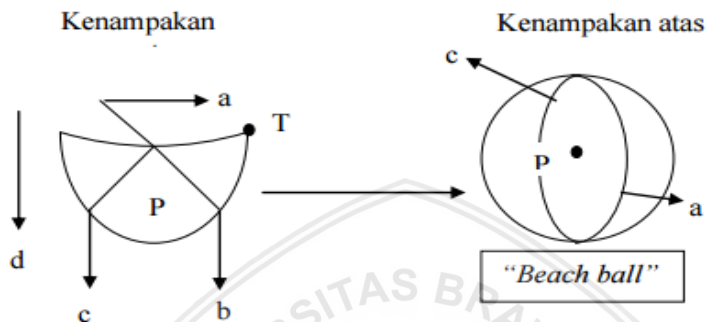
2.4 Mekanisme Fokus

Suatu solusi mekanisme fokus adalah hasil dari analisis bentuk gelombang yang dihasilkan oleh gempa bumi dan direkam oleh sejumlah seismograf. Biasanya diperlukan setidaknya 10 catatan gempa untuk menghasilkan mekanisme fokus yang ideal dan stasiun seismograf harus terdistribusi di sekitar pusat gempa. Karakterisasi mekanisme fokus gempa menyediakan informasi penting, termasuk waktu asal, lokasi pusat gempa dan besarnya orientasi spasial dari 9 komponen tensor momen.

Mekanisme fokus gempa menggambarkan deformasi di wilayah sumber gempa yang menghasilkan gelombang seismik. Peristiwa ini berhubungan dengan patahan yang bergeser dan vektor slip yang bisa digunakan sebagai penentuan patahan. Mekanisme fokus yang berasal dari solusi tensor momen untuk gempa, dapat diperkirakan melalui analisa bentuk gelombang seismik yang diamati. Mekanisme fokus didapatkan dari mengamati pola "gerakan pertama" yaitu pada gelombang P kompresi atau dilatasi. Metode ini diamati sebelum gelombang secara keseluruhan tercatat dan dianalisa secara digital. Mekanisme fokus berasal dari analisis bentuk gelombang yang tercatat (Sipkin, 1994).

Menurut Kongko (2011) Gempa bumi tektonik terjadi karena pergerakan yang diawali dari dasar laut dan mengakibatkan pergerakan vertikal dasar laut. Teori dislokasi digunakan untuk model deformasi pada simulasi numerik tsunami yang dikenalkan ke dalam disiplin ilmu oleh Steketee tahun 1958. Arah dan orientasi

sesar pada saat gempa bumi yang terjadi disebut mekanisme fokus. Informasi dari seismogram digunakan untuk menghitung mekanisme fokus dan tampilannya pada peta sebagai simbol “*beach ball*”. Simbol ini adalah sebuah proyeksi bidang horizontal, kerangka bola (bola fokus) melingkupi sumber gempa bumi. *Beach ball* (Gambar 2.11) juga menggambarkan orientasi tegangan.



Gambar 2. 11 Bola fokus (Detweiler & Ellsworth, 2015)

Keterangan Gambar 2.11 :

- a : bidang patahan
- b : proyeksi bidang patahan
- c : bidang bantu
- d : kedalaman
- P : tekanan
- T : tegangan

(Detweiler & Ellsworth, 2015)

Beach ball berisi sumbu tegangan (T), yang merefleksikan arah *stress compressive* minimum dan tekanan (P), yang merefleksikan arah *stress compressive* maksimum. Perhitungan mekanisme fokus ditampilkan pada sumbu P dan T dan tidak menggunakan bayangan (*shading*). Tiga contoh pertama pergerakan sesar yaitu *fault motion* yang murni horizontal (*strike slip*) atau vertikal (normal atau *reverse*). Mekanisme *oblique reverse* diilustrasikan bahwa *slip* dapat juga mempunyai komponen dari horizontal dan vertikal. Parameter sesar bumi terdiri dari dua lempeng utama yaitu lempeng benua dan lempeng samudra. Lempeng-lempeng di bumi terus aktif bergerak.

Pergerakan lempeng membuat kemungkinan adanya tubrukan semakin besar, sehingga dapat menghasilkan patahan. Bidang atau bagian kulit bumi yang retak atau patah disebut patahan. Bidang patahan yang sudah mengalami pergerakan disebut sesar atau *fault*. Pergeseran bidang patahan tersebut bisa terjadi secara horizontal dan vertikal.

2.5 Patahan

Patahan, atau sesar, adalah pergerakan secara vertikal ataupun horizontal yang bergeser tanpa terbentuknya kerak baru. Pergeseran dapat berkisar milimeter hingga ratusan meter, dan panjangnya dapat mencapai beberapa desimeter hingga ribuan meter. Sesar dapat terjadi pada segala jenis batuan. Akibat terjadinya pergeseran tersebut, sesar akan mengubah perkembangan topografi, dan bawah permukaan hingga merusak stratigrafi batuan.

Berdasarkan arah gerak dan pergeserannya ada beberapa jenis patahan atau sesar (Gambar 2.12), yaitu:

1. Sesar naik (*reverse*)

Sesar naik adalah gejala pergeseran atau gerakan sesar apabila *hanging wall* relatif bergerak ke atas terhadap *footwall*. Sesar naik biasa disebut *reverse fault*.

2. Sesar turun (*normal*)

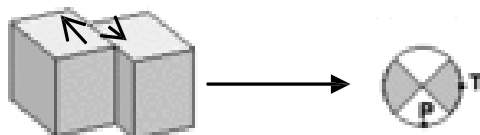
Sesar turun adalah gerakan sesar di mana bagian dinding atau *hanging wall* relatif bergerak turun terhadap alas sesarnya (*foot wall*). Sesar turun biasa disebut dengan sesar normal.

3. Sesar geser (*strike slip*)

Sesar geser adalah sesar yang antara gerakannya relatif mendatar atau horizontal, tidak terjadi pergerakan naik atau turun pada sesar. Sesar ini terbagi atas *Strike slip left lateral fault* yaitu apabila *hanging wall* bergerak ke kiri dan *Right lateral strike slip fault* apabila bergerak ke kanan. Sesar geser biasa disebut *strike slip*.

4. Sesar *oblique reverse*

Sesar yang arah pergerakan sesarnya campuran, baik naik atau turun dan bergeser secara horizontal. Sesar ini bisa disebut dengan *oblique reverse*.



Strike slip

(sesar geser)

Normal

(sesar turun)

Reverse

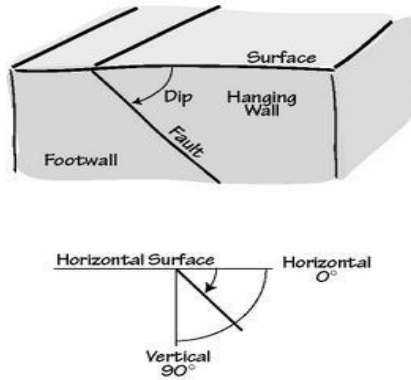
(sesar naik)

Oblique reverse



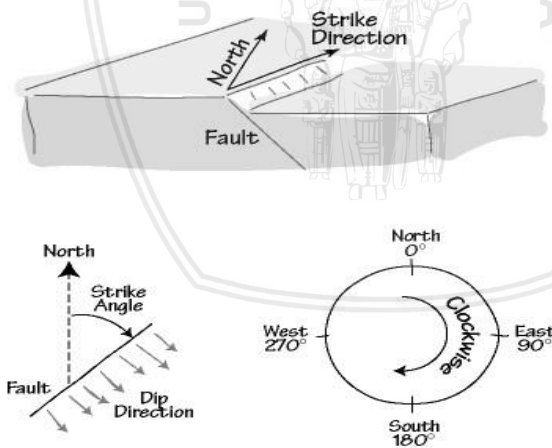
Gambar 2. 12 Macam-macam sesar (Inove, 1994)

Sesar memiliki parameter yang terdiri dari sudut *strike*, *dip* dan *slip*. *Dip* adalah sudut yang terbentuk antar permukaan sesar dan bidang sesar. Sudut tersebut diukur dari permukaan bumi dengan sudut horizontal 0^0 dan untuk vertikal 90^0 . Ilustrasi *dip* dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Dip (Mann, 2005)

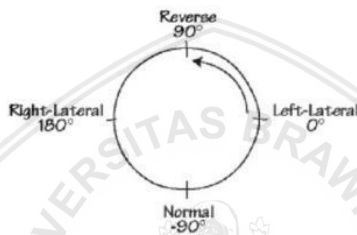
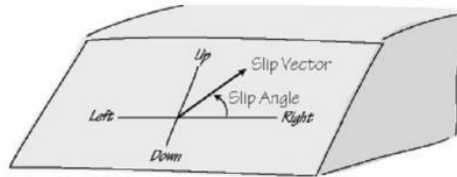
Strike ($^{\circ}$) seperti pada Gambar 2.14 adalah sebuah sudut yang digunakan khusus untuk orientasi sesar dan diukur searah jarum jam dari arah utara ke timur. Rentang *strike* adalah 0° sampai 360° yang dibagi menjadi empat kuadran. Setiap kuadran memiliki sudut 90° (Gambar 2.14).



Gambar 2. 14 Strike (Mann, 2005)

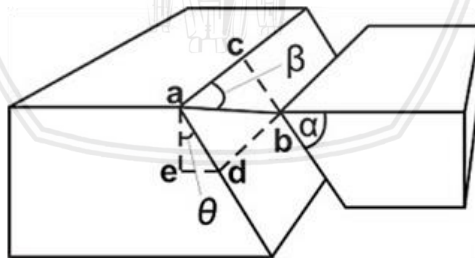
Dip (δ) dan *strike* menggambarkan orientasi dari sesar. Arah pergerakan silang dari sesar adalah *slip*. *Slip* (Gambar 2.15) diukur pada permukaan sesar dan seperti *dip* dan *strike*, *slip* merupakan

sebuah sudut. *Slip* menggambarkan arah sudut dari *hanging wall* ke *foot wall*. Jika *hanging wall* bergerak ke kanan maka sudut *slip* ialah 0° , jika bergerak ke atas maka *slip* bernilai 90° , apabila bergerak ke kiri sudut *slip* senilai 180° dan jika bergerak turun maka sudutnya 270° atau -90° .



Gambar 2. 15 Slip (Mann, 2005)

Rake (λ) adalah sudut yang dibentuk oleh *net slip* dengan *strike slip* (pergeseran horisontal searah jurus) pada bidang sesar. Bagian-bagian sesar dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Bagian sesar (Mann, 2005)

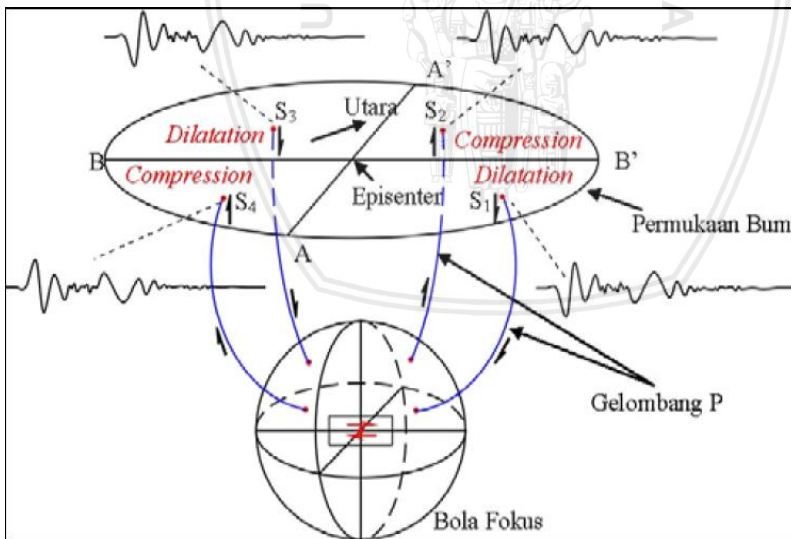
Menurut Aki & Richard (1980) parameter sesar dapat digunakan untuk penentuan jenis sesar berdasarkan nilai *strike*, *dip* dan *rake* yaitu :

- Sesar naik, jika $\delta \neq 0^\circ$ dan $\delta \neq 90^\circ$ dan $0^\circ \leq \lambda \leq +180^\circ$
- Sesar turun, jika $\delta \neq 0^\circ$ dan $\delta \neq 90^\circ$ dan $-180^\circ \leq \lambda \leq 0^\circ$
- Sesar geser, jika $\delta = 90^\circ$ dan $\lambda = 0^\circ$ (geser kiri) atau $\lambda = 180^\circ$ (geser kanan)

2.6 Mekanisme Sumber Gempa

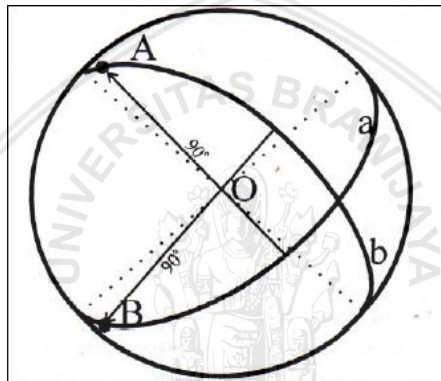
2.6.1 Pergerakan Awal Gelombang P

Penentuan sumber gempa dengan pergerakan gelombang P (Gambar 2.17), akan dapat digunakan untuk menentukan model sesar gempa, sesuai dengan bidang nodal hasil pengamatan polaritas dari gelombang P. Menurut (Kawakatsu & Cadena, 1991), stasiun seismograf disekitar pusat gempa dengan jumlah banyak, akan dengan mudah dikelompokkan antara kelompok stasiun perekam dilatasi, dan kelompok stasiun perekam kompresi. Akan tetapi, jumlah stasiun yang terbatas tidak mampu menentukan mekanisme pergerakan pusat gempanya. Saat terjadi gempa bumi akan terpancar ke segala arah berbentuk gelombang. Gelombang P merupakan fase awal yang tercatat.



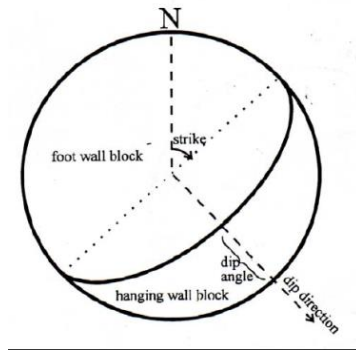
Gambar 2. 17 Pergerakan Awal Gelombang P (Cronin, 2004)

Sesuai Gambar 2.17, gerakan awal gelombang P yang menjauhi sumber gempa merupakan kompresi (*compression*), dilihat dari arah gelombang yang mengarah ke atas. Pada bagian dilatasi (*dilatation*) gerakan awal gelombang P mengarah ke bawah, yang berarti mendekati sumber gempa. Persebaran polaritas pergerakan awal gelombang P, dapat digambarkan dengan menentukan dua bidang nodal. Pada gambar 2.18, dua bidang nodal dinyatakan pada diagram sebagai dua garis. Kedua bidang tersebut tegak lurus satu dan lainnya, sehingga masing-masing bidang berpotongan di pusatnya yang merupakan vektor tegak lurus bidang. Vektor dengan arah yang menjauhi hiposenter ditandai dengan titik potong, antara vektor dan bola pusat gempa yang diproyeksikan melalui suatu titik.



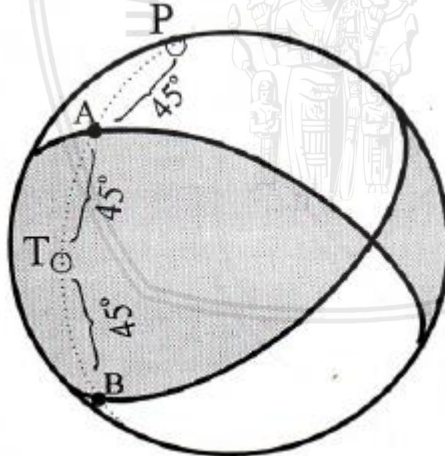
Gambar 2. 18 Bidang Nodal (Takagi, 1999)

Menurut Karyadi (2008) dua garis nodal yang membagi diagram menjadi empat kuadran dilatasi dan kompresi gelombang seismik biasanya dinyatakan dengan arsiran. Parameter bidang nodal terdiri dari sudut *strike*, *dip*, dan *rake*. Sesar merupakan salah satu bagian dari bidang nodal tersebut. Penentuan parameter bidang sesar (Gambar 2.19) sesuai dengan penjelasan berikut:



Gambar 2. 19 Diagram pengukuran sudut *strike* dan *dip* (Mann, 2005)

- a. *Strike*, di sebelah kanan arahnya merupakan *hanging wall* dan diukur dari arah utara searah jarum jam.
- b. *Dip*, pengukuran dengan bagian kanan berbentuk setengah lingkaran.

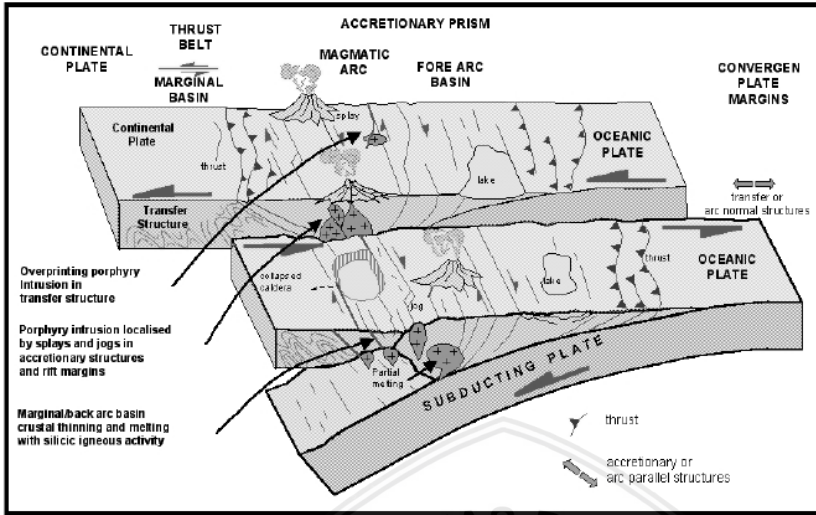


Gambar 2. 20 Garis nodal pada penentuan sumbu P dan T dari kutub (Mann, 2005)

- c. Daerah sumbu tekanan P (*down*) dan daerah sumbu tarikan T (*up*) berada pada titik 45° dari titik A dan B. Kuadran dilatasi ditandai dengan sumbu P dan kuadran kompresi dengan sumbu T dengan arsiran sesuai Gambar 2.20. Garis dua bidang nodal yang berpotongan disebut sumbu N dengan arah stress nol. Kompresi dan dilatasi menunjukkan arah pergerakan awal gelombang P sedangkan tarikan dan tekanan menunjukkan arah gaya yang bekerja pada hiposenter.
- d. Vektor *slip* pada satu bidang nodal tegak lurus pada bidang nodal yang lain sehingga vektor *slip* pada bidang nodal berhubungan dengan kutub vektor bidang nodal yang lain. *Rake* dari vektor *slip* diartikan sebagai sudut antara arah vektor *slip* dan *strike*.

2.6.2 Tatanan Tektonik

Secara umum tektonik di Pulau Jawa dipengaruhi oleh tumbukan Lempeng India-Australia dengan Lempeng Eurasia. Lempeng ini telah berinteraksi dan menghasilkan tatanan geologi yang kompleks pada bagian Jawa Barat dan Banten. Peristiwa tektonik global yang merupakan rangkaian aktivitas geologi seperti penunjaman, pergeseran antar lempeng, pemecahan kontinen dan tumbukan yang menghasilkan tatanan berupa busur depan, busur gunungapi, palung, busur luar non vulkanik seperti yang ada di Gambar 2.21.



Gambar 2. 21 Tektonik (Roberts, 2016)

Sesar regional yang berada di Pulau Jawa, dinamakan pola Meratus yang berarah timurlaut-baratdaya, dan ditunjukkan dengan adanya sesar Cimandiri dari Pelabuhan Ratu (Sukabumi) hingga daerah Kalimantan Timur, tepatnya di Pegunungan Meratus. Diyakini oleh peneliti, bahwa pola ini merupakan yang paling tua di Pulau Jawa dengan pembentukan Karimunjawa hingga menerus ke arah baratdaya melalui Luk Ulo di Jawa Tengah, dan bertemu sesar Cimandiri (Hilmi & Haryanto, 2008).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Maret hingga April di Sub Bidang Data dan Informasi, Stasiun Geofisika Klas 1 BMKG Tangerang, Jl. Meteorologi I No. 5, Tanah Tinggi, Tangerang, Banten.

3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data primer yang didapatkan dari Stasiun Geofisika Tangerang. Data yang dipakai berupa *waveform* dari rekaman seismometer tiap stasiun di sekitar kejadian gempa dari tahun 2010 hingga 2016 dengan pembagian *cluster* pusat gempa di Ujung Kulon dan Krakatau yang termasuk gempa dangkal. Data yang diperoleh merupakan data pada stasiun dengan 3 komponen yaitu NS dan EW (horisontal) dan Z (vertikal). Parameter yang diperlukan di antaranya lintang, bujur, dan kedalaman untuk kemudian dilakukan identifikasi gelombang seismik sehingga didapatkan *pick* gelombang P (kompresi/dilatasi) yang akan digunakan dalam penentuan bola fokus.

3.3 Materi Penelitian

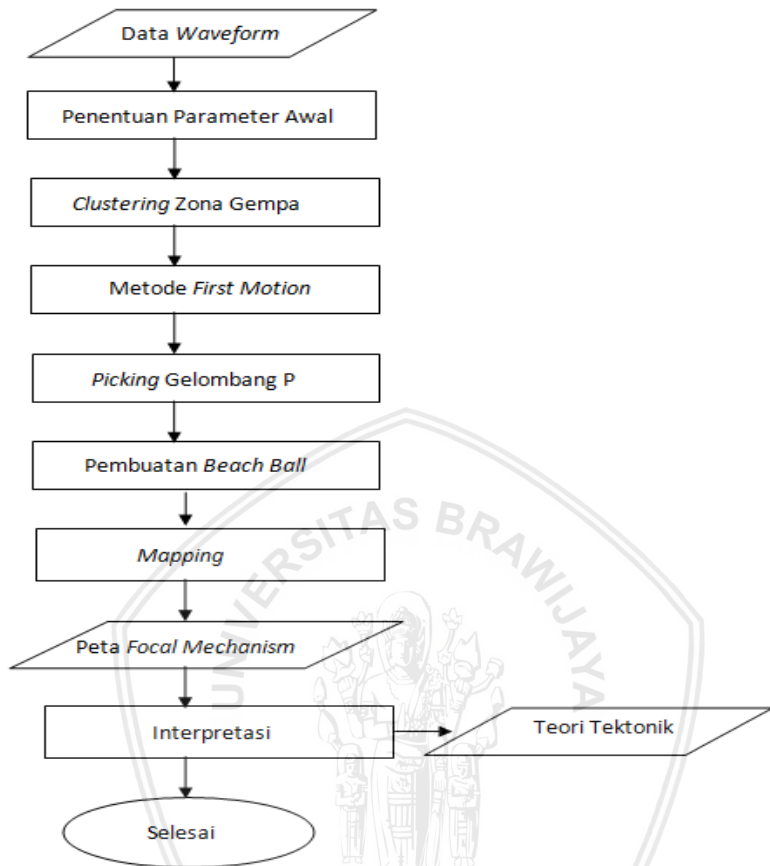
Penelitian ini diperlukan materi berupa data dan perangkat lunak sebagai sarana pengolahan data, yaitu:

- a. Data primer *waveform* gempa Ujung Kulon dan Krakatau periode 2010 hingga 2016.
- b. Perangkat lunak di antaranya :
 - *SeisGram2K v6.0.0X23 (BETA)* untuk menampilkan sinyal *waveform* serta *picking* gelombang P.
 - *Notepad++ 7.2* untuk menampilkan informasi hasil *picking* serta menyimpan dalam format *.dat* untuk proses selanjutnya.
 - *Microsoft Excel* untuk pengelompokkan serta konversi parameter gempa.
 - *AZMTAK* untuk membuat *output* data dari *waveform*.
 - *PMAN* untuk menampilkan hasil *beach ball* secara otomatis.
 - *GMT-5.2.1-win64* untuk pemetaan *beach ball*.

3.4 Langkah Penelitian

Diawali dengan melakukan *clustering* sebagai wilayah target penelitian. Prinsip dasar pengolahan data seismik gempa bumi lokal diawali dengan *picking* pada gelombang sinyal *waveform* tiga komponen untuk didapatkan *first motion* sehingga dapat diidentifikasi jenis gelombang tersebut mengalami kompresi atau dilatasi, *picking* dilakukan dengan perangkat lunak *Seisgram2k v6.0.0X23 (BETA)*. Berdasarkan hasil tersebut, kemudian dilakukan pemodelan *beach ball* dengan perangkat lunak *AZMTAK* dan *PMAN*. Hasil dari bola fokus kemudian dilakukan *mapping* dengan dibantu perangkat lunak *GMT-5.2.1-win64* sebagai hasil untuk pemetaan *focal mechanism*. Langkah penelitian seperti pada Gambar 3.1.

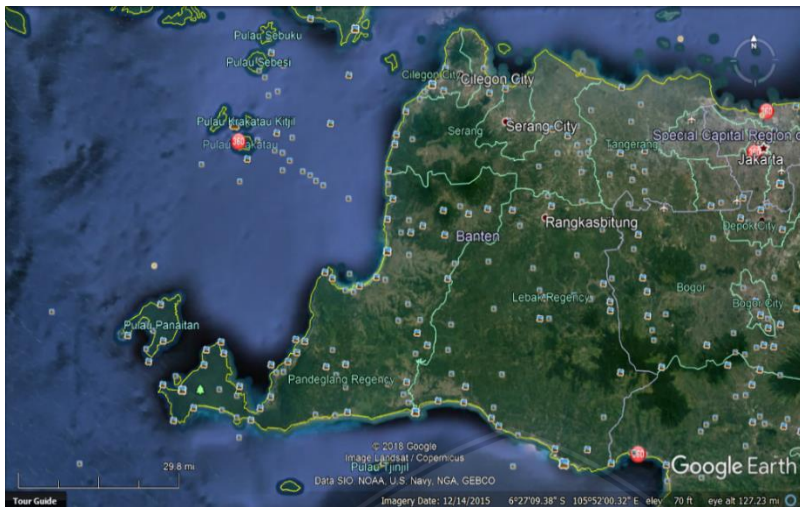




Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Clustering Zona Gempa

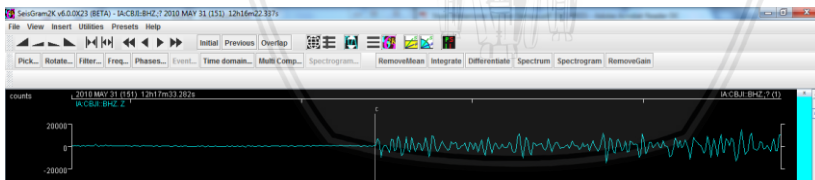
Pengelompokan wilayah gempa sebagai target penelitian merupakan langkah awal sebagai bidang garap yang akan diketahui hasil *focal mechanism*. Penentuan wilayah ini dibarengi dengan studi literatur dari jurnal maupun penelitian sebelumnya mengenai patahan lokal yang terjadi khususnya di regional Banten. Didapatkan fokus penelitian pada Ujung Kulon dan Krakatau, kedua zona tersebut memiliki intensitas gempa lokal yang cukup sering dan kerentanan yang cukup tinggi.



Gambar 3. 2 Peta penelitian (Google Earth, 2018)

3.4.2 Picking Gelombang

Tahapan *picking* merupakan hal yang sangat penting terutama dalam penentuan *first motion* atau karakteristik pergerakan awal gelombang P. *Picking* dilakukan pada komponen vertikal (Z) dari masing-masing stasiun perekam gempa. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *SeisGram2K v6.0.0X23 (BETA)* yang mampu menampilkan sinyal *waveform*.



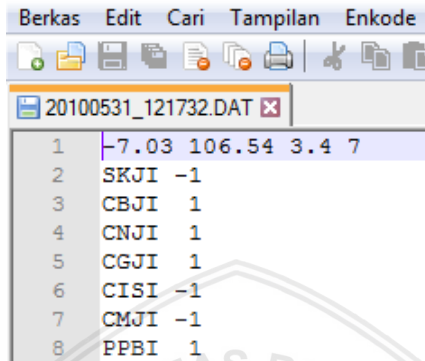
Gambar 3. 3 *waveform* gempa tanggal 31 Mei 2010 jam 12:17 WIB pada stasiun CNJI

3.4.3 Beach Ball

Setelah didapatkan parameter gempa berupa *file* berformat *.dat* dari Notepad++ (Gambar 3.3) selanjutnya dikorelasikan antara parameter gempa dengan data stasiun pencatat gempa, dalam hal ini digunakan program *Azmtak* (Gambar 3.4) kemudian dilakukan pemodelan bola fokus (*beach ball*) dengan bantuan perangkat lunak

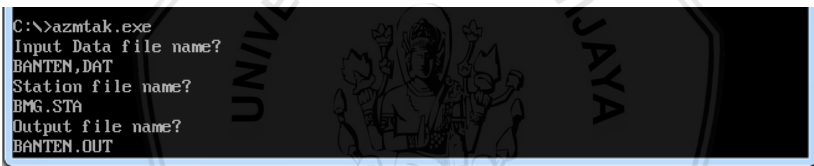
repository.ub.ac.id

PMAN (untuk pemodelan otomatis) sesuai gambar 3.5. Pada tahap ini dapat diketahui kekonsistenan data hasil dari *picking* gelombang P. Apabila data mengalami inkonsisten yang cukup banyak maka perlu dilakukan *picking* ulang.



```
Berkas Edit Cari Tampilan Enkode
20100531_121732.DAT
1 | -7.03 106.54 3.4 7
2 | SKJI -1
3 | CBJI 1
4 | CNJI 1
5 | CGJI 1
6 | CISI -1
7 | CMJI -1
8 | PPBI 1
```

Gambar 3. 4 Tampilan parameter gempa pada Notepad++



```
C:\>azmtak.exe
Input Data file name?
BANTEN.DAT
Station file name?
BMG.STA
Output file name?
BANTEN.OUT
```

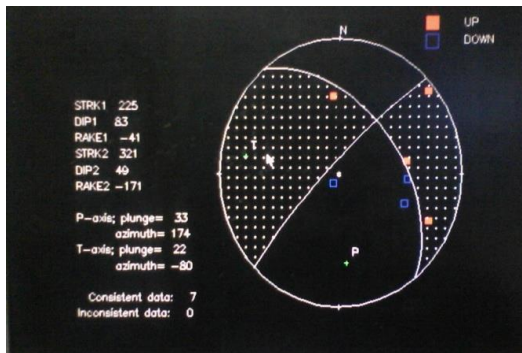
Gambar 3. 5 Tampilan program azmtak



```
C:\>PMAN.exe
Input polarity data file name?
BANTEN.OUT_
```

Gambar 3. 6 Tampilan program PMAN

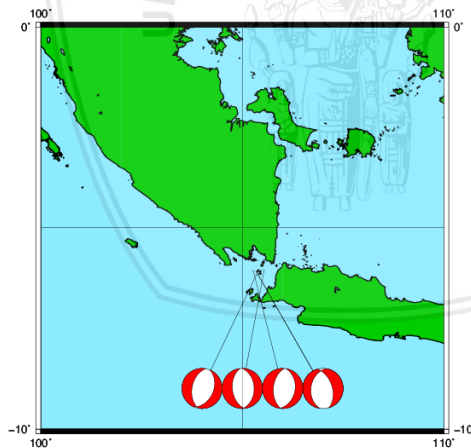
Setelah program PMAN selesai dijalankan, akan muncul bidang nodal sebagai sebaran polaritas pergerakan awal gelombang P dan berkaitan dengan interpretasi sesar (Gambar 3.7)



Gambar 3. 7 Contoh hasil penentuan bidang nodal

3.4.4 Mapping

Tahap *mapping* adalah langkah terakhir yaitu pengumpulan hasil dari *beach ball* masing-masing *cluster* yang dikelompokkan berdasarkan *cluster*. Hasil ini akan ditunjukkan sebagai peta *focal mechanism* dibantu dengan perangkat lunak *GMT-5.2.1-win64* (Gambar 3.7).



Gambar 3. 8 Tampilan bola fokus pada peta



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengambilan data *event* gempa masih harus dilakukan penyortiran untuk didapatkan *event* yang memenuhi kriteria penelitian. Data gempa yang tidak dimasukkan dalam pengolahan yaitu data dengan kedalaman lebih dari 70 kilometer atau tidak termasuk dalam gempa dangkal maupun bentuk *waveform* yang tidak jelas antara gelombang primer dan sekundernya. Gempabumi pada Zona Krakatau dan Zona Ujungkulon yang terseleksi memiliki kedalaman kurang dari 70 kilometer dengan *magnitude* berkisar antara 4 hingga kurang dari 6 yang terklasifikasi kedalam gempa mikro dan sedang. Solusi dari bidang sesar akan didapatkan dengan pemodelan dari bola fokus yang memiliki dua bidang nodal. Salah satu dari bidang nodal diproyeksikan sebagai bidang sesar sementara bidang nodal yang lain sebagai bidang bantu.

4.1 Zona Krakatau

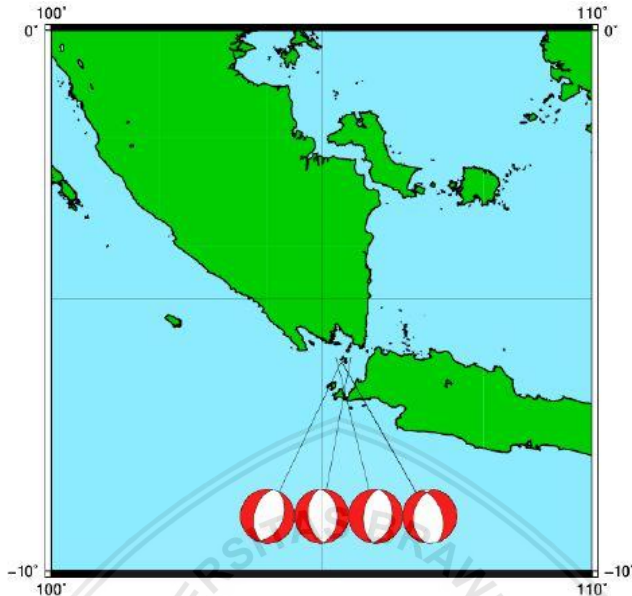
Gempabumi yang terjadi berada pada lintang -6° dan bujur 105° berada di sekitar gunung Krakatau. *Event* yang terseleksi terdapat 4 kejadian dan setelah melalui serangkaian pengolahan dengan perangkat lunak mekanisme fokus didapatkan sesarnya merupakan sesar turun ditunjukkan dengan nilai *rake* yang berada di rentang 0° - 180° . Parameter bidang sesar dari Zona Krakatau dapat dilihat pada Tabel 4.1. Selain lempeng Eurasia dan Indo-Australia, lempeng-lempeng mikro Sunda juga berpengaruh terhadap sumber gempabumi. Adanya zona penunjaman lempeng mikro dan struktur seismogenik dapat memicu terjadinya gempa di Selat Sunda termasuk di sekitar Krakatau (Soleman, 2012).

Arah sesar yang terjadi di Zona Krakatau dipengaruhi oleh pola Sunda. Menurut Pulunggono dan Martodjojo pada tahun 1994, struktur utara-selatan banyak terjadi di utara Pulau Jawa hingga selat Sunda yang memisahkan blok Banten dari blok Bogor dan mengontrol pola pengendapan pada segemen Banten dan sekitarnya. Hal ini masih dapat dikaitkan dengan pengaruh subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng mikro Sunda.

Tabel 4. 1 Data parameter bidang sesar Zona Krakatau

No	Tanggal Gempa	Mag (SR)	Depth (km)	Episenter		Plane Nodal	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Jenis Sesar
				Lat (°LS)	Long (°BT)					
1	10/9/13	4.4	4.0	6.18	105.35	1	23	42	-81	Turun
						2	191	49	-98	
2	12/9/13	4.5	13	6.07	105.54	1	359	41	-86	Turun
						2	174	49	-93	
3	5/1/14	5.1	54	6.08	105.27	1	9	38	-87	Turun
						2	185	52	-92	
4	11/6/15	4.4	10	6.11	105.35	1	343	52	-106	Turun
						2	189	40	-70	

Hasil dari pembacaan nilai *dip* dan *rake*, semuanya merupakan sesar turun dikarenakan $\delta \neq 0^\circ$ dan $\delta \neq 90^\circ$ dan $-180^\circ \leq \lambda \leq 0^\circ$



Gambar 4. 1 Hasil Zona Krakatau

Warna merah menunjukkan bidang yang tertarik dan warna putih merupakan bidang yang tertekan. Artinya arah sesar pada gambar 4.1 memujur dari utara ke selatan. Diperkuat dengan arah pergeseran (*strike*) berada pada sudut antara kisaran 340° sampai 25° pada bidang nodal 1 dan kisaran 170° sampai 195° dari arah utara sehingga berada diantara kuadran 1 dan kuadran 4 atau kuadran 2 dan kuadran 3 artinya arah pergeseran yaitu utara dan selatan. Gempa yang terjadi dipastikan merupakan gempa tektonik, karena gempa vulkanik akibat dari letusan Krakatau pada *waveform* tidak memiliki gelombang P dan gelombang S yang tidak teratur dan berdurasi Panjang (Mc.Nutt, 1992).

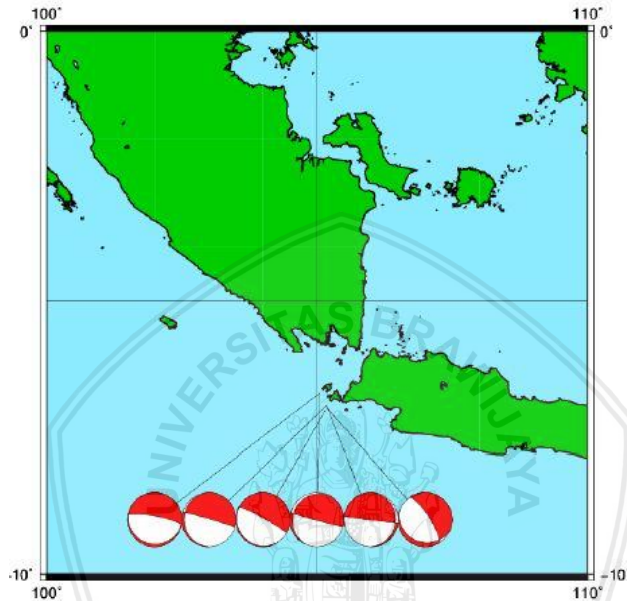
4.2 Zona Ujungkulon

Sejak tahun 2010-2016 di daerah Ujungkulon terdapat enam kejadian gempabumi yang terseleksi pada tahun-tahun 2013-2015. Gempabumi tersebut terjadi pada posisi lintang -7° dan bujur 105° . Hasil perhitungan dan pengolahan data didapatkan jenis sesarnya 66,6% merupakan sesar turun serta 33,3% merupakan sesar naik.

Tabel 4. 2 Data parameter bidang sesar Zona Ujungkulon

No	Tanggal Gempa	Mag (SR)	Depth (km)	Episenter		Plane Nodal	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Jenis Sesar
				Lat (°LS)	Long (°BT)					
1	12/1/11	5	52	6.94	105.18	1	97	89	80	Naik
						2	3	10	176	
2	14/4/12	5.8	63	7.0	105.21	1	110	17	-126	Turun
						2	327	76	-80	
3	8/1/14	4.7	63	6.66	105.01	1	100	11	-91	Turun
						2	280	79	-90	
4	26/3/14	4.6	42	6.93	105.17	1	178	9	-18	Turun
						2	286	87	-98	
5	9/4/15	4.7	56	7.02	105.15	1	145	5	-65	Turun
						2	299	85	-92	
6	4/11/15	5	40	6.74	105.05	1	105	88	102	Naik
						2	206	12	11	

Sementara pada daerah Ujungkolon, selain adanya sesar turun, sesar naik juga terjadi. Adanya perubahan tren sesar dianggap sebagai akibat dari jalur sedimentasi selatan (Santosa, 1991) yang berumur Eosen hingga Miosen dan daerah ini mengalami perlipatan yang diikuti pembentukan sesar karena gempa dangkal yang terjadi tidak dapat diprediksi arah sesarnya.



Gambar 4. 2 Hasil Zona Ujungkolon

Disimpulkan bahwa sesar tersebut berarah tenggara-barat laut mengikuti Pola Sumatera baik sesar naik maupun sesar turun. Mirip dengan arah sesar yang terjadi di zona Krakatau hanya saja hasil dari zona Ujungkolon terhomogenisasi arahnya. Sesar Sumatera akibat zona subduksi diduga masih menjadi faktor sesar dangkal yang terjadi di daerah ini karena arahnya yang sama. Fenomena di Selat Sunda adalah terpotongnya jalur tren Sumatera dengan tren Jawa karena kelanjutan dari Sesar Sumatera yaitu menerusnya sesar mentawai kebagian selatan Pulau Jawa bersambung dengan sesar Ujung Kulon menyebabkan adanya *Triple Junction*. Sehingga semakin kuat dikatakan pola ini berhubungan dengan mekanisme pergerakan lempeng Sumatera.

(halaman ini sengaja dikosongkan)





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Diperoleh beberapa kesimpulan berdasarkan penelitian pergerakan awal gelombang primer dengan metode mekanisme fokus, sebagai berikut :

1. Penentuan mekanisme fokus sumber gempa pada Zona Krakatau dan Zona Ujungkulon dengan metode pergerakan awal gelombang primer dapat diperoleh *beach ball* yang terdiri dari dua bidang nodal dengan bidang nodal 1 dan bidang nodal 2 sebagai petunjuk penentuan bidang sesar.
2. Berdasarkan persebaran gempa dangkal di Zona Krakatau dan Zona Ujungkulon pada tahun 2010 hingga 2016 didapatkan parameter bidang sesar di antaranya arah sesar (*strike*), nilai kemiringan (*dip*) dan nilai sudut pergeseran (*rake*) yang variatif sehingga pada analisa *beach ball* pada data tabel 4.1 di Zona Krakatau dan tabel 4.2 di Zona Ujungkulon didominasi oleh sesar turun.

5.2 Saran

Pada penelitian berikutnya dapat dilakukan penelitian lebih detail untuk daerah yang berpotensi mengalami longsor sebagai akibat dari gempa dangkal, sebagai acuan untuk pemetaan peringatan dini dari bencana utamanya Gempabumi.

(halaman ini sengaja dikosongkan)







DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K., & Richard, P. G. (1980). *Quantitative Seismology and Methods*. San Fransisco: W.H. Freeman And Company.
- Animasi Google Earth. 2018. *Google Inc*. File version 7.3.1.4507
- Arifin, Januar., & Nugraha, Jimmi. 2015. *TEKNIK IDENTIFIKASI POLARITAS DAN KUALITAS IMPULSE PERTAMA GELOMBANG P DAN PENENTUAN MAGNITUDO GEMPABUMI DALAM SISTEM MONITORING GEMPABUMI JISVIEW*. Jakarta: Puslitbang BMKG.
- Beiser, A. (1979). *Bumi*. Jakarta: Tira Pustaka.
- Cronin, V. 2004. *A Draft Primer on Focal Mechanism Solution for Geologists*. USA: Baylor University.
- Detweiler & W. Ellsworth (Eds.) (2015). USGS Panel for Earthquake Research. In S. T. *Proceedings of the 9th U.S.-Japan Natural Resources* (p. 22). Virginia.
- Elnashai, S., dan Sarno, L. D.,(2008). *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Willey.
- Henry, F. (1978). Arthur Holmes and Continental Drift. *The British Journal for the History of Science*, 2, 130–150.
- Hilmi, F., & Haryanto, I. (2008). Pola Struktur Regional Jawa Barat. *Bulletin Scientific Contribution*, 6, 57–66.
- Inove, H. 1994. *Seismology*. New York: International Institute Earthquake Engineering.
- Jia, Junbo. (2016). *Modern Earthquake Engineering*. Germany: Springer.
- Karyadi, D. (2008). *Penentuan Pola Mekanisme Sumber Gempa Bumi Berdasarkan Polarisasi Pertama gelombang P (Gempa Bumi Bengkulu 12 September 2007)*. Jakarta: Akademi Meteorologi dan Geofisika.
- Kawakatsu, H., & Cadena, G. . (1991). *Focal Mechanisms of the March 6,1987 Ecuador Earthquakes (CMT Inversion with a First Motion Constraint)* (J.Phys.Ear). Japan: Geological Survey of Japan.
- Kongko, W. (2011). *South Java Tsunami Model Using Highly Resolved Data And Probable Tsunamigenic Sources*. Franzius-Institute for Hydraulic, Germany.
- Landa, P. M. (2016). *Myths and Legends on Natural Disasters*.

Retrieved March 28, 2017, from <http://teachersinstitute.yale.edu/curriculum/units/2007/4/07.04.13.x.html>

- Mann, Paul. (2005). *Active Tectonics and Seismic Hazard*. USA: Geological Society of America.
- Mc.Nutt, S. (1992). *Encyclopedia of Earth System Science*, 4.
- Nandi. (2006). *Gempa Bumi*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Noor, Djauhari. 2014. *Pengantar Geologi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Pulungono, A. dan S. Martodjojo. (1994). *Perubahan Tektonik Paleogen dan Neogen di Jawa*. Proceeding Geologi dan Geoteknik h. 37-50.
- Read, H., & Janet, W. (1975). *Introduction to Geology*. New York: Halsted.
- Reza, M. (2008). *Studi Mekanisme Sumber Gempa Bumi Nias 28 Maret 2005*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Roberts, Peter. (2016). *TECTONIC PLATES*. USA: Lulu.
- Santosa, S.. (1991). *Peta Geologi Lembar Anyer*. Bandung: PPPG.
- Setyanta, Budi., Setiadi, Imam. 2010. *Pola Struktur dan Geodinamika Cekungan Bula*. Bandung: Energi Sumber Daya Mineral.
- Shearer, P. M. (2009). *Introduction to Seismology*. London: Cambridge University Press.
- Sipkin, S. . (1994). Rapid determination of global moment-tensor solutions. *Geophysical Research Letters*, 21.
- Soleman, M. Khifni. (2012). *Pemetaan Multirawan Bencana di Provinsi Banten*. Bogor: Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional.
- Spence, William. (1989). Earthquakes and Volcanoes. [Online] Available at: https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/determining_depth.php [Accessed April 2016]
- Spillhaus, Athelstan. (1991). *Atlas of the World Geophysical Boundary*. USA: American Philosophical Society.
- Takagi, H. 1999. *Partitioning Tectonics: Kinetic Partitioning of Strike-Slip and Thurst*. *Geology Journal*, Vol 43.
- Victor A, S., & William, H. (2008). *Myths and Legends on Natural Disasters: Making Sense of Our World*.