

Skripsi Geofisika

**IDENTIFIKASI *FOCAL MECHANISM* GEMPABUMI
LOMBOK TAHUN 2018 MENGGUNAKAN METODE
INVERSI *WAVEFORM* TIGA KOMPONEN**



AYUSHAR SYARIF

H221 14 012

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2019



Skripsi Geofisika

**IDENTIFIKASI *FOCAL MECHANISM* GEMPABUMI
LOMBOK TAHUN 2018 MENGGUNAKAN METODE
INVERSI *WAVEFORM* TIGA KOMPONEN**



AYUSHAR SYARIF

H221 14 012

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2019



IDENTIFIKASI *FOCAL MECHANISM* GEMPABUMI LOMBOK TAHUN 2018 MENGGUNAKAN METODE INVERSI *WAVEFORM* TIGA KOMPONEN

Skripsi untuk melengkapi tugas tugas dan memenuhi
syarat untuk mencapai gelar sarjana



AYUSHAR SYARIF

H221 14 012

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2019



**IDENTIFIKASI *FOCAL MECHANISM* GEMPABUMI
LOMBOK TAHUN 2018 MENGGUNAKAN METODE
INVERSI *WAVEFORM* TIGA KOMPONEN**

Oleh

AYUSHAR SYARIF

H221 14 012

**Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Ujian Guna Memperoleh Gelar Sarjana
Sains Program Pendidikan Sarjana Program Studi Geofisika ini
Telah Disetujui Oleh Tim Pembimbing Pada Tanggal Seperti Tertera
Dibawah Ini**

Makassar, Maret 2019

Disetujui Oleh :

Pembimbing Utama,



Ir. Bambang Harimei, M.Si
NIP. 19610501 199003 1 003

Pembimbing Pertama,



Muh. Fawzy Ismullah M.,S.Si, MT
NIPK 19911109 201801 5 001



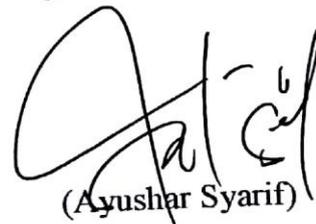
Lembar Pernyataan Skripsi

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya, skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar sarjana di Universitas Hasanuddin.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan tim pembimbing dan masukan tim penguji.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Makassar, 1 Maret 2019

Yang membuat pernyataan,



NIM : H221 14 012



ABSTRACT

The island of Lombok is one of the islands in Indonesia prone to the earthquakes because the location of this island is very close to the Indo-Australian and Eurasian Plate subduction zones. There were about 2 large earthquakes have occurred in the last few years, a 6.1- magnitude earthquake on January 1, 2000 and a 5.4- magnitude earthquake on June 22, 2013. This study was intended to identify fault causes of earthquakes by using the Three Component Waveform Inversion method in Lombok Island region within July to August 2018. The earthquake data used was earthquake data which included waveform, time, coordinates, depth, and earthquake magnitude. The use of seismogram analysis by using three components waveform was carried out to obtain the moment tensor. Then by using the ISOLA software, the results of curve fitting and beachball were obtained as a representation of the type of fault. The results of the study showed that the fault pattern which caused the earthquake in Lombok Island within July to August 2018 was dominated by oblique reverse fault which was influenced by the Flores Fault. This result is expected to be a reference material for disaster mitigation.

Keywords: inversion, moment tensor, *oblique reverse fault*, *waveform*.



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji bagi Allah SWT Rabb segala alam, yang senantiasa memberi rahmat dan petunjukNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam tak hentinya tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wasallam beserta keluarga, sahabat, dan para pengikut beliau hingga akhir zaman.

Penulisan skripsi ini merupakan tugas akhir bagi mahasiswa yang ingin menyelesaikan studi Strata Satu (S1) pada Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Tentunya penulis menyadari bahwas skripsi ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari berbagai pihak merupakan hal yang sangat diharapkan sebagai evaluasi untuk penulisan karya selanjutnya.

Terlepas dari berbagai kesulitan dan keterbatasan penulis dalam penyelesaian skripsi ini, terselip doa-doa dari orang-orang hebat yang senantiasa memberikan semangat dan bantuan. Oleh karena itu, tak ada kata yang paling pantas penulis ucapkan selain Terima Kasih yang setulus-tulusnya terhadap kedua orangtua penulis: **Hasse Dg. Sitaba** dan **Bunga Waru** yang telah banyak berkorban dan juga membimbing penulis dengan penuh kasih sayang dan tiada hentinya dalam memberi semangat dan do’a kepada penulis.

Kepada **Muh. Saidil Yani, SE** yang senantiasa menjaga, memberi nafkah, dan membimbing penulis selama masa studi bahkan sejak mengenal dunia pendidikan, terima kasih atas pengorbanannya selama ini. Saudara(i) **Fitri Ragawana, Nur Akni Ulmi Asrah (Bondeng), Ahmad Yani** dan **Surahmi** terima kasih atas semangat yang diberikan. Dan juga kepada **Muslimin (mhink) real** sekamar sepenanggungan hidup mengarungi dunia pendidikan dan



senantiasa berbagi suka dan duka serta *support* luar biasa yang diberikan kepada penulis, *thanks*.

Pada kesempatan ini juga penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih yang tak terhingga atas segala bantuan, waktu, bimbingan, dan do'a dari berbagai pihak yaitu kepada:

1. Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si** dan Bapak **Muh Fawzy Ismullah M, S.Si, MT** selaku dosen pembimbing yang dengan tulus dan ikhlas memberikan bimbingan, ilmu, arahan, saran-saran dan semangat kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak **Dr. H. Muh Altin Massinai, MT. Surv** dan Bapak **Dr. Erfan, M.Si** selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan saran, kritik, dan semangat demi terselesainya skripsi ini.
3. Bapak **Dr. H. Muh Altin Massinai, MT. Surv** selaku ketua Program Studi Geofisika serta Penasehat Akademik bagi penulis yang telah banyak memberikan nasehat-nasehat, motivasi, dan semangat kepada penulis.
4. Ibu **Dra. Maria, M.Si** yang telah memberi semangat dalam nasehatnya "*Berjuanglah nak, sekalipun itu sakit*" dan menjadi motivasi penulis untuk bertahan dan melangkah maju.
5. Bapak dan Ibu **Dosen Geofiska Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin** yang telah memberikan ilmu, bimbingan kepada penulis selama menempuh studi.
6. Kakak **Emelda** dan segenap staff **BMKG Makassar**, Kakak **Ramadhana Sultan** yang telah memberikan arahan dan bantuan olah data kepada penulis.
7. Saudara tak sedarah **Sahrul, Aris, Umha** terima kasih atas canda tawa dan semangatnya dalam melengkapi keseruan penulis.
8. Penghuni *Laboratorium Hidrometeorologi* **Alkadri, Awal, Arman, Akram, Jaya, Iswar, Tedi, Riska, Dewi, Kak Arfah, Ila, Nanna, Fina, ci, Afril, Noer.**

pecial thanks **Ilapadila, S.Si** senantiasa memberi semangat dan perhatian kepada penulis, **Putri Wulandari S.Si** yang selalu menjadi *alarm*



reminder , **Octaviena Agnes Pasulle, S.Si** senantiasa memberikan semangat, **Arini Jannatul Nurani, S.Si** yang telah menghibahkan tas plastiknya dan sangat membantu penulis dalam pengurusan berkas, **Mustakima. S.Si** yang telah banyak memberi bantuan referensi, **A. St. Rafida, S.Si** tiba-tiba jadi partner karena se topik tugas akhir, **Alifka Cendani Putri S.Si** terima kasih selalu *send message* memberi semangat saat penulis frustrasi, **Nurhasanah Hamzah, cS.Si** yang penulis tidak tahu sampai di mana batas kebaikan hatinya, **Rusmiati, cS.Si** terima kasih atas bantuan peta lokasi penelitian penulis, *big thanks* buat support kalian.

10. Kakak **Aji Purnomo, S.Si** selaku *Murabbi* penulis serta **Ridho Alfathir Nur** *bestfriend fuisabilillah* terima kasih atas kesediannya menjadikan penulis sebagai teman di jalan Allah.
11. **Alm. Muballigulhaq** terima kasih kawan, kau teman pertama yang kutemui di kampus kita, insyaAllah Syurga milikmu.
12. Saudara- saudara seperjuangan **GEOFISIKA 2014**, terima kasih atas kebersamaan, motivasi, bantuan dan semangat kalian selama ini. Kalian hebat .
13. Teman-teman **KKN KEC. BANTAENG LEMBANG UNCHH SQUAD Egi, Ghina, Aci, Sarah, Ocan, Alif** *thanks* atas keseruan kalian selama berKKN.
14. Kawan – kawan **European Association of Geoscientists and Engineers Unhas SC**
15. Bapak dan Ibu Guru **SMAN 1 KEERA/ SMA 12 WAJO** terima kasih atas bimbingannya selama masa pendidikan SMA bagi penulis. Terkhusus gurunda Ibu **Endas**, Ibu **Juhrati**, Ibu **Khairawati**, Pak **Wahyu** dan Pak **Arding Made**, terima kasih atas nasehatnya selama memberi ilmu kepada penulis.
16. Teman-teman **SMAN 1 KEERA/SMA 12 WAJO, MTsN PITUMPANUA**, dan **SDN 1 BALLERE** terima kasih atas kebersamaannya selama masa menempuh pendidikan bersama penulis.

Allah memberikan balasan yang terbaik dan senantiasa mencurahkan ang-Nya kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis dan selalu



dimudahkan dalam menemukan kebahagiaan. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan sumbangsi pengetahuan dan pengalaman yang berharga kepada siapapun yang membacanya untuk penelitian berikutnya. Amiin.

Makassar, 28 Februari 2019

Penulis



DAFTAR ISI

SAMPUL	
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENUNJUK SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Ruang Lingkup	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1 Geologi Regional.....	4
II.2 Tektonik Pulau Lombok.....	5
II.3 Gelombang Seismik.....	7
II.4 Mekanisme Fokus.....	9
II.5 Struktur Geologi dan Struktur Bumi.....	12
II.6 Geometri Sesar.....	15



II.5 Momen Tensor.....	16
BAB III METODE PENELITIAN	21
III.1 Lokasi Penelitian.....	21
III.2 Alat dan Bahan.....	21
III.2.1 Alat.....	21
III.2.2 Bahan.....	22
III.3 Prosedur Pengolahan Data.....	22
III.3.1 Pengambilan Data.....	22
III.3.2 Pengolahan Data.....	22
III.3.2.1 Konversi Data Waveform kedalam Format SAC.....	22
III.3.2.2 Pengolahan Data dalam ISOLA.....	23
III.4 Bagan Alir.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
IV.1 Analisa Data.....	28
IV.2 Hasil Pengolahan Data Gempabumi Menggunakan Software ISOLA.....	28
IV.2.1 Kurva Korelasi Sintetik dan Observasi 3 Komponen.....	28
IV.2.2 Nilai Momen Tensor Event Gempa.....	30
IV.2.3 Nilai <i>Strike</i> , <i>Dip</i> dan <i>Rake</i> Pada Setiap Bidang Sesar.....	31
IV.2.4 Hubungan <i>Beachball</i> dan Tipe Sesar.....	31
IV.2.5 Perbandingan Mekanisme Sumber Gempa.....	33
BAB V PENUTUP	35
V.1 Kesimpulan	35

.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	37



LAMPIRAN.....39



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta tektonik Sunda <i>Islands</i>	6
Gambar 2.2 Ilustrasi gelombang P.....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi gelombang S.....	8
Gambar 2.4 Ilustrasi gelombang love.....	8
Gambar 2.5 Ilustrasi gelombang rayleigh.....	9
Gambar 2.6 Penentuan mekanisme fokus.....	11
Gambar 2.7 Penentuan bidang sesar.....	11
Gambar 2.8 Kompresi dan dilatasi pada sesar.....	12
Gambar 2.9 Struktur sesar secara umum.....	13
Gambar 2.10 Sesar naik.....	13
Gambar 2.11 Sesar turun.....	14
Gambar 2.12 Sesar mendatar.....	14
Gambar 2.13 Sesar <i>oblique</i>	14
Gambar 2.14 Bentuk <i>beachball</i> berdasarkan tipe sesar.....	15
Gambar 2.15 Geometri sesar.....	16
Gambar 2.16 Pasangan gaya dari komponen momen tensor.....	18
Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian.....	21
Gambar 4.1 Data seismogram sintetik dan observasi 3 komponen gempabumi Lombok tanggal 28 Juli 2018.....	29



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Crustal Mode.....	24
Tabel 4.1 Data Gempa Pulau Lombok Bulan Juli sampai Agustus 2018.....	28
Tabel 4.2 Nilai Momen Tensor pada Setiap Event Gempa (Nm).....	30
Tabel 4.3 Nilai <i>Strike</i> , <i>Dip</i> dan <i>Rake</i> pada Setiap Event.....	31
Tabel 4.4 Hubungan <i>Beachball</i> dan Tipe Sesar Gempabumi.....	31
Tabel 4.5 Perbandingan Mekanisme Sumber Gempa.....	33



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Hasil Running Inversi Waveform.....	40
Lampiran 2	: Hasil Fitting Kurva Observasi vs Sintetik.....	41
Lampiran 3	: Nilai Varian Reduksi.....	43
Lampiran 4	: Plot Select Station.....	44
Lampiran 5	: Plot Source.....	45
Lampiran 6	: Plot Moment Tensor.....	47
Lampiran 7	: Peta Titik Hiposenter Gempabumi Lombok.....	49



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Selama beberapa dekade terakhir perekonomian Lombok menjadi sangat tergantung pada industri pariwisata. Banyak perkembangan besar di Lombok, khususnya yang berkaitan dengan pariwisata dan juga penyebaran kawasan perkotaan di ibukota Mataram, berada tepat pada garis pantai yang menghadap Samudera Hindia di selatan (misalnya Kuta) dan Laut Bali di utara misalnya Kepulauan Gili, Senggigi (Mangga,1994).

Keindahan pantai Lombok disertai dengan ancaman risiko yang cukup tinggi karena beberapa ratus kilometer di sebelah selatan Lombok terdapat salah satu zona pertemuan lempeng tektonik besar bumi yang menjadi sumber utama gempa bumi berpotensi tsunami dan menghadap bagian selatan dari pulau ini. Lombok juga rentan terhadap tsunami dari patahan busur belakang (*back arc*), yang menghadap bagian utara Pulau Lombok. Jenis patahan yang terbentuk pada *back arc* disebut sesar naik dan memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan gempa bumi dan tsunami di daerah pesisir Lombok. Tsunami yang lebih besar di sekitar pulau mungkin akan berdampak besar pada sepanjang garis pantai yang berpenduduk padat. Oleh karena itu ahli geologi dan para ilmuwan tsunami memandang Lombok sebagai salah satu daerah berisiko tinggi untuk bahaya tsunami di Indonesia (Mangga,1994).



Lombok pernah mengalami gempa bumi besar dan tsunami di masa lalu. Karena lokasinya yang dekat dengan zona subduksi dan sejarah gempabuminya, komunitas sains menganggap bahwa Lombok juga akan terdampak oleh tsunami di masa depan. Mengingat kesiapsiagaan adalah kunci untuk menghadapi tsunami, pengembangan strategi kesiapsiagaan lokal sangatlah penting (Sudrajat,1975).

Wilayah Lombok terletak sangat dekat dengan zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia (selatan) dan Lempeng Eurasia (utara). Zona subduksi tersebut merupakan daerah sumber utama untuk gempa bumi dan mungkin terjadi tsunami yang melanda bagian selatan pulau (Sudrajat,1975).

Gempabumi di daerah Lombok termasuk gempabumi dangkal pada busur utara pulau. Hal ini disebabkan oleh aktifitas Patahan Busur Belakang Bali yang merupakan struktur geologi dari sesar naik yang meluas ke laut Flores dan Pulau Flores. Zona sesar naik terbagi ke dalam dua segmen: zona sesar naik Flores dan zona sesar naik Wetar di timur. Namun, di jalur sepanjang 500 km ini, terjadi jejak-jejak patahan yang relatif pendek (20-30 km panjang), yang menunjukkan berbagai kondisi tektonik dan probabilitas gempabumi (Mangga,1994).

Berdasarkan potensi yang diakibatkan oleh gempabumi maka perlu dilakukan penelitian tentang mekanisme focal. Mekanisme focal dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik sumber gempa dan meminimalisir kerusakan yang mungkin terjadi. Karakteristik gempabumi dapat diketahui dengan pemodelan

the focal data gempabumi Lombok pada tahun 2018. Pemodelan akan analisis inversi waveform tiga komponen dengan program *ISOLA*.



I.2. Ruang Lingkup

Penelitian ini di batasi oleh waktu terjadinya gempa dan parameter yang digunakan dalam penelitian. Adapun yang dimaksudkan waktu dan parameter sebagai berikut:

1. Data yang digunakan yaitu data gempa berupa *waveform*, waktu, koordinat, kedalaman dan *magnitude* gempa mulai bulan Juli sampai Agustus 2018 di daerah Lombok khususnya dalam koordinat 8.16° LU – 9.14° LS dan 115.77° - 116.78° BB.
2. *Magnitude* gempa yang diteliti yaitu lebih besar atau sama dengan 5.

I.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mendapatkan solusi momen tensor pada gempa di Pulau Lombok dalam selang waktu Juli sampai Agustus 2018
2. Menginterpretasi pola sesar penyebab pada gempa di Pulau Lombok dalam selang waktu Juli sampai Agustus 2018.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Geologi daerah Lombok dimulai dengan terbentuknya batuan gunung api Tersier yaitu Miosen Awal yang terdiri dari Formasi Kawangan dan Formasi Pengulung yang saling menjemari. Formasi Kawangan terdiri dari batuan sedimen (perselingan batupasir kuarsa batulempung dan breksi), sedangkan Formasi Pengulung terdiri dari breksi, lava, tuf dengan lensa batugamping bermineral sulfida dan mengandung urat kuarsa. Kedua formasi ini diterobos oleh dasit dan basal yang berumur Miosen Tengah (Mangga,1994).

Di atasnya diendapkan Formasi Ekas yang terdiri dari batugamping yang berumur Miosen Atas. Kemudian pada Pliosen Atas sampai Plistosen diendapkan batupasir tufaan, batulempung tufaan dengan sisipan tipis karbon yang tergolong kedalam Anggota Selayar Formasi Kalipalung, lalu Formasi Kalipalung yang terdiri dari perselingan breksi gampingan dan lava. Formasi Kalibabak yang terdiri dari breksi dan lava serta Formasi Lekopiko (tuf berbatuapung, breksi lahar dan lava). Formasi Kalipalung dan Formasi Kalibabak saling menjemari. Pada waktu Holosen Bawah diendapkan lava, breksi dan tuf yang termasuk kedalam Batuan Gunungapi Tak Terpisahkan tersebar sangat luas di utara yang dikelilingi oleh Formasi Lekopiko dan Formasi Kalibabak, sedangkan di Holosen Atas terhampar permukaan alluvium (Mangga,1994).



Sesar yang panjang berarah Timurlaut-Baratdaya, sedang sesar-sesar lainnya berarah Baratlaut-Tenggara dan sedikit jumlahnya hampir berarah Utara-Selatan. Pulau Sumbawa menunjang dari arah barat ke timur. Dibagian utara terdiri dari jalur gunungapi Kuarter dengan puncak G.Tambora (2851m). Bagian selatan terdiri dari punggung-punggung bukit kasar dengan ketinggian berkisar dari 800-1400 m (Mangga,1994).

Batuan yang tersingkap terdiri dari batuan sedimen, gunungapi, batuan terobosan dan endapan permukaan. Batuan sedimen yang berumur Tersier (Miosen-Pliosen), umumnya terdiri dari batuan hasil gunungapi dan batuan endapan lainnya, batugamping koral, batulempung tufaan dan terumbu koral. Batuan gunungapi terbentuk pada umur Kuarter antara lain terdiri dari breksi, lahar, tuf abu dan lava (Mangga,1994).

Batuan terobosan bersusunan andesit, diorit, tonalit dan dasit. Dasit dan andesit umumnya mengandung pirit. Batuan ini menerobos batuan sedimen dan batuan gunungapi di atasnya. Batuan terobosan ini berumur Miosen. Endapan muda terdiri dari endapan hasil gunungapi muda dan aluvium. Struktur yang ada di daerah ini terdiri dari sistem retakan yang berarah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Retakan lainnya berarah utara-selatan dan barat-timur (Mangga,1994).

II.2 Tektonik Pulau Lombok

Interaksi tiga lempeng utama (Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik) membentuk yang kompleks di Indonesia Timur. Kepulauan Nusa Tenggara adalah duksi lempeng Indo Australia dibawah busur sunda pada zaman tersier



atas. Batuan vulkanik di busur banda dalam Kepulauan Nusa Tenggara yang tertua adalah miosen awal, sekitar 150 km diatas zona gempa bumi. (Hamilton,1979).

Berdasarkan teori tektonik lempeng, Kepulauan Nusa Tenggara dapat dibagi menjadi empat tektono-struktur (Hamilton, 1979):

1. *Back arc* (Laut Flores)
2. Gunung api dalam rangkaian kepulauan vulkanik: Bali, Lombok, Sumbawa, Komodo, Flores, Adonora, Solor, Romben, Pantar, Alor, Kambing dan Wetar.
3. *Outer Arc* non vulkanik: Dana, Raijua, Sawu, Roti, Semau, dan Timor.
4. *Fore Arc* Unit, terletak antara busur dalam dan busur luar (Lombok dan Savu Basin).

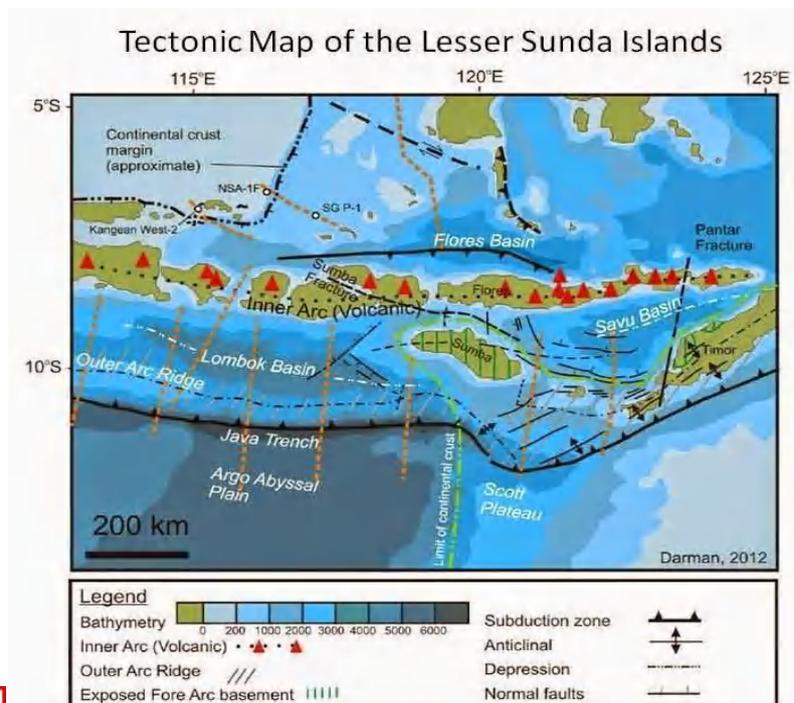


Fig. 2.1 Peta Tektonik Sunda Islands (Satyana dan Purwaningsih, 2012)

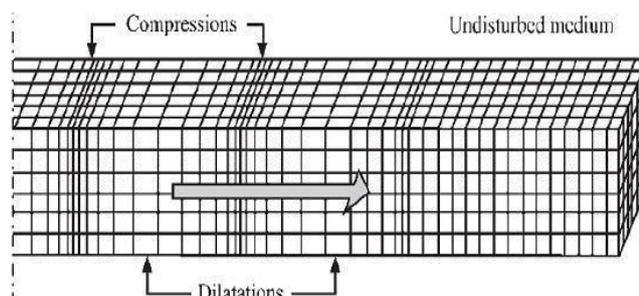


II.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik gempabumi yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi dan melalui permukaan bumi, akibat adanya lapisan batuan yang patah secara tiba-tiba atau adanya suatu ledakan. Mekanisme gempabumi dikontrol oleh pola penjalaran gelombang seismik di dalam bumi. Pola mekanisme ini tergantung pada medium penjalaran atau keadaan struktur kulit bumi serta distribusi gaya atau tekanan yang terjadi (Sunarjo dkk.,2012).

Gelombang gempabumi adalah segala gelombang yang dapat tercatat oleh *seismograph* kecuali gerakan-gerakan yang disebabkan karena adanya gangguan alat (*noise*). Adapun tipe-tipe gelombang gempabumi di bagi menjadi 2 (dua) tipe yaitu (Afnimar, 2009):

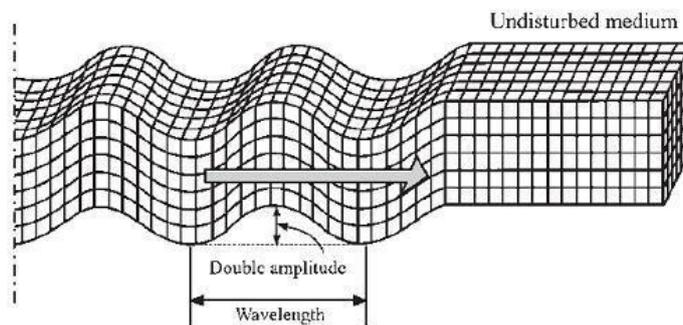
1. *Body Wave* (gelombang badan), gelombang yang merambat melalui medium, terdiri dari dua macam gelombang yaitu:
 - a. Gelombang Primer (P), gerakan partikelnya searah dengan arah penjalarannya. Gelombang ini disebut gelombang longitudeinal atau gelombang kompresional akibat partikel mengalami kompresi saat penjalarannya. Gelombang Primer (P) mempunyai kecepatan terbesar dan muncul pertama kali di seismogram.



Gambar 2.2 Ilustrasi Gelombang P (Fathul,2017)



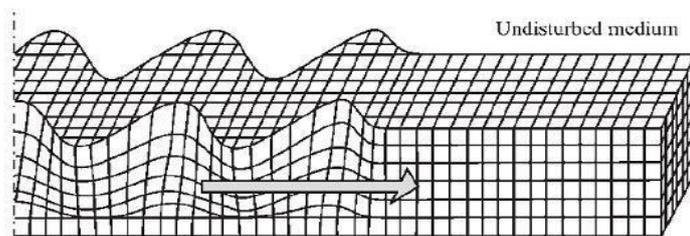
- b. Gelombang sekunder (S), gerakan partikelnya tegak lurus dengan arah penjalaran sehingga dikenal dengan gelombang transversal. Gelombang S mempunyai kecepatan lebih kecil daripada gelombang P dan muncul di seismogram setelah gelombang P



Gambar 2.3 Ilustrasi Gelombang S (Fathul,2017)

2. *Surface Wave* (gelombang permukaan), gelombang yang merambat sejajar dengan permukaan medium yang terdiri dari:

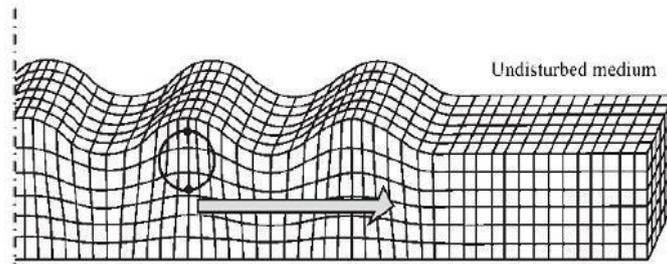
- a. Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal, yakni merupakan gelombang-SH yang penjalarnya paralel dengan permukaan.



Gambar 2.4 Ilustrasi Gelombang Love (Fathul,2017)

- b. Gelombang *Rayleigh* (R) merupakan gelombang permukaan yang gerakan partikel medianya merupakan kombinasi gerakan partikel yang disebabkan oleh gelombang P dan S.





Gambar 2.5 Ilustrasi Gelombang Rayleigh (Fathul,2017)

II.4 Mekanisme Fokus.

Tekanan yang terjadi dalam batuan kerak bumi dapat mengakibatkan batuan tersebut patah. Patahan tersebut mengakibatkan pelepasan energi tekanan yang berupa gelombang elastis. Apabila energi tersebut cukup besar maka getaran–getaran akibat penjalaran gelombang gempa dapat dirasakan sampai di permukaan bumi. Gelombang gempa yang biasa disebut dengan gelombang seismik menjalar dari sumber gempa ke berbagai arah dan akan tercatat oleh *seismograph* sebagai seismogram (Sunarjo dkk., 2012).

Istilah *focal mechanism* (mekanisme sumber gempa) digunakan untuk menguraikan proses pelepasan energi dari sumber gempa, dimana sesar (*faulting*) merupakan mekanisme yang sering digunakan untuk menjelaskan pelepasan energi dari sumber gempa. Suatu cara untuk memperoleh arah dari orientasi bidang sesar yang menyebabkan terjadinya gempabumi disebut solusi bidang sesar (*fault plane solution*). Berbagai aspek energi gelombang elastik yang terkumpul dalam sumber gempa telah dipelajari untuk memahami sifat mekanisme sumber

gelombang-gelombang badan (*body waves*) yang paling awal terekam di

adalah merupakan suatu aspek yang pertama kali menarik perhatian bagi

focal mechanism (Sunarjo dkk., 2012).



Bentuk gelombang seismik juga tergantung dari sumber gempa yang berupa sesar atau patahan. Oleh karena itu dengan informasi gelombang seismik yang tercatat di dalam seismogram dapat ditentukan karakteristik sesar atau patahannya. Untuk mengetahui karakteristik tersebut diperlukan analisis tentang mekanisme pusat gempa bumi yaitu penentuan orientasi bidang sesar yang antara lain meliputi penentuan harga *strike* dan *dip* (Sunarjo dkk., 2012) .

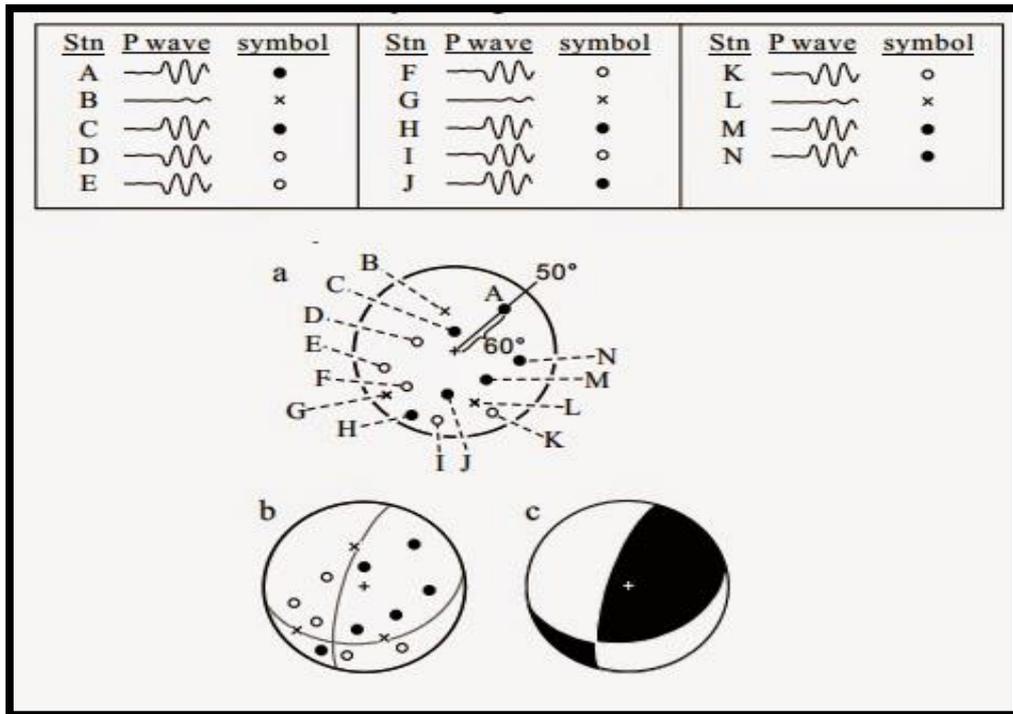
Salah satu studi mekanisme sumber gempa dengan gerak awal gelombang P bertujuan untuk menentukan sesar gempa berdasarkan bidang nodal dari hasil pengamatan polaritas gelombang P yang dipancarkan oleh hiposenter. Gelombang gempabumi akan terpancarkan ke segala arah bentuk phase gelombang. Phase awal yang tercatat lebih dahulu ialah gelombang P, karena memiliki kecepatan terbesar dari gelombang lainnya. Sistematika gelombang P dapat diringkas sebagai berikut (Afnimar, 2009):

1. Gerakan tanah yang menyebabkan gempa dipolarisasikan sebagai gerakan *repulsive* (kompresi/tekanan) dan gerakan atraktif (dilatasi/tarikan) pada hiposenter.
2. Distribusi yang sistematis mengakibatkan ruang di sekeliling episenter dapat dibagi menjadi empat kuadran oleh dua garis yang disebut garis nodal atau bidang nodal.

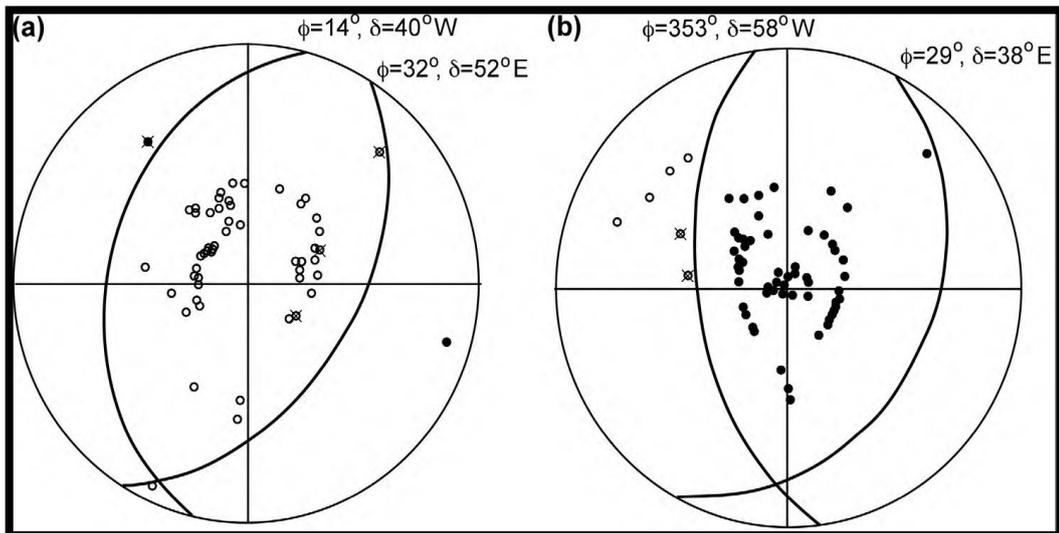
Cara mengidentifikasi sifat asal gempa semacam ini disebut sebagai mekanisme fokus gempa. Dengan teknik semacam ini setiap gempa yang terjadi dapat

terjadi dari sesar normal, sesar naik, maupun sesar mendatar. Masing-masing arah jurus dan kemiringannya juga dapat ditentukan (Santoso, 2002).



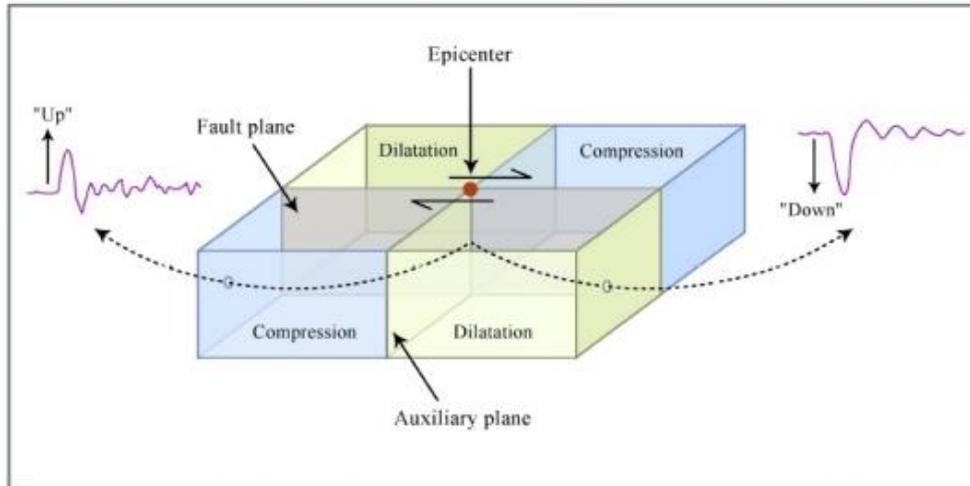


Gambar 2.6 Penentuan mekanisme fokus (Cronin, 2010)



Gambar 2.7 Penentuan bidang sesar : (a) Solusi bidang sesar untuk sesar normal, (b) Solusi bidang sesar untuk gempa didominasi oleh sesar naik. Pada bulatan kutub gerak pertama adalah kompresi (Positif) sedangkan bulatan kecil gerak pertama adalah dilatasi (Negatif) (Fowler, 2005).





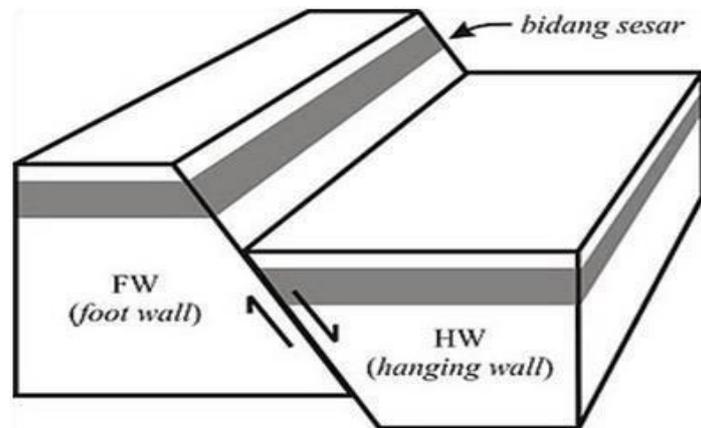
Gambar 2.8 Kompresi dan Dilatasi pada sesar (Shearer,2009)

Gempabumi disebabkan oleh adanya gerakan sesar dengan karakter gerakan tertentu. Model sesar dan karakter sesar penyebab gempabumi dapat diketahui berdasarkan *moment tensor* gempabumi. *Moment tensor* ini digunakan untuk menggambarkan arah gaya gempabumi (Gok, 2008).

II.4.1 Sesar Bumi (*Earth Faults*)

Patahan atau sesar merupakan struktur rekahan yang telah mengalami pergeseran. Gempa bumi sangat dipengaruhi oleh pergerakan batuan dan lempeng pada sesar ini. Arah pergerakan yang terjadi di sepanjang permukaan suatu sesar dikenal sebagai bidang sesar. Apabila bidang sesarnya tidak tegak, maka batuan yang terletak di atasnya dikenal sebagai dinding gantung (*hanging wall*), sedangkan bagian bawahnya dikenal sebagai dinding kaki atau *footwall* (Fathul,2017)



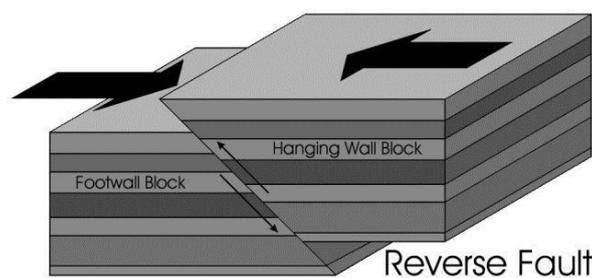


Gambar 2.9 Struktur sesar secara umum (Fathul, 2017)

Sesar dapat dibagi kedalam beberapa jenis sesar yang bergantung pada arah pergeserannya. Selama sesar dianggap sebagai suatu bidang datar, maka konsep kemiringan dari suatu sesar dapat diukur dan ditentukan (Fathul, 2017).

Berikut jenis-jenis sesar :

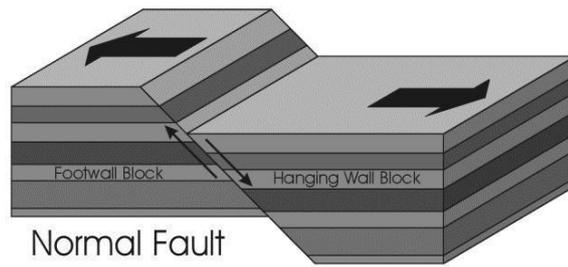
- a. Sesar naik (*reverse fault* atau *thrust fault*) yakni apabila *hanging wall* pada sesar tersebut relative naik terhadap *foot wall* .



Gambar 2.10 Sesar Naik (Fathul, 2017)

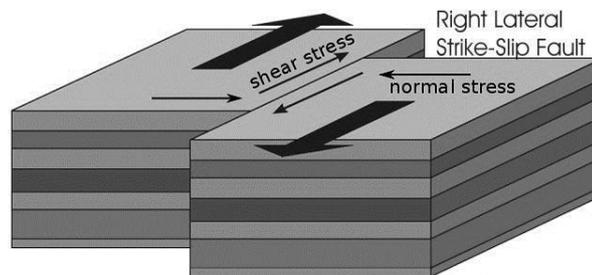
- b. Sesar turun (*normal fault*) merupakan sesar di mana *hanging wall* relatif turun terhadap *foot wall*.





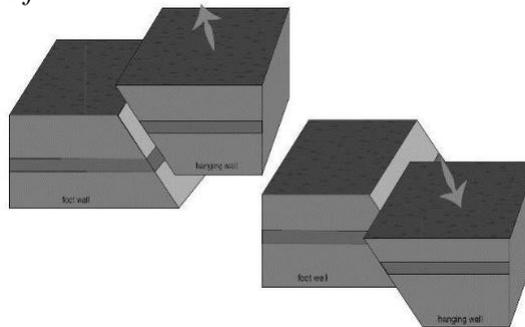
Gambar 2.11 Sesar Turun (Fathul, 2017)

- c. Sesar mendatar (*strike slip fault*) yaitu sesar dengan arah gerakan bergerak mendatar relatif satu sama lain.



Gambar 2.12 Sesar Mendatar (Fathul, 2017)

- d. Kombinasi antara sesar mendatar dengan sesar naik atau yang sering disebut *oblique fault*.



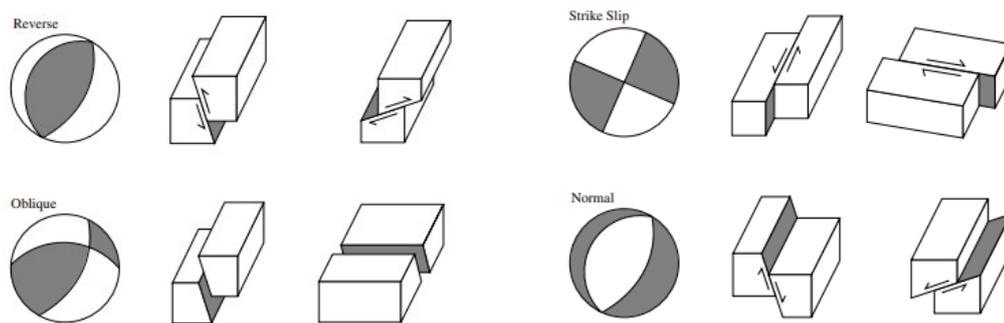
Gambar 2.13 Sesar *Oblique* (Fathul, 2017)

Sesar tersebut juga dapat diidentifikasi dengan menggunakan diagram bola atau yang sering disebut dengan *beach ball*. Mekanisme fokus ini didapatkan

an solusi dari momen tensor. Pola energi radiasi selama gempa bumi atau arah gerakan pada suatu bidang patahan dapat dimodelkan sebagai



pasangan ganda, yang digambarkan secara matematis. Hal penting dalam menentukan diagram atau *beach ball* tersebut ialah salah satu dari bidang merupakan arah sesar gempa (Fathul, 2017).



Gambar 2.14 Bentuk *beachball* berdasarkan tipe sesar (Shrearer, 2009)

II.4.2 Geometri Sesar

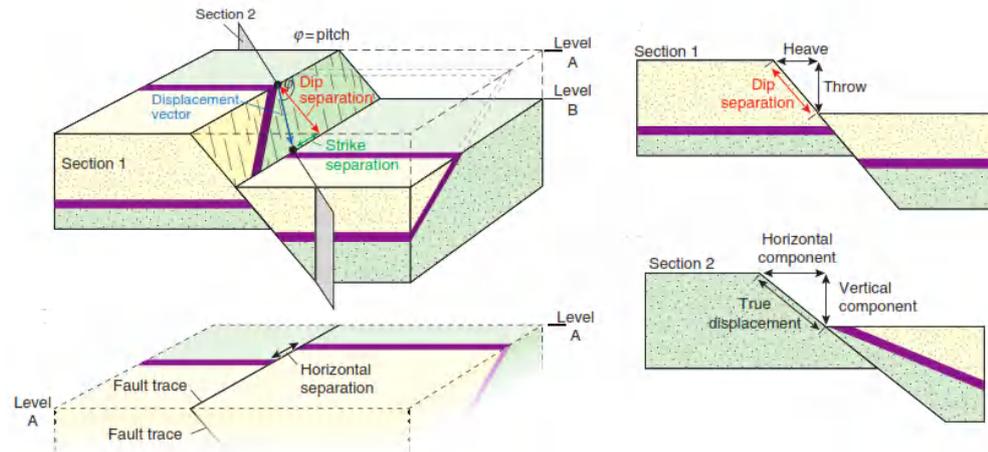
Sesar atau patahan didefinisikan sebagai retakan pada kerak bumi yang memiliki perpindahan relative pada dua sisinya. Orientasi bidang patahan ditentukan oleh parameter bidang patahan tersebut. Parameternya antara lain yakni *strike*, *dip*, dan *rake* (Fathul,2017).

- a. *Strike* (Φ) adalah sudut yang dibentuk oleh jurus sesar dengan arah Utara. *Strike* diukur dari arah utara ke arah timur searah dengan jarum jam hingga jurus patahan ($0^{\circ} \leq \Phi \leq 360^{\circ}$).
- b. *Dip* (δ) adalah sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang

horizontal dan diukur pada bidang vertical dengan arahnya tegak lurus jurus patahan ($0^{\circ} \leq \delta \leq 360^{\circ}$).



- c. *Rake* (λ) merupakan sudut yang dibentuk arah slip dan jurus patahan. *Rake* berharga positif pada patahan naik (*thrust fault*) dan negative pada patahan turun ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$).



Gambar 2.15 Geometri Sesar (Shearer,2009).

II.5 Momen Tensor

Berdasarkan defenisinya momen adalah kecenderungan suatu gaya untuk memutar sebuah benda disekitar sumbu tertentu dari benda tersebut. Sedangkan tensor didefinisikan sebagai generalisasi dari besaran skalar dan vektor. Skalar dan vektor juga merupakan bentuk dari besaran tensor. Tensor memiliki nilai dan dua buah arah. Skalar merupakan tensor yang memiliki orde nol dan vektor merupakan tensor yang memiliki orde satu. Untuk tensor dengan orde dua atau lebih memiliki nama yang berbeda-beda. Orde pada tensor menentukan jumlah komponen tensor itu sendiri karena dirumuskan secara matematis sebagai 3^n , dimana n adalah



Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya gempabumi disebabkan oleh adanya gerakan sesar di bawah permukaan bumi dengan karakteristik tertentu. Untuk dapat memahami gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempa bumi, dapat diketahui berdasarkan momen tensor gempabumi yang dapat menggambarkan arah gaya penyebab gempabumi (Fathul, 2017)

Gelombang seismik merambat dari sumber menuju ke stasiun observasi dalam ruang tiga dimensi, oleh karena itu dikembangkanlah fungsi *Green* tiga komponen untuk mengestimasi parameter sumber gempa. Fungsi *Green* itu sendiri dapat dituliskan pada Persamaan 2.1 (Setyowidodo dkk., 2011).

$$u(x) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x; x')f(x')dx' \dots\dots\dots(2.1)$$

maka komponen rekaman seismic dari sebuah titik sumber dapat dituliskan secara matematis seperti pada Persamaan 2.2.

$$U_k(x,t) = \sum_{i=1}^6 G_{ki}(x,x_s,t)*f_i(t) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

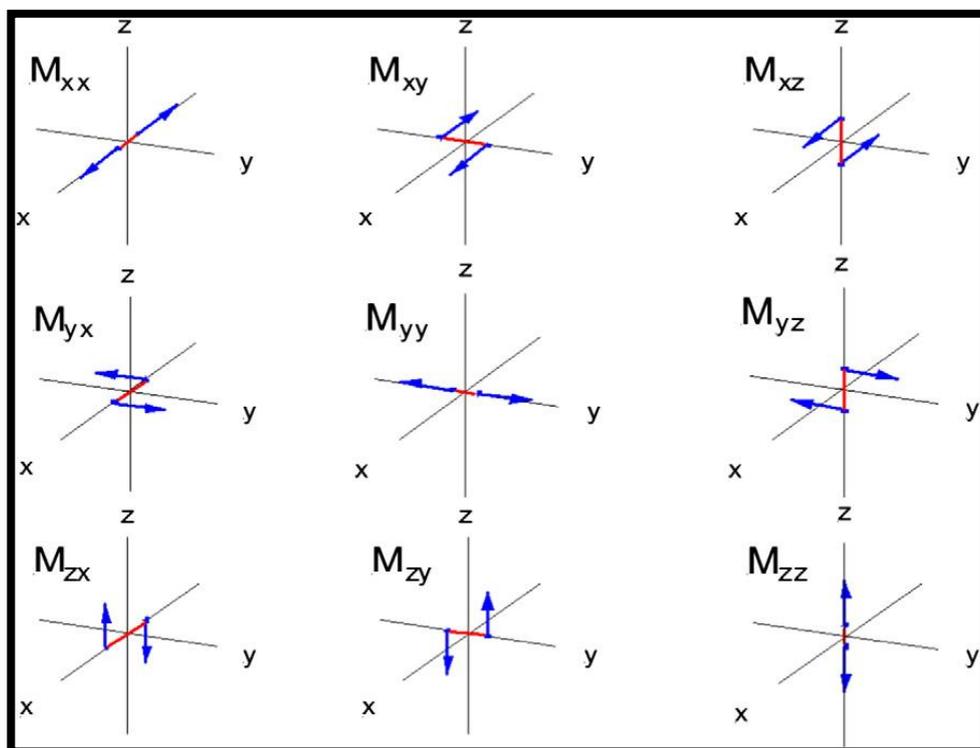
- U_k = rekaman pergeseran pada komponen ke- k
- x = posisi receiver
- x_s = posisi sumber gempa
- G_{ki} = fungsi *Green*
- $f_i(t)$ = 6 komponen dasar momen tensor

koordinat bola, keenam momen tensor tersebut antara lain adalah sebagai



$$f_1 = M_{rr}; f_2 = M_{\theta\theta}; f_3 = M_{\phi\phi}; f_4 = M_{r\theta}; f_5 = M_{r\phi}; f_6 = M_{\phi\theta} = M_{\theta\phi}$$

Momen tensor ini menggambarkan kekuatan kopel gaya dari gempa. Konsep dari momen tensor dapat memberikan deskripsi yang lengkap tentang gaya yang berasal dari sumber titik seismic. Momen tensor M_{ij} memiliki Sembilan komponen momen tensor yang ditunjukkan pada gambar dibawah (Setyowidodo,2011).



Gambar 2.16 Pasangan gaya dari komponen momen tensor (Shearer,2009)

Momen tensor selalu bersifat simetris. Momen tensor ini juga dapat dideskripsikan sebagai pasangan ganda atau DC (*double couple*) yang memiliki solusi Sembilan komponen seperti pada Gambar 2.15. Momen tensor sumber gempa juga dapat

dituliskan ke dalam matriks orde 3x3 (Fathul,2017)



$$M_{ij} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{xy} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{xz} & M_{yz} & M_{zz} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.3)$$

Komponen M_{ij} dalam koordinat bola menjadi berikut :

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & = & M_{zz} \\ M_{\theta\theta} & = & M_{xx} \\ M_{\phi\phi} & = & M_{yy} \\ M_{r\theta} & = & M_{zx} \\ M_{r\phi} & = & -M_{zy} \\ M_{\phi\theta} & = & -M_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.4)$$

Karena bersifat simetris, maka M_{ij} sama dengan M_{ji} . Sehingga , dari Sembilan komponen momen tensor terdapat enam komponen momen tensor independen. Enam komponen momen tensor tersebut dapat digunakan untuk mengetahui parameter-parameter sesar seperti *strike*, *dip*, dan *rake*. Hubungan parameter tersebut terhadap momen tensor dapat dirumuskan sebagai berikut (Setyowidodo,2011).

$$M_{11} = M_{xx} = -M_0 (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\Phi + \sin 2\delta \cos \lambda \sin 2\Phi)$$

$$M_{12} = M_{xy} = M_0 (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\Phi + 0.5 \sin 2\delta \cos \lambda \sin 2\Phi)$$

$$M_{13} = M_{xz} = -M_0 (\cos \delta \cos \lambda \cos \Phi + \cos 2\delta \sin \lambda \sin \Phi)$$

$$M_{22} = M_{yy} = M_0 (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\Phi - \sin 2\delta \sin \lambda \cos 2\Phi)$$

$$M_{23} = M_{yz} = -M_0 (\cos \delta \cos \lambda \sin \Phi - \cos 2\delta \sin \lambda \cos \Phi)$$

$$M_{33} = M_{zz} = - (M_{11} + M_{22}) = M_0 (\sin 2\delta \sin \lambda)$$



Dengan M_0 merupakan parameter momen seismik untuk mengukur kekuatan gempabumi. M_0 dapat dituliskan secara matematis pada persamaan berikut.

$$M_0 = \frac{1}{2} \left[\sum_{ij} M^2_{ij} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan mengetahui komponen momen tensor, maka kita dapat mengetahui parameter-parameter sesar yang nantinya digunakan untuk identifikasi gempa bumi (Fathul, 2017).

