



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN MEKANISME  
PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH MALUKU  
UTARA SEPANJANG TAHUN 2016 DENGAN  
MAGNITUDE  $\geq 5$  SR MEMANFAATKAN  
PROGRAM ISOLA-GUI**

**Hardiansyah Pratama  
NRP 01111340000 072**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**

**Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**





**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN MEKANISME  
PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH MALUKU  
UTARA SEPANJANG TAHUN 2016 DENGAN  
MAGNITUDE  $\geq 5$  SR MEMANFAATKAN  
PROGRAM ISOLA-GUI**

**Hardiansyah Pratama  
NRP 01111340000 072**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. rer.nat.Bagus Jaya Santosa, S.U**

**Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**TENSOR MOMMENT ANALYSIS AND  
MECHANISM OF EARTHQUAKE NORTH  
MALUKU ALONG 2016 WITH MAGNITUDE  $\geq 5$   
SR USING ISOLA-GUI PROGRAM**

**Hardiansyah Pratama  
NRP 011113400000 072**

**Advisor  
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**

**Department of Physics  
Faculty of Natural Science  
Tenth Nopember of Technology Institute  
Surabaya 2018**

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN MEKANISME  
PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH MALUKU  
UTARA SEPANJANG TAHUN 2016 DENGAN  
MAGNITUDE  $\geq 5$  SR MEMANFAATKAN  
PROGRAM ISOLA-GUI**

**TUGAS AKHIR**

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah  
Tugas Akhir dan memperoleh gelar Sarjana Sains pada  
bidang Geofisika

Program Studi S-1 Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**HARDIANSYAH PRATAMA**

NRP 01111340000 072

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

**Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**  
NIP. 19620802 198701 1 001



Surabaya, 22 Januari 2018

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN MEKANISME  
PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH MALUKU UTARA  
SEPANJANG TAHUN 2016 DENGAN MAGNITUDE  $\geq 5$   
SR MEMANFAATKAN PROGRAM ISOLA-GUI**

**Nama** : Hardiansyah Pratama  
**NRP** : 011113400000 072  
**Departemen** : Fisika, FIA ITS  
**Pembimbing** : Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa,  
S.U

**Abstrak**

Penelitian dengan fokus analisa momen tensor dan pola bidang patahan dilakukan pada gempa bumi Wilayah Maluku Utara pada tahun 2016 *magnitude*  $\geq 5$ SR dengan memanfaatkan program ISOLA-GUI. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk menentukan nilai momen tensor gempa bumi tektonik dan bentuk pola bidang patahan pada Wilayah Maluku Utara dengan program ISOLA-GUI. Prinsip program ini mengolah tiga komponen gelombang seismik yang terekam dalam seismogram. Data berupa gelombang diolah sesuai masing-masing *event* gempa yang terjadi dan digunakan perhitungan fungsi Green serta inversi. Pada tahap inversi digunakan 4 filter  $f_1, f_2, f_3, f_4$  yang diisi sesuai *event*. *Plotting* untuk hasil dilakukan setelah tahap inversi dan didapatkan nilai *variance reduction* 0.87, 0.99, 0.53, 0.82, 0.92, dan 0.62. Plot selanjutnya berupa nilai momen tensor beserta pola bidang patahan yang disimbolkan dengan *beachball*. Pengolahan tersebut dilakukan pada seluruh *event* gempa..

Kata kunci : ISOLA-GUI, fungsi Green, inversi, *plotting*, *beachball*, *variance reduction*.

# **TENSOR MOMMENT ANALYSIS AND MECHANISM OF EARTHQUAKE NORTH MALUKU ALONG 2016 WITH MAGNITUDE $\geq 5$ SR USING ISOLA-GUI PROGRAM**

**Name** : Hardiansyah Pratama  
**NRP** : 011113400000 072  
**Departement** : Fisika, FIA ITS  
**Advisor** : Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa,  
S.U

## **Abstract**

The research with focus of moment tensor analysis and fault mechanism pattern have been measured by ISOLA-GUI program to earthquake events at Maluku Utara all to 2016 with magnitude  $\geq 5$ SR. The research aims to determine moment tensor and fault mechanism pattern have been measured by ISOLA-GUI. This program's principle is using three seismic component that recorded by seismogram. Data from seismogram as wavelength processed accordingly to each earthquake events and also processed using Green function with filter inversion. The filter inversion step used four filters such as f1, f2, f3, f4 that will be filled accordingly to each events. Plot for the result is done after the inversion and obtained value variation reduction 0.87, 0.99, 0.53, 0.82, 0.92, dan 0.62. The next plot is about moment tensor value and also the fault plane pattern that symbolized by beachball. This process was done for whole of the earthquake events.

**Keywords** : ISOLA-GUI, Green function, inversion, beachball, variance reduction.

## KATA PENGANTAR

Puji serta Syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanna wata'alah karena atas Rahmat dan pertolongannya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir bidang geofisika berjudul :

### **“Analisa Momen Tensor dan Mekanisme Pusat Gempa Bumi Wilayah Maluku Utara Sepanjang Tahun 2016 dengan Magnitude $\geq 5$ SR Memanfaatkan Program ISOLA-GUI”**

Laporan berikut dapat tuntas diselesaikan pasti dengan bantuan dan dukungan banyak rekan maupun pembimbing. Sehingga penulis mengucapkan syukur dan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberi bimbingan, dukungan dan pengetahuan dengan telaten dalam penyelesaian tugas akhir.
2. Orang tua tersayang, Mamah Trikora Hardiyati dan Ayah Ujang Toha. Terimakasih telah memberikan dukungan moral maupun material, nasehat dan wejangan, serta doa yang terus menerus untuk penyelesaian tugas akhir.
3. Adik-adik, Anis Cahyani dan Muhammad Alif. Terimakasih atas dukungan, hiburan serta doa yang terus menerus untuk penyelesaian tugas akhir.
4. Wanita tercantik, Finna Saboe. Terima Kasih atas dukungan, hiburan dan selalu setia menemani untuk menyelesaikan tugas akhir.
5. Keluarga SUPERNOVA 2013 yang turut memberikan dukungan setiap harinya dari pertama hingga akhir masa perkuliahan.
6. Sahabat terdekat, Kangean Fuad, Edo Wippy, Moses Lazuaris dan Ganjar Masrul yang sangat memberi motivasi,

hiburan sehingga cobaan-cobaan dalam penyelesaian Tugas Akhir dapat terlewati.

7. Rekan bimbingan kelompok satu topik dan beberapa rekan yang turut membantu teknis pengolahan data serta banyak memotivasi, antara lain Fathul Alamsyah, Masyitatus dan Putu Riadi.
8. Laboratorium Geofisika FISIKA ITS yang telah memberikan tempat dan fasilitas untuk pengolahan data Laporan.
9. Seluruh rekan dan orang sekitar yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Sekali lagi penulis berterimakasih sebesar-besarnya. Sebagai manusia yang tak luput dari kesalahan, penulis pun merasa terdapat kesalahan dalam Laporan Tugas Akhir. Maka kritik membangun dan banyak saran sangat diharapkan untuk penulis supaya dapat memperbaiki Laporan Tugas Akhir. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir berikut dapat menjadi sarana yang bermanfaat untuk akademisi pada masa depan.

Amin Yaa Karim.

Surabaya, 22 Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
JUDUL (ENGLISH).....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Teori Lempeng Tektonik.....	5
2.2 Gelombang Seismik.....	7
2.3 Gempa Bumi.....	10
2.4 Patahan (Sesar).....	10
2.5 Tegangan Sebagai Tensor.....	13
2.6 Tektonik Maluku Utara.....	16
BAB III METODOLOGI.....	19
3.1 <i>Collecting Data&amp;Extracting Data</i> .....	19
3.1.1 <i>Input Data</i> .....	19
3.2 <i>Processing</i> .....	20
3.2.2 <i>Crustal Model</i> .....	20
3.2.3 <i>Event Info</i> .....	20
3.2.4 <i>Station Selection</i> .....	21
3.2.5 <i>Raw Data Preparation</i> .....	21
3.2.6 <i>Seismic Source Definition</i> .....	22
3.3 <i>Calculating</i> .....	22
3.3.1 <i>Green Function Computation</i> .....	22

3.3.2	<i>Inversion</i> .....	22
3.3.3	<i>Plot Result</i> .....	22
3.4	Perhitungan <i>Slip</i> Sesar .....	23
3.5	Diagram Alir Penelitian .....	23
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....		25
4.1	Data Penelitian .....	25
4.2	Hasil Perhitungan dan Pembahasan .....	25
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		33
5.1	Kesimpulan .....	33
5.2	Saran .....	33
DAFTAR PUSTAKA .....		34
LAMPIRAN .....		35
BIODATA PENULIS .....		41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam-macam interaksi bondari antar lempeng.....	6
Gambar 2.2	Macam-macam patahan.....	6
Gambar 2.3	Gelombang Primer.....	8
Gambar 2.4	Gelombang Sekunder.....	8
Gambar 2.5	Gelombang <i>Love</i> .....	9
Gambar 2.6	Gelombang <i>Rayleigh</i> .....	9
Gambar 2.7	Skema diagram dari mekanisme fokus gempa. (A) Pola <i>beachball</i> terhadap proyeksi bidang sesar dilihat dari samping. (B) Pola <i>beachball</i> dilihat dari atas.....	13
Gambar 2.8	Analisa bentuk gaya F pada permukaan bidang dan elemen permukaan dS dengan titik vektor normal n.....	14
Gambar 2.9	Traksi vektor pada tiga komponen bidang $x_1$ , $x_2$ , $x_3$ sebuah objek tinjauan berbentuk kubus.....	15
Gambar 2.10	Bentuk objek kubus dengan tinjauan komponen <i>stress force</i> yang positif.....	16
Gambar 2.11	Elemen Tektonik Maluku Utara dan Sekitarnya.....	18
Gambar 3.1	Halaman SAC Import.....	19
Gambar 3.2	Halaman event info.....	21
Gambar 3.3	Skema stasiun beserta event gempa pada halaman station selection .....	21
Gambar 3.4	Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 4.1(a)	Orientasi bidang patahan. (b) <i>Beachball</i> sebagai representasi pola bidang sesar pada <i>event</i> 29/03/2016 dengan <i>origin time</i> 09:18:13 WIB.....	27
Gambar 4.2(a)	Orientasi bidang patahan. (b) <i>Beachball</i> sebagai representasi pola bidang sesar pada <i>event</i> 04/06/2016 dengan <i>origin time</i> 10:44:13 WIB.....	28
Gambar 4.3(a)	Orientasi bidang patahan. (b) <i>Beachball</i> sebagai representasi pola bidang sesar pada <i>event</i> 07/06/2016 dengan <i>origin time</i> 19:15:17 WIB.....	29
Gambar 4.4(a)	Orientasi bidang patahan. (b) <i>Beachball</i> sebagai representasi pola bidang sesar pada <i>event</i> 19/06/2016 dengan <i>origin time</i> 05:00:15 WIB.....	29

Gambar 4.5 (a). Orientasi bidang patahan. (b) *Beachball* sebagai representasi pola bidang sesar pada *event* 9/10/2016 dengan *origin time* 14:46:27 WIB.....30

Gambar 4.6 (a). Orientasi bidang patahan. (b) *Beachball* sebagai representasi pola bidang sesar pada *event* 27/10/2016 dengan *origin time* 08:17:51 WIB .....31

Gambar 4.7 Hasil *Fitting* kurva *displacement* dari data *event* gempa tanggal 29/03/2016 pukul 9:18:13 WIB.....31

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai Parameter dari Model Bumi Haslinger-Santosa.....	20
Tabel 4.1 Data event yang terjadi di Maluku Utara.....	25
Tabel 4.2 Data stasiun yang digunakan .....	25
Tabel 4.3 Nilai Rentan Momen Tensor pada Setiap <i>Event</i> Gempa.....	25
Tabel 4.4 Nilai Strike, Dip, Rake pada Setiap Bidang Patahan Masing-masing Event.....	26
Tabel 4.5 Nilai variance reduction Masing-masing Event.....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1

KURVA KORELASI POLA BEACHBALL DANKEDALAMAN.....	..35
--	------

### LAMPIRAN 2

Hasil Fitting kurva displacement .....	..38
---	------



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di Asia Tenggara yang terletak diantara 6 derajat LU – 11 derajat LS dan diantara 95 derajat BT – 141 derajat BT. Indonesia tepat berada di perbatasan dua samudera, yaitu Samudera Pasifik dan Hindia. Indonesia juga berada pada perbatasan Benua Asia dan Australia. Berdasarkan letak secara geografis tersebut, Indonesia tepat berada pada lempeng Pasifik, Indo-Australia dan Eurasia. Lempeng-lempeng tersebut sangat aktif pergerakannya, bergerak secara perlahan dengan kemungkinan saling menjauhi satu sama lain ataupun saling bertabrakan. Efek yang ditimbulkan dari aktivitas lempeng tersebut salah satunya membentuk struktur wilayah Indonesia, seperti gunung, palung, bukit, dataran tinggi dan dataran rendah.

Kondisi wilayah Indonesia yang terletak dalam lingkupan *Ring of Fire* sangat berpengaruh dalam tingkat kebencanaan. Akibatnya banyak sekali *event* gempa bumi bahkan tsunami yang terjadi. Gempa bumi yang terjadi meliputi gempa tektonik maupun vulkanik. Gempa tektonik terjadi dari adanya aktivitas blok lempeng, dimana terdapat puluhan patahan (sesar) aktif di Indonesia. Sedangkan gempa vulkanik terjadi akibat banyaknya aktivitas gunung api pada wilayah Indonesia, dimana terdapat lebih dari 400 gunung berapi dan 130 di antaranya termasuk gunung berapi aktif. Sebagian dari gunung berapi terletak di dasar laut dan tidak terlihat dari permukaan laut.

Wilayah Maluku Utara merupakan salah satu daerah dengan tingkat aktifitas seismik yang besar. Hal tersebut dikarenakan Keadaan tektonik Maluku Utara merupakan daerah tektonik yang kompleks, dibangun oleh interaksi antara lempeng Filipina di utara, lempeng Pasifik di timur, lempeng Eurasia dibarat, dan lempeng Indo-Australia di selatan. Batas selatannya merupakan sistem patahan Sorong dari Papua ke Sulawesi yang panjangnya sekitar 800 km kearah Sulawesi dan

1500 km sepanjang tepi utara Papua ke arah Papua Nugini. sebelah barat dibatasi oleh Laut Maluku dan di timur laut dibatasi oleh ujung selatan Palung Filipina serta timur berbatasan dengan perluasan ke utara Patahan Sorong. Keadaan tektonik yang demikianlah yang membuat Wilayah Maluku Utara sering dilanda gempa bumi.

Gempa bumi terjadi akibat adanya gerakan suatu sesar dengan karakter gerak tertentu. Model gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempa bumi dapat diketahui berdasarkan momen tensor gempa bumi. Momen tensor ini digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi. Konsep momen tensor dapat memberi deskripsi yang lengkap tentang gaya dari sumber titik seismik. Berdasarkan hal tersebut, tugas akhir ini dilakukan untuk menganalisa momen tensor gempa bumi dan pola bidang patahan Wilayah Maluku Utara dengan menggunakan program ISOLA-GUI.

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

Berdasarkan latar belakang, didapatkan rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai momen tensor gempa bumi tektonik pada Wilayah Maluku Utara memanfaatkan program ISOLA-GUI?
2. Bagaimana bentuk pola bidang patahan pada Wilayah Maluku Utara dengan indikasi gempa bumi tektonik memanfaatkan program ISOLA-GUI?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain *event* gempa yang diidentifikasi adalah gempa bumi Wilayah Maluku Utara sepanjang tahun 2016 dengan magnitude  $> 5SR$  dan program yang digunakan adalah ISOLA-GUI.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini dengan mengacu pada permasalahan yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai momen tensor gempa bumi tektonik pada Wilayah Maluku Utara dengan program ISOLA-GUI.
2. Menentukan bentuk pola bidang patahan pada Wilayah Maluku Utara dengan indikasi gempa bumi tektonik memanfaatkan program ISOLA-GUI.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat menjadi informasi dan pengetahuan mengenai momen tensor serta *focal mechanism* gempa bumi dan pola bidang patahan.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penelitian Tugas Akhir ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut:

1. Abstrak, berisi gambaran umum dan pola keseluruhan dari penelitian.
2. Bab I, terdapat Pendahuluan yang mengandung latarbelakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat dari penelitian, dan sistematika penulisan.
3. Bab II, terdapat Tinjauan Pustaka yang berisi dasar teori sebagai landasan dalam penelitian.
4. Bab III, terdapat Metodologi Penelitian yang berisi langkah-langkah atau metode untuk dilakukan penelitian.
5. Bab IV, terdapat Analisa Data dan Pembahasan yang berisi analisa data dan pembahasan keseluruhan hasil dari penelitian.

6. Bab V, terdapat Kesimpulan dan Saran yang mengandung hasil simpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian serupa.

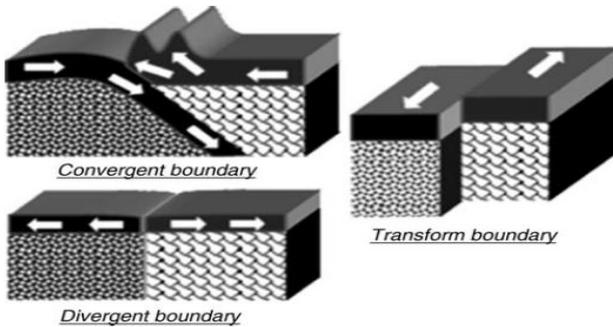
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Teori Lempeng Tektonik**

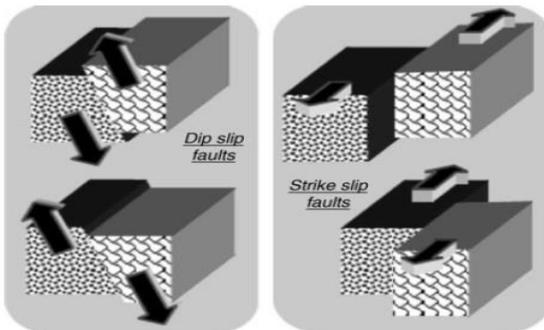
Konsep dasar dari lempeng tektonik didapatkan berdasarkan teori hipotesa wagner yang menyatakan, dua ratus juta tahun yang lalu bumi hanya terdiri dari satu benua yang dinamakan Pangea. Seiring dengan berjalannya waktu Pangea pecah menjadi kepingan-kepingan dan bergerak dengan sangat lambat membentuk format benua dan pulau seperti saat ini. Teori ini disebut dengan *continental drift* (apungan benua). Lempeng-lempeng bergeser saling bersentuhan satu dengan yang lainnya. Lempeng benua bergeser akibat aliran panas dari lapisan mantel yang bergerak menuju permukaan bumi. Pergerakan lempeng benua juga didasarkan pada pola sirkulasi mantel bumi. Peristiwa tersebut menyebabkan terjadinya lipatan, penurunan, dan pengangkatan. Ada banyak sekali lempeng tektonik yang terdapat pada dunia. Tujuh lempeng tektonik terbesar antara lain Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, Lempeng Amerika Utara, Lempeng Amerika Selatan, Lempeng Afrika, dan Lempeng Antartika (Datta T.K, 2010).

Lempeng-lempeng tektonik bergerak dengan arah dan kecepatan yang berbeda. Lempeng tersebut berinteraksi satu sama lainnya dan membentuk beberapa pola. Pada umumnya, terdapat tiga macam interaksi yang terjadi. Interaksi tersebut antara lain pola konvergen bondari, divergen bondari, dan transform bondari.



**Gambar 2.1** Macam-macam interaksi bondari antar lempeng. (Murty, C.V.R, 2005)

Pola patahan pada bondari antar lempeng yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi tektonik. Patahan seringkali juga disebabkan karena gempa bumi, namun hanya sedikit terjadi. Pada pola yang terbentuk didapatkan dua macam perbedaan slip antara lain *dipslip* dan *strikeslip*. *Dipslip* terbentuk dengan arah vertikal, sedangkan *strikeslip* mempunyai arah horisontal. Patahan yang terbentuk akibat *dipslip* terjadi ketika *upper rock bed* bergerak ke atas maupun ke bawah. Untuk patahan yang terbentuk akibat *strikeslip* terjadi ketika lapisan lateral bagian samping (kiri maupun kanan) patahan bergeser dengan arah yang berbeda satu sama lainnya (Datta T.K, 2010).



**Gambar 2.2** Macam-macam patahan (*fault of slip*). (Murty C.V.R, 2005)

## 2.2 Gelombang Seismik

Gelombang adalah perambatan energi yang mampu memindahkan partikel ke tempat lain sesuai dengan arah perambatannya. Gelombang elastik atau yang lebih dikenal dengan gelombang seismik meneruskan energi yang ditimbulkan dari satu titik pusat menuju permukaan bumi melalui berbagai lapisan. Peristiwa berikut yang menyebabkan adanya kerusakan pada bagian atas permukaan bumi. Di dalam bumi, gelombang elastik ini menjalar melalui berbagai media dan membentuk gelombang badan. Pada permukaan bumi, gelombang tersebut menjalar sebagai gelombang permukaan. Jalaran gelombang tersebut menyebabkan refleksi dan refraksi. Peristiwa refleksi dan refraksi dari gelombang berada dekat dengan permukaan dan di dalam setiap lapisan bumi (Young, 2003).

Gelombang seismik dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu gelombang pusat (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang pusat menjalar di dalam bumi sedangkan gelombang permukaan menjalar di permukaan bumi (Putri, 2012).

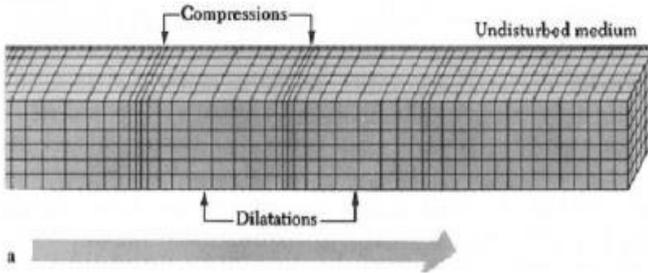
### a. Gelombang Badan (*body wave*)

Gelombang badan adalah gelombang pusat menjalar di dalam bumi. Gelombang badan meliputi:

#### 1. Gelombang Primer (P)

Gelombang primer atau gelombang kompresi sangat bermanfaat dalam penentuan secara cepat dan akurat pada peringatan dini gempa bumi maupun tsunami. Karena gelombang P memiliki kecepatan paling tinggi dari pada gelombang S yang mengakibatkan gelombang ini tercatat pertama kali pada alat seismograf. Kecepatan gelombang P (VP) adalah  $\pm 5 - 7$  km/s di kerak bumi,  $> 8$  km/s di dalam mantel dan inti bumi,  $\pm 1,5$  km/s di dalam air, dan  $\pm 0,3$  km/s di udara.

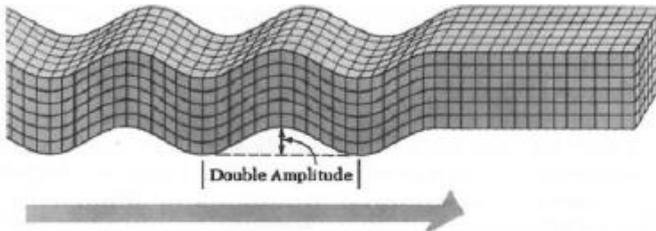
Gelombang ini merupakan gelombang longitudinal partikel yang arah gelombang sejajar dengan arah penjarannya. Gelombang P dapat melewati semua medium dengan arah getarnya ke depan dan ke belakang sehingga materi yang dilaluinya mengalami tekanan dan peregangan seperti spiral.



**Gambar 2.3** Gelombang Primer (Elnashai dan Sarno, 2008)

## 2. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder atau gelombang transversal (*shear wave*) memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya. Gelombang ini waktu tibanya setelah gelombang P sehingga anak tercatat setelah gelombang P pada seismograf. Gelombang ini tidak dapat merambat pada fluida sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bumi bagian dalam mampu dilewati. Kecepatan gelombang S ( $V_S$ ) adalah  $\pm 3 - 4$  km/s di kerak bumi,  $> 4,5$  km/s di dalam mantel bumi, dan  $2,5 - 3,0$  km/s di dalam inti bumi.



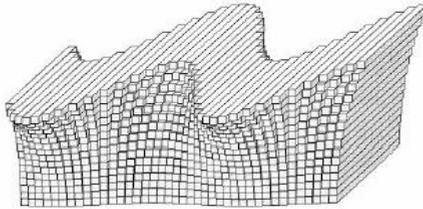
**Gambar 2.4** Gelombang Sekunder (Elnashai dan Sarno, 2008)

### b. Gelombang Permukaan (*surface wave*)

Gelombang permukaan merambat di permukaan bumi, amplitudo gelombang ini akan semakin melemah jika semakin menjalar masuk ke dalam bumi. Gelombang permukaan meliputi :

#### 1. Gelombang Love

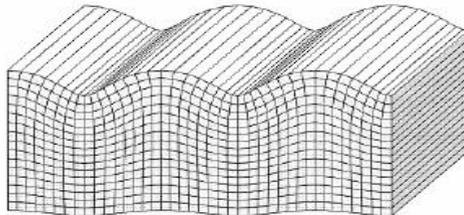
Gelombang ini merupakan gelombang yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjarannya. Gelombang *love* merupakan gelombang transversal, kecepatan gelombang ini di permukaan bumi (VL) adalah  $\pm 2,0 - 4,4$  km/s.



**Gambar 2.5** Gelombang *Love* (Elnashai dan Sarno, 2008)

#### 2. Gelombang Rayleigh

Gelombang *Rayleigh* merupakan jenis gelombang permukaan yang memiliki kecepatan (VR) adalah  $\pm 2,0 - 4,2$  km/s di dalam bumi. Arah rambatnya bergerak tegak lurus terhadap arah rambat dan searah bidang datar.



**Gambar 2.6** Gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008)

### 2.3 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran di permukaan bumi akibat adanya sumber getar yang berada di dalam bumi. Pusat gempa adalah titik dimana getaran itu berasal, pusat gempa yang berada di bawah permukaan bumi disebut hiposenter dan pusat gempa yang berada di permukaan tepat diatas hiposenter disebut episenter (Noor, 2011).

Penyebaran pusat-pusat gempa dalam waktu dan ruang telah banyak dipetakan. Dalam domain waktu yang tak terhingga penyebaran itu memenuhi distribusi poisson. Namun, teori ini tidak dapat mengkuualikasi pola kegempaan dalam waktu tertentu, sehingga gempa yang akan terjadi tidak dapat diprediksikan waktunya. Gempa bumi tidak dapat dicegah, yang dapat dilakukan yakni mempelajari untuk mitigasi. Pada dasarnya gempa bumi dapat dibedakan menjadi gempa bumi gunungapi, gempa bumi tektonik dan gempa bumi robohan. Pada penelitian ini, pengamatan dipusatkan pada gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik sendiri adalah gempa yang disebabkan adanya pergeseran-pergeseran di dalam bumi secara tiba-tiba. Peristiwa gempa bumi tektonik sangat erat hubungannya dengan teori tektonik lempeng mengenai pembentukan pegunungan yang biasanya diikuti dengan pembentukan sesar-sesar baru. Jikalau tegangan-tegangan mengakibatkan sesar-sesar lama yang sudah tidak aktif, aktif kembali dengan melakukan pergerakan yang cukup besar maka dapat menyebabkan terjadi gempa bumi tektonik (Noor, 2006).

### 2.4 Patahan (Sesar)

Mekanisme sumber gempa bumi atau dikenal “mekanisme focal” adalah istilah yang digunakan untuk menerangkan sifat penjaralan energi gempa bumi di pusatnya, atau focus gempa bumi itu terjadi. *Shear faults* atau sesar sering dianggap sebagai mekanisme penjaralan energi gelombang elastik pada fokus tersebut, sehingga dapat memperoleh arah gerakan patahan dan arah bidang patahan untuk suatu gempa diperoleh solusi patahan. *Shear faults* atau sesar merupakan retakan yang terjadi

ketika fenomena gempa bumi terjadi dan ketika sedang atau setelah *displacement* terjadi. Terdapat dua unsur pada sesar yaitu *hanging wall* (atap sesar) dan *foot wall* (alas sesar). *Hanging wall* (atap sesar) adalah bongkah sesar yang terdapat di bagian atas bidang sesar, sementara *foot wall* (alas sesar) adalah bongkah sesar yang berada di bagian bawah bidang sesar.

Banyak model sesar dengan karakteristik pergerakannya, sesar mendatar (*strike slip fault*) dan sesar tidak mendatar (*dip slip*). Sesar mendatar merupakan sesar dengan arah gerak blok sesar yang horizontal. Berikut adalah dua macam sesar mendatar:

1. *Right Lateral* adalah sesar yang bergerak mendatar searah jarum jam.
2. *Left Lateral* adalah sesar dengan arah gerak mendatar berlawanan arah jarum jam.

Sesar tidak mendatar merupakan sesar dengan arah gerak blok secara vertikal atau miring. Macam-macam jenis sesar tersebut adalah:

1. *Normal Fault* atau sesar turun adalah sesar dengan bidang kemiringan yang besar. Posisi *hanging wall* relatif turun terhadap *foot wall*.
2. *Reverse Fault* atau sesar naik adalah sesar dengan posisi *hanging wall* yang relatif naik terhadap *foot wall*.
3. *Oblique Fault* adalah sesar yang mempunyai gerak secara diagonal karena gabungan dari sesar horizontal dan vertikal.

Adapun Parameter sesar antara lain:

1. *Dip* ( $\delta$ )

*Dip* merupakan parameter sesar berupa sudut kemiringan *fault*. Sudut yang diukur permukaan bumi normal dengan bidang sesarnya. *Dip* mempunyai karakteristik sudut dari  $0^\circ$  hingga  $90^\circ$ .

2. *Strike* ( $\phi$ )

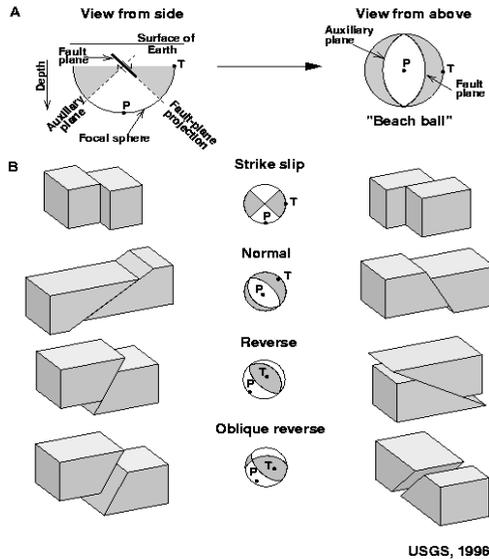
*Strike* merupakan parameter sesar dengan sudut orientasi *fault*. *Strike* diukur sudutnya searah jarum jam dari Utara. *Strike* memiliki sudut dari  $0^\circ$  hingga  $360^\circ$ .

3. *Slip*

Arah gerakan *fault* diidentifikasi dengan parameter *Slip*. *Slip* mempunyai dua karakteristik yang dapat memberi informasi jauh batuan yang bergerak dan arah gerak batuan tersebut.

Pada analisa mekanisme tersebut, karakteristik gempa juga digambarkan dalam bentuk *beachball symbol*. Symbol *beachball* merupakan sebuah proyeksi atau gambaran dari bidang horisontal pada lingkup area yang mengelilingi fokus gempa.

Schematic diagram of a focal mechanism



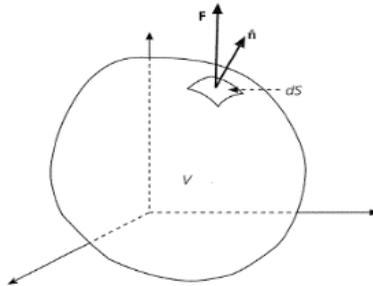
**Gambar 2.7** Skema diagram dari mekanisme fokus gempa. (A) Pola *beachball* terhadap proyeksi bidang sesar dilihat dari samping. (B) Pola *beachball* dilihat dari atas. (USGS)

## 2.5 Tegangan sebagai Tensor

Pada Hukum Newton kedua dituliskan  $F = ma$ , ilustrasi tali yang digetarkan akan membentuk propagasi gelombang. Hal ini dapat dihubungkan dengan bab sebelumnya yang membahas interior bumi terdapat aktivitas seismik. Aktivitas gelombang seismik tersebut dianalisa menggunakan konsep kontinuitas deformasi materi dalam bumi dengan mengacu pada sifat karakteristik material tersebut. Densitas, gaya, dan *displacement* dianalisa secara kontinyu dengan fungsi yang berbeda-beda. Hukum Newton kedua dituliskan kembali dalam bentuk gaya per unit volum, densitas, dan massa per unit volum. Ketika densitas konstan tidak berubah dalam fungsi waktu, maka persamaan Hukum Newton kedua menjadi:

$$f(x, t) = \rho \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} \quad (2.4)$$

$\rho$  merupakan densitas,  $f(x, t)$  adalah gaya per unit volum, kemudian  $u(x, t)$  sebagai derivatif kedua dari vektor *displacement* terhadap waktu. Selanjutnya persamaan gaya dengan vektor tersebut dianalisa dalam beberapa kondisi. Pada propagasi gelombang seismik, persamaan tersebut dapat divariasikan terhadap fungsi jarak dan waktu. (Seth Stein, 2002)



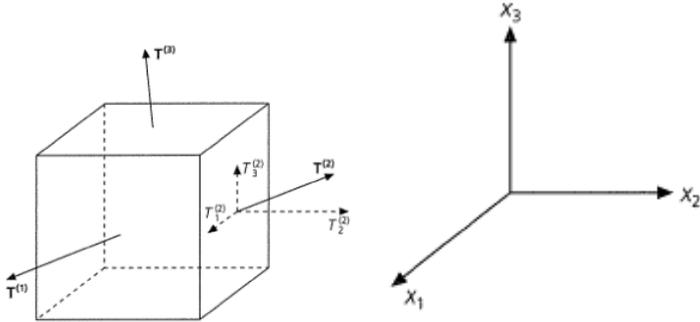
**Gambar 2.8** Analisa bentuk gaya  $F$  pada permukaan bidang dan elemen permukaan  $dS$  dengan titik vektor normal  $n$ . (Seth Stein, 2002)

Terdapat dua gaya yang menyebabkan adanya tegangan, yaitu gaya dalam bidang dan gaya permukaan. Gaya dalam bidang (*body force*) merupakan gaya yang bergerak pada keseluruhan bidang. Hal ini menghasilkan gaya yang proporsional dalam volum sebuah material. Gaya permukaan (*surface force*) bertindak hanya pada permukaan bidang. Ketika pada *body force*, densitas dan volum objek menjadi acuan untuk mengukurnya. Namun pada *surface force* hanya ada bidang permukaan dan elemen permukaan yang dapat dianalisa. Berdasarkan hal tersebut, traksi vektor dapat dihitung sebagai limit pada *surface force* per unit area:

$$T(n) = \lim_{dS \rightarrow 0} \frac{F}{dS} \quad (2.5)$$

Traksi vektor tersebut dapat digunakan pada tiga bidang permukaan terhadap elemen volum yang tegak lurus

dengan posisi koordinat. Komponen dari tiga traksi vektor direpresentasikan dengan  $T_i^{(j)}$ ,  $j$  merupakan indikator permukaan dan  $i$  adalah indeks indikator komponen.



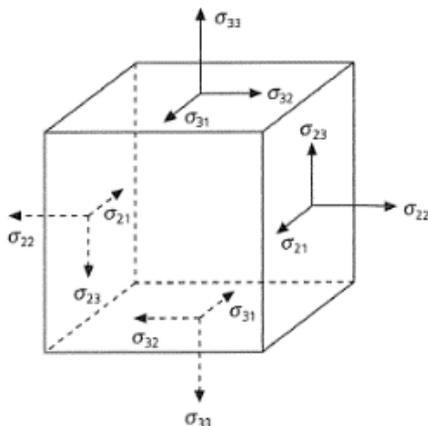
**Gambar 2.9** Traksivektor pada tiga komponen bidang  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  sebuah objek tinjauan berbentuk kubus. (Seth Stein, 2002)

Lebih lanjut, digambarkan terdapat beberapa traksi vektor pada *surface force*. Traksi tersebut digabungkan dalam sebuah tensor tegangan atau *stress tensor* ( $\sigma_{ji}$ ). *Stress tensor* dianalisa dengan matriks sebagai berikut:

$$\sigma_{ji} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T^{(1)} \\ T^{(2)} \\ T^{(3)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_1^{(1)} & T_2^{(1)} & T_3^{(1)} \\ T_1^{(2)} & T_2^{(2)} & T_3^{(2)} \\ T_1^{(3)} & T_2^{(3)} & T_3^{(3)} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

dalam matriks tersebut dijelaskan bentuk *stress tensor* yang ditinjau dalam *surface force* sebuah bidang. Pada tiga komponen diagonal dari *stress tensor*,  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$  disebut sebagai *normal stresses* dan pada diagonal lainnya disebut dengan *shear stresses*. Gambar 2.9 dipaparkan kembali sebagai

bentuk *stress tensor* dalam tegangan positif untuk mengekspansi volum sebuah objek.



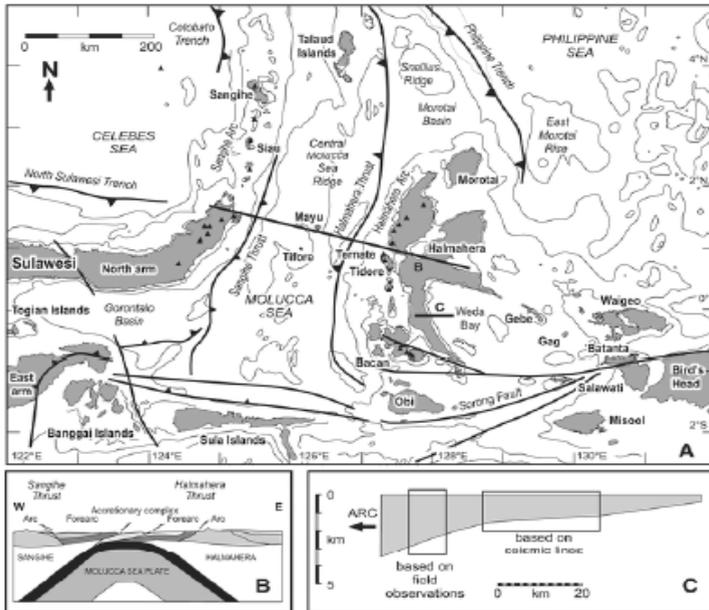
**Gambar 2.10** Bentuk objek kubus dengan tinjauan komponen *stress force* yang positif. (Seth Stein, 2002)

## 2.6 Tektonik Maluku Utara

Wilayah Maluku Utara merupakan salah satu daerah dengan tingkat aktifitas seismik yang besar. Hal tersebut dikarenakan Keadaan tektonik Maluku Utara merupakan daerah tektonik yang kompleks, dibangun oleh interaksi antara lempeng Filipina di utara, lempeng Pasifik di timur, lempeng Eurasia di barat, dan lempeng Indo-Australia di selatan. Batas selatannya merupakan sistem patahan Sorong dari Papua ke Sulawesi yang panjangnya sekitar 800 km ke arah Sulawesi dan 1500 km sepanjang tepi utara Papua ke arah Papua Nugini. sebelah barat dibatasi oleh Laut Maluku dan di timurlaut dibatasi oleh ujung selatan Palung Filipina serta timur berbatasan dengan perluasan ke utara Patahan Sorong. Di sebelah timur juga terdapat busur gunung api aktif Halmahera, dan di sebelah barat terdapat busur gunung api aktif Sangihe. Data gempa menunjukkan adanya zona Benioff yang menjamuk ke arah timur dan barat, atau ke arah menjauh dari Laut Maluku.

Kedua busur magmatik di daerah ini dipisahkan oleh jarak terdekat 250 km, dimana masing-masing sisi busur terdapat palung dengan kedalaman hingga 3 km. Diantara palung-palung tersebut dijumpai morfologi tinggi yaitu punggung Mayu-Talud yang pada beberapa tempat muncul ke permukaan sebagai pulau, yaitu Pulau Mayu, Pulau Talud dan Pulau Tifore. Gempa-gempa dangkal yang terkonsentrasikan di bawah puncak punggung tersebut, dan berdasarkan analisis mekanisme fokal menunjukkan tipe sesar naik (Hermanto, 2014).

Tingginya tekanan yang bekerja pada lempeng tektonik Laut Maluku, yang posisinya sangat unik, yang merupakan salah satu manifestasi aktivitas cincin api Pasific (Pasific Ring of Fire). Tektonik di daerah ini terlihat bahwa yang sejajar satu sama lain merupakan gambaran besarnya gaya yang bekerja sehingga terbentuk lempeng-lempeng tektonik mikro, yang saling sejajar polanya. Lempeng tektonik Laut Maluku, lempeng tektonik Halmahera, yang saling sejajar, lempeng tektonik Sangihe yang dapat dikatakan tegak lurus kedua lempeng ini sebagai hasil kerja saling menekan mega lempeng tektonik Eurasia di barat dengan mega lempeng tektonik Pasifik di timur, yang saling menekan satu sama lain. Kedua lempeng tektonik mikro Halmahera, Laut Maluku dan boleh jadi juga lempeng tektonik mikro Sangihe merupakan serpihan kedua margin mega lempeng tektonik itu yang terbentuk kemudian. Lebih mikro lagi yang mencirikan seismisitas khususnya lempeng tektonik mikro Laut Maluku, sebagai dampak tekanan yang begitu besar dalam waktu yang lama menjadikannya sangat sarat dengan pensesaran, kejadiannya memicu stabilitas batuan setempat menjadi labil, sehingga memicu gempa-gempa lain yang lebih kecil dalam jumlah yang sangat banyak. Semakin tinggi tingkat kerapuhan batuan setempat, maka semakin banyak gempa susulan yang akan terjadi. Ini merupakan ciri akan aktivitas pada daerah yang terkena tekanan yang begitu kuat dalam waktu yang lama.



**Gambar 2.11.** Elemen Teknik Maluku Utara dan Sekitarnya

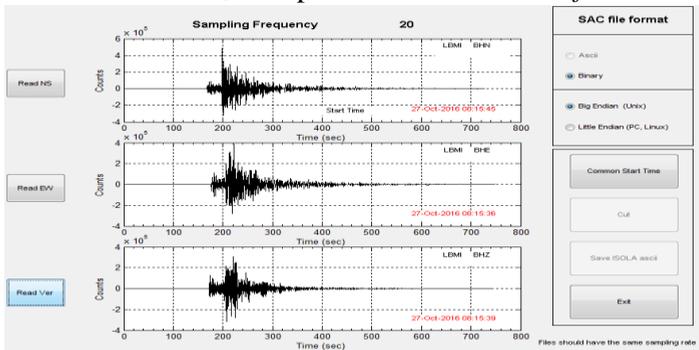
## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Collecting Data & Extracting Data

Data yang akan diolah terlebih dahulu diunduh pada sumber *webdc.eu*. Data yang diunduh berupa *event* gempa bumi dan stasiun *geophone* pada Wilayah Maluku Utara, Indonesia dengan jangkauan awal hingga akhir tahun 2016. Gempa bumi berkisar pada *magnitude* lebih dari 4.9SR. Masing-masing data mempunyai keterangan detail antara lain tanggal & waktu terjadinya gempa (*origin time*), letak koordinat (*latitude & longitude*), besar *magnitude*, dan kedalaman (*depth*). Setelah proses pengunduhan data selesai, dilanjutkan *extracting data* untuk mengkonversi data dalam bentuk SEED menjadi SAC supaya dapat diolah dalam program berikutnya. *Extracting* dilakukan dengan bantuan *software* JrdSeed dan CMD.

#### 3.1.1 Input Data

Data yang telah diunduh dan diekstrak menjadi SAC kemudian diimport dalam halaman *SAC Import*. Di dalam halaman berikut, data berupa gelombang seismik akan dibaca dalam ISOLA-GUI. Gelombang yang dibaca dipilih menjadi tiga bagian, *North-South (N)*, *East-West (E)*, dan *Vertical (Z)*. Setelah data terbaca, disimpan dalam bentuk *ascii file*.



Gambar 3.1 Halaman *SAC Import*

### 3.2 Processing

Tahap selanjutnya setelah data telah terkumpul adalah *processing*. Tahap berikut dilakukan tetap dengan menggunakan software ISOLA-GUI. Pada program ini, data hasil input diolah dengan memasukkan data gempa (SAC) yang berupa gelombang seismik. Setelah itu dilakukan perhitungan *Green's Function* dan inversi. Kemudian didapatkan nilai momen tensor dan didapatkan *plot result* dari pengolahan data.

#### 3.2.2 Crustal Model

Krustal model untuk wilayah yang diteliti juga harus dimasukkan dalam ISOLA-GUI. Pada halaman *Define Crustal Model*, diisi nilai beberapa parameter seperti  $V_p$ ,  $V_s$ , kedalaman, dan sebagainya untuk model tomografi. Krustal model atau model bumi yang digunakan dalam penelitian ini ialah model bumi Haslinger-Santosa. Model bumi Haslinger-Santosa adalah salah satu model kecepatan yang sesuai dengan kondisi bawah permukaan bumi di wilayah Indonesia.

**Tabel 3.1** Nilai Parameter dari Model Bumi Haslinger-Santosa.

No	$V_p$ (km/s)	Depth (km)	$V_s$ (km/s)	Dens (g/cm <sup>3</sup> )	Qp	Qs
1	2.31	0.0	1.300	2.500	300	150
2	4.27	1.0	2.400	2.900	300	150
3	5.52	2.0	3.100	3.000	300	150
4	6.23	5.0	3.500	3.300	300	150
5	6.41	16.0	3.600	3.400	300	150
6	6.70	33.0	4.700	3.400	300	150
7	8.00	40.0	4.760	3.500	1000	500

#### 3.2.3 Event Info

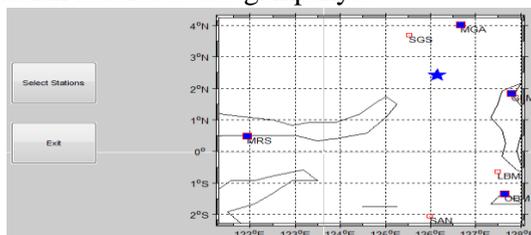
Tahap selanjutnya dipilih halaman *event info* yang berisi keterangan setiap *event* gempa (*latitude, longitude, magnitude, depth, origin time, dan start time*). Keterangan diisi sesuai masing-masing *event* gempa yang diunduh, setelah itu *update* data untuk acuan pengolahan.

Event Info		Event Origin Time	Update
Lat (Deg,Min) 30.00   50.00	Lat (Decimal Degrees) 2.42	Hour 9	
DDMM--DOED 21.00   50.00	Lon (Decimal Degrees) 126.16	Min 18	
Depth (km) 78		Seconds 13	Exit
Comments			
Magnitude 5.3	Date 20160329	Location agency VBERDC	
Data start time	Data Options		
Hour 9	Time Length (sec) 345.76 455.6 619.2 1638.4		
Min 18	This is the part of data that will be used for the inversion starting at origin time		
Seconds 0			

**Gambar 3.2** Halaman *event info*

### 3.2.4 Station Selection

Tahap selanjutnya dipilih halaman *station selection* untuk pemilihan stasiun perekam gempa yang berada terdekat pada setiap *event* gempa. Stasiun yang dipilih terdiri dari dua hingga lima stasiun pada masing-masing *event* gempa. Tahap berikut dibantu dengan subfolder *m\_map* untuk menampilkan skema stasiun beserta *event* gempanya.



**Gambar 3.3** Skema stasiun beserta *event* gempa pada halaman *station selection*

### 3.2.5 Raw Data Preparation

Data ascii yang tersimpan pada tahapan input dibuka kembali pada halaman ini. Data berupa gelombang seismik dikoreksi, dihapus beberapa *noise* untuk memperhalus frekuensi dan mendapatkan *start time* secara otomatis. Data inilah yang menjadi data utama pada proses perhitungan dan inversi.

### **3.2.6 Seismic Source Definition**

Halaman ini berisi data kedalaman *event* gempa yang ditinjau. Pada kolom *Starting Depth* dan *No Of Source* diisi kedalaman yang mencakup nilai kedalaman hiposenter. Kolom *Depth Step* merupakan spasi tinjauan dari range dasar kedalaman hingga permukaan.

## **3.3 Calculating**

Setelah dilakukan berbagai persiapan data di atas, selanjutnya dikerjakan tahap perhitungan dan inversi, serta *plotting* hasil pengolahan data.

### **3.3.1 Green Function Computation**

Pada halaman berikut, dilakukan perhitungan data menggunakan fungsi Green. Perhitungan dimulai dengan membuka halaman *green function computation*. Setelah itu klik tombol *Run*, hingga hasil perhitungan fungsi Green didapatkan.

### **3.3.2 Inversion**

Selanjutnya dilakukan tahap inversi untuk mendapatkan model dari data yang diolah. Tahap inversi berisi banyak parameter untuk mengubah data kuantitatif yang ada menjadi model yang dapat dibaca dalam bentuk data kualitatif (kurva). Pada kolom filter, nilai filter  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  diisi mengacu pada *event* gempa yang ditinjau. Nilai filter inversi berupa frekuensi yang dikorelasikan dengan *magnitude*. Setelah mengisi kolom filter, *run* program dan didapatkan hasil inversi.

### **3.3.3 Plot Result**

Hasil dari tahapan inversi berupa plot yang menunjukkan nilai korelasi hasil perhitungan fungsi Green dengan hasil seismogram, mekanisme fokus gempa, dan beberapa plot lainnya. Untuk mendapatkan plot momen tensor, dilakukan terlebih dahulu plot data sintetik dan real. Plot tersebut merupakan korelasi antara kurva perhitungan fungsi Green dengan kurva observasi seismogram (*real data*). Dalam

plot ini digunakan acuan *variance reduction* sebagai harga keakuratan hasil perhitungan dengan *real data*. Ketika nilainya mendekati 1, hal itu menunjukkan korelasi keduanya sangat presisi. Saat nilai menunjukkan  $<0.5$ , maka kembali lagi pada tahap inversi untuk mengganti nilai filter. Hasil dari plot inilah yang akan diinterpretasikan menjadi nilai momen tensor dan pola bidang sesar.

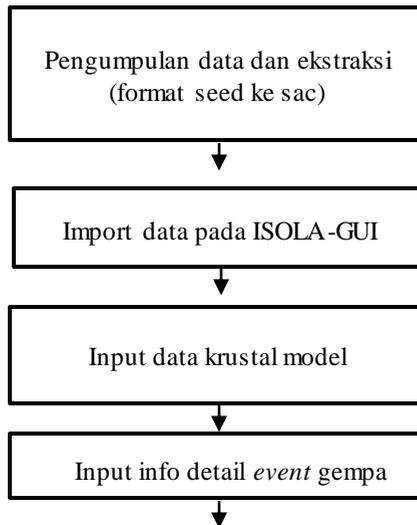
### 3.4 Perhitungan *Slip* Sesar

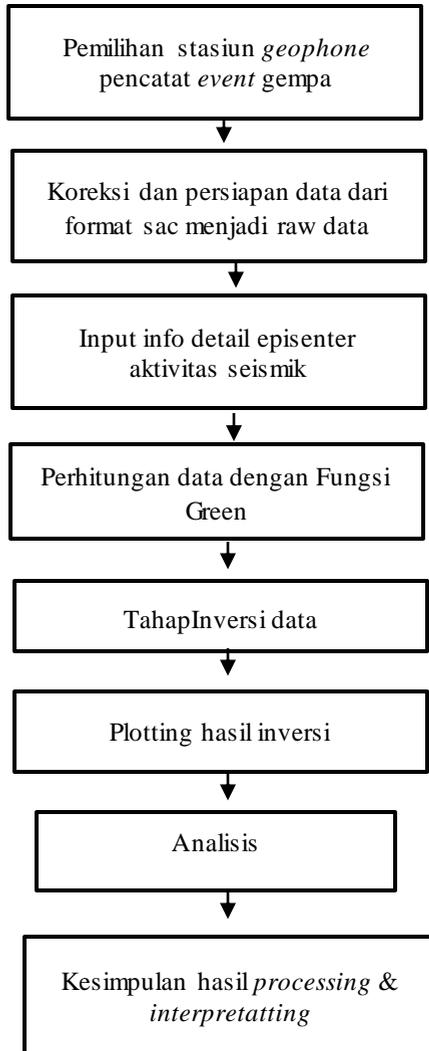
Setelah nilai momen tensor dan sifat sesar didapatkan, maka dapat ditentukan harga panjang, lebar dan besar *slip*. Besar *slip* diukur dengan persamaan momen seismik ( $M_0$ ) sebagai berikut,

$$M_0 = \mu DLW \quad (3.1)$$

$\mu$  merupakan konstanta koefisien rigiditas batuan, D adalah nilai *slip* rata-rata sesar, L sebagai panjang sesar dan W sebagai lebar sesar. (Leonard 2010).

### 3.5 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.4** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data

Pada penelitian ini digunakan *event* yang terjadi di Maluku Utara,

**Tabel 4.1** Data *event* yang terjadi di Maluku Utara

No	Tanggal	Jam	Latt	Long	Mag	Depth
1	2016-10-27	08:17:51	1.42	125.76	5.7	82
2	2016-10-09	14:46:27	1.78	127.49	5.7	137
3	2016-06-19	05:00:15	1.02	126.21	5.1	61
4	2016-06-07	19:15:17	1.36	126.34	6.3	47
5	2016-06-04	10:44:13	0.45	126.39	5.4	44
6	2016-03-29	09:18:13	2.42	126.16	5.3	78

Dan stasiun yang digunakan dalam penelitian ini adalah,

**Tabel 4.2** Data stasiun yang digunakan

No	Nama	Latt	Long
1	MGA	4.01	126.67
2	TMS	1.29	124.92
3	GLM	1.84	127.79
4	SAN	-2.05	125.99
5	LBM	-0.64	127.50
6	TNT	0.77	127.37

### 4.2 Hasil Perhitungan dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengolahan data gelombang seismik tiga komponen pada ISOLA-GUI, didapatkan hasil nilai momen tensor untuk gempa Wilayah Maluku Utara sebagai berikut,

**Tabel 4.3** Nilai Rentan Momen Tensor pada Setiap *Event* Gempa.

<i>Event</i>	$M_{rr}$	$M_{tt}$	$M_{pp}$	$M_{rt}$	$M_{rp}$	$M_{tp}$	$e$
2016-10-27	1.340	-8.550	7.210	7.512	0.427	2.205	17
2016-10-09	-0.167	-0.969	1.136	0.115	1.134	-0.264	18
2016-06-19	-0.580	-1.684	2.264	0.203	-0.911	-3.087	16

2016-06-07	1.744	-3.684	1.940	0.231	-0.078	-0.018	18
2016-06-04	-0.276	-0.190	0.466	3.794	2.946	0.873	16
2016-03-29	2.935	-2.695	-0.243	-1.295	2.592	-0.469	17

Nilai momen tensor (M) tersebut mempunyai satuan Nm. Pada setiap event gempa yang terjadi, tercatat momen tensor bernilai berbeda-beda namun tidak sangat kontras. Besar nilai momen seismik tersebut merupakan penggambaran model sesar penyebab gempa bumi tersebut. Momen tensor digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi. Dari inversi momen tensor dapat ditentukan parameter jenis sesar (*strike*, *dip* dan *rake*). Dalam tabel berikut disajikan besar dari ketiga parameter jenis sesar.

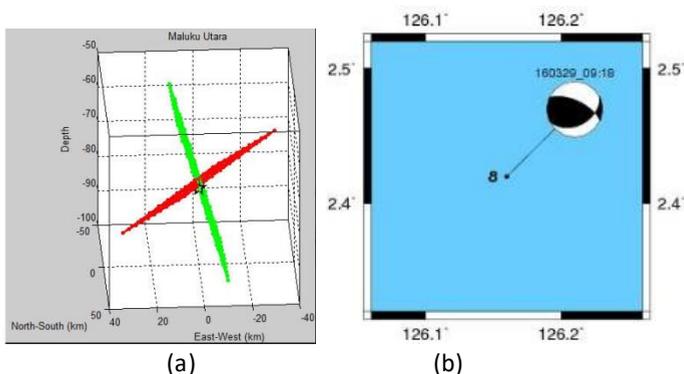
**Tabel 4.4** Nilai *Strike*, *Dip*, *Rake* pada Setiap Bidang Patahan Masing-masing *Event*.

Event	Bidang 1			Bidang 2		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
20161027	236	86	-36	328	54	-175
20161009	301	46	179	32	89	44
20160619	106	78	176	197	86	12
20160607	133	78	164	226	74	13
20160604	351	7	-152	233	87	-83
20160329	62	39	44	295	64	120

*Strike* merupakan parameter sesar dengan sudut orientasi *fault*. Nilai pada kolom *strike* menunjukkan nilai sudut yang dibentuk oleh bidang patahan dengan permukaan horisontal. *Strike* dapat membuat sudut dari 0° hingga 360°. Selanjutnya adalah kolom *dip*, *dip* adalah parameter sesar berupa sudut kemiringan *fault*. Nilai pada kolom *dip* dibentuk antara patahan dengan bidang horisontal. *Dip* dapat membuat sudut dari 0° hingga 360°. Kemudian terdapat kolom *rake* yang menunjukkan nilai sudut pergerakan bidang terhadap kondisi *strike*. Pada setiap fenomena patahan, seolah-olah akan terdapat dinding atas dan dinding bawah. *Rake* inilah yang berperan untuk menunjukkan arah gerak dinding bagian atas akan bergerak naik atau turun secara diagonal. Ketika nilai *rake* 0°, ini berarti *hanging wall* atau sisi kanan dari patahan yang

terlihat secara vertikal, seakan-akan menjauh dari ujung atas  $0^\circ$  dan dapat dikatakan *left lateral motion*. Dan saat nilai *rake*  $\pm 180^\circ$ , hal ini dapat diartikan dinding atas seolah-olah mendekati ujung  $0^\circ$  atau disebut *right lateral motion* (OpenSHA).

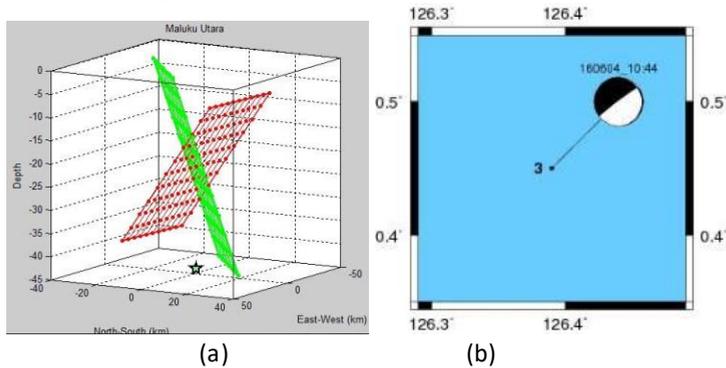
Pada gempa yang terjadi tanggal 29/03/2016 dengan *origin time* 09:18:13 WIB menunjukkan bahwa pola bidang yang terbentuk adalah *reverse fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 62, *dip* = 39, dan *rake* = 44 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 295, *dip* = 64, dan *rake* = 120. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 2 km dan jarak dengan bidang kedua sebesar 2 km, sehingga bidang patahannya di tengah di antara bidang pertama dan kedua. Untuk selisih kedalaman hiposenter dan centroidnya adalah 4 km.



**Gambar 4.1** (a). Orientasi bidang patahan. (b) *Beachball* sebagai representasi pola bidang sesar pada *event* 29/03/2016 dengan *origin time* 09:18:13 WIB

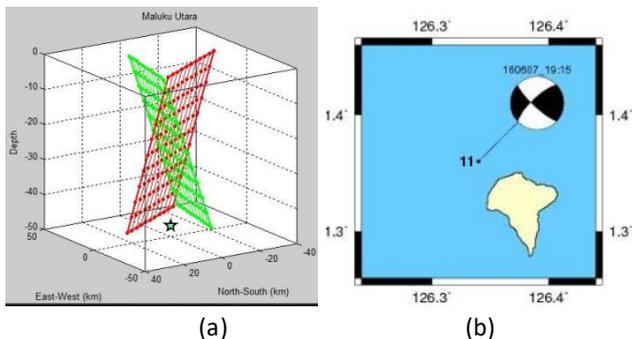
Pada gempa yang terjadi tanggal 04/06/2016 dengan *origin time* 10:44:13 WIB menunjukkan bahwa pola bidang yang terbentuk adalah *normal fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 351, *dip* = 7, dan *rake* = -152 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 233, *dip* = 87, dan *rake* = -

83. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 11.74 km dan jarak dengan bidang kedua sebesar 17.40 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan *auxiliary plane*-nya berwarna merah. Untuk selisih kedalaman hiposenter dan centroidnya adalah 35 km.



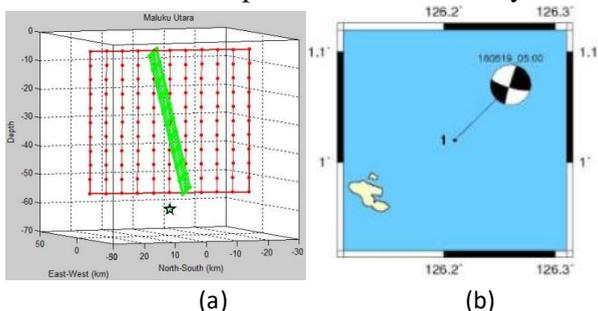
**Gambar 4.2** (a). Orientasi bidang patahan. (b) *Beachball* sebagai representasi pola bidang sesar pada *event* 04/06/2016 dengan *origin time* 10:44:13 WIB

Pada gempa yang terjadi tanggal 07/06/2016 dengan *origin time* 19:15:17 WIB menunjukkan bahwa pola bidang yang terbentuk adalah *strike-slip fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar strike = 133, dip = 78, dan rake = 164 dan bidang kedua (merah) besar strike = 226, dip = 74, dan rake = 13. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 11.33 km dan jarak dengan bidang kedua sebesar 10.29 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna merah dan *auxiliary plane*-nya berwarna hijau. Untuk selisih kedalaman hiposenter dan centroidnya adalah 17 km.



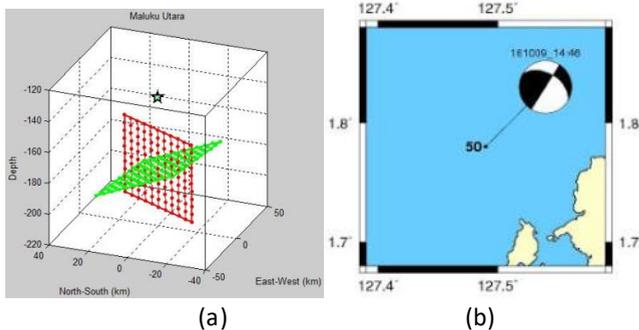
**Gambar 4.3** (a). Orientasi bidang patahan. (b) *Beachball* sebagai representasi pola bidang gesar pada *event* 07/06/2016 dengan *origin time* 19:15:17 WIB.

Pada gempa yang terjadi tanggal 19/06/2016 dengan *origin time* 05:00:15 WIB menunjukkan bahwa pola bidang yang terbentuk adalah *strike-slip fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar strike = 106, dip = 78, dan rake = 176 dan bidang kedua (merah) besar strike = 197, dip = 86, dan rake = 12. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 8.36 km dan jarak dengan bidang kedua sebesar 6.31. Sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna merah dan *auxiliary plane*-nya berwarna hijau. Untuk selisih kedalaman hiposenter dan centroidnya adalah 31 km.



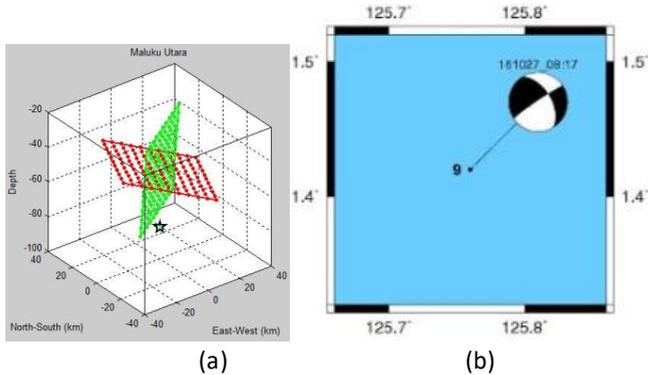
**Gambar 4.4** (a). Orientasi bidang patahan. (b) *Beachball* sebagai representasi pola bidang gesar pada *event* 19/06/2016 dengan *origin time* 05:00:15 WIB

Pada gempa yang terjadi tanggal 9/10/2016 dengan *origin time* 14:46:27 WIB menunjukkan bahwa pola bidang yang terbentuk adalah *strike-slip fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar strike = 301, dip = 46, dan rake = 179 dan bidang kedua (merah) besar strike = 32, dip = 89, dan rake = 44. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 32.96 km dan jarak dengan bidang kedua sebesar 21.01. Sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna merah dan *auxiliary plane*-nya berwarna hijau. Untuk selisih kedalaman hiposenter dan centroidnya adalah 46 km.



**Gambar 4.5** (a). Orientasi bidang patahan. (b) *Beachball* sebagai representasi pola bidang sesar pada *event* 9/10/2016 dengan *origin time* 14:46:27 WIB

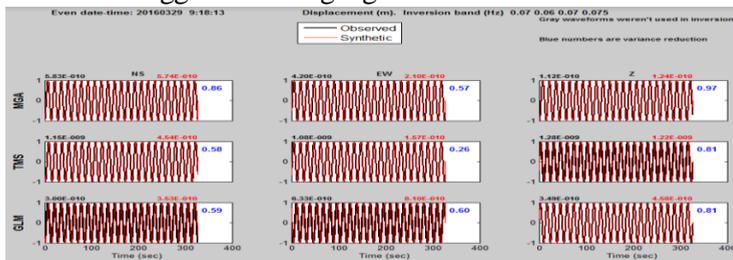
Pada gempa yang terjadi tanggal 27/10/2016 dengan *origin time* 08:17:51 WIB menunjukkan bahwa pola bidang yang terbentuk adalah *strike-slip fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar strike = 236, dip = 86, dan rake = -36 dan bidang kedua (merah) besar strike = 328, dip = 54, dan rake = -175. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 8.25 km dan jarak dengan bidang kedua sebesar 19.47. Sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan *auxiliary plane*-nya berwarna merah. Untuk selisih kedalaman hiposenter dan centroidnya adalah 33km.



**Gambar 4.6** (a). Orientasi bidang patahan. (b) *Beachball* sebagai representasi pola bidang gesar pada *event* 27/10/2016 dengan *origin time* 08:17:51 WIB

## 4.2 Pembahasan

Momen tensor dan *focal mechanism* didapatkan dari hasil inversi momen tensor. Inversi ditentukan oleh data seismogram, fungsi green dan komponen momen tensor. Perhitungan fungsi green dan inversi menggunakan program ISOLA-GUI didapatkan hasil *fitting* kurva *displacement* dari data hasil observasi lapangan (seismogram) dengan data hasil estimasi menggunakan fungsi green.



**Gambar 4.7** Hasil *Fitting* kurva *displacement* dari data *event* gempa tanggal 29/03/2016 pukul 9:18:13 WIB

Kurva berwarna merah menunjukkan estimasi dari fungsi green dan kurva berwarna hitam menunjukkan data seismogram. Nilai kecocokan kurva ditentukan oleh *variance*

*reduction*. Nilai *variance reduction* yang mendekati 1 menunjukkan bahwa *fitting* yang dilakukan mendekati presisi, dan ketika hasilnya mendekati 0 maka ketidak-presisiannya juga besar. Dalam tabel berikut disajikan nilai *variance reduction* dari setiap *event*

**Tabel 4.5** Nilai *variance reduction* Masing-masing *Event*.

<b>Event</b>	<b><i>variance reduction</i></b>
20161027	0.87
20161009	0.99
20160619	0.53
20160607	0.82
20160604	0.92
20160329	0.62

Hasil pola bidang patahan yang direpresentasikan dengan *beachball* didapatkan beberapa pola yang berbeda. Kebanyakan pusat gempa terdapat di Laut Maluku tepatnya di antara busur gunung aktif Halmahera dan busur gunung aktif Sangihe. Hal ini dikarenakan sangat tingginya tekanan yang bekerja pada lempeng tektonik Laut Maluku yang merupakan salah satu manifestasi aktivitas cincin api Pasific (Pasific Ring of Fire). Selaras dengan referensi yang mengatakan Kedua busur magmatik di daerah ini dipisahkan oleh jarak terdekat 250 km, dimana masing-masing sisi busur terdapat palung dengan kedalaman hingga 3 km. Diantara palung-palung tersebut dijumpai morfologi tinggi yaitu punggung Mayu-Talaud yang pada beberapa tempat muncul kepermukaan sebagai pulau, yaitu Pulau Mayu, Pulau Talaud dan Pulau Tifore. Gempa-gempa dangkal yang terkonsentrasikan di bawah puncak punggung tersebut dan berdasarkan analisis mekanisme fokal menunjukkan tipe sesar naik (*reverse fault*), selain itu juga terdapat normal *fault* dan *strike slip fault* mendominasi Laut Maluku yang terletak diantara kedua busur magmatik.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil data dan *processing* terhadap penelitian yang berjudul “Analisa Momen Tensor dan Mekanisme Pusat Gempa Bumi Wilayah Maluku Utara Sepanjang Tahun 2016 dengan Magnitude  $\geq 5$  SR Memanfaatkan Program ISOLA-GUI” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai momen tensor yang didapatkanyaitu

Event	$M_{rr}$	$M_{tt}$	$M_{pp}$	$M_{rt}$	$M_{rp}$	$M_{tp}$	e
20161027	1.340	-8.550	7.210	7.512	0.427	2.205	17
20161009	-0.167	-0.969	1.136	0.115	1.134	-0.264	18
20160619	-0.580	-1.684	2.264	0.203	-0.911	-3.087	16
20160607	2.960	-3.170	0.210	2.125	-0.119	2.578	17
20160604	-3.924	5.393	-1.469	1.609	1.353	2.486	16
20160329	1.312	0.802	-2.114	-0.020	-1.393	-0.679	17

2. Pola *focal mechanism* bidang sesar wilayah Maluku Utara terdiri atas sesar naik (*reverse fault*) di dekat pulau Mayu dan Laut Maluku di dominasi oleh Pola bidang *strike slip fault*.

### 5.2 Saran

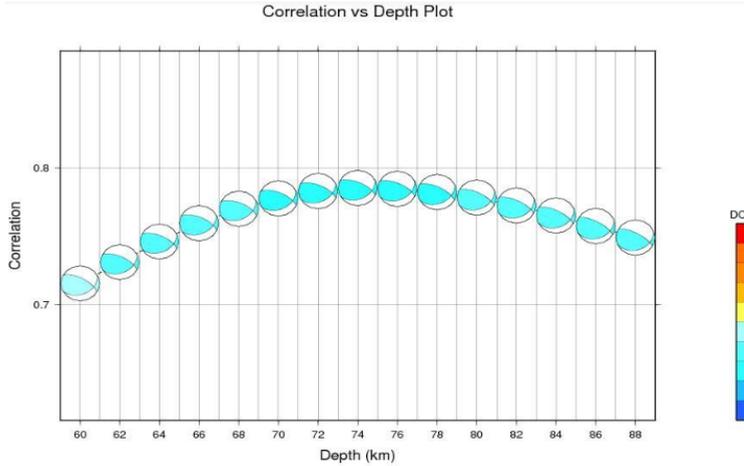
Hasil yang optimal sangat diharapkan dalam proses penelitian ini. Perlu dilakukan penambahan event untuk mendapat hasil yang lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

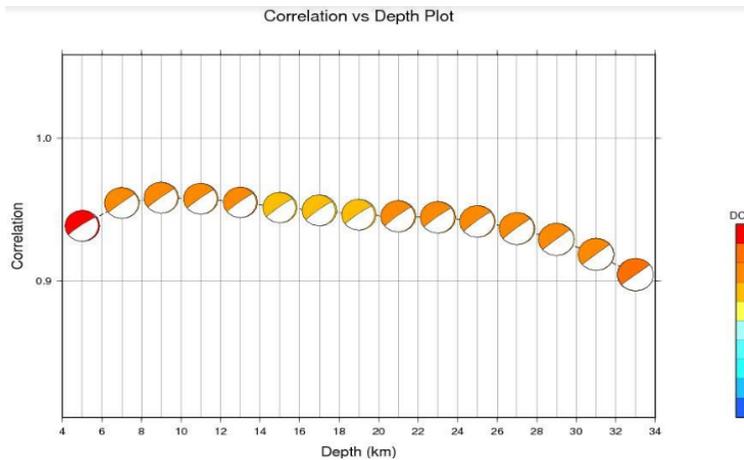
- C.V.R Murty. 2005. IITK-BMPTC Earthquake Tips. National Information Centre of Earthquake Engineering.
- Datta, T.K. 2010. Seismic Analysis of Structures. Indian Institute of Technology Delhi : India.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. Fundamental of Earthquake Engineering. Wiley. Hongkong.
- Hermanto, B. 2014. Perkembangan Kerangka Tektonik Laut Maluku, Kepulauan Banggai-Sula dan Lajur Ophiolit Sulawesi Timur. Pusat Survei Geologi, J.G.S.M Vol.15 No.2 Mei 2014. Bandung.
- Madlazim. 2011. Estimasi CMT, Bidang Sesar dan Durasi Rupture Gempa Bumi Di Sumatera Serta Kemungkinan Peringatan Dini Tsunami.
- Mardrinovella, I., Widiyantoro dan Irwan. 2011. *Relokasi Hiposenter Gempa Padang 30 September 2009 Menggunakan Metode Double Difference*. JTM Vol. XVIII No. 1.
- Noor, Djauhari. 2006. Geologi Lingkungan Edisi Pertama. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Press F, Siever R. 1986. EARTH, 4<sup>th</sup> Edition. Freeman : New York.
- Putri, Y.T., 2012. Relokasi Gempa Bumi dan Gempa Bumi Susulan Menggunakan Metode MJHD (Studi Kasus Gempa Bumi Mentawai 25 Oktober 2010). Universitas Indonesia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Shearer, P.M. 1999. Introduction to Seismology. Cambridge University Press : New York.
- Sieh, K. dan Natawidjaja, D. 2000. Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia. Journal of Geophysical Research, vol. 105, No. B12, pages 28, 295-28, 326.
- Sokos, E. N. dan Zahrandik. 2009. A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes. User Guide.
- Young, Hough D., Freedman, Roger A., 2002. Fisika Untuk Universitas Edisi Kesepuluh jilid 1, Erlangga. Jakarta.

# LAMPIRAN 1

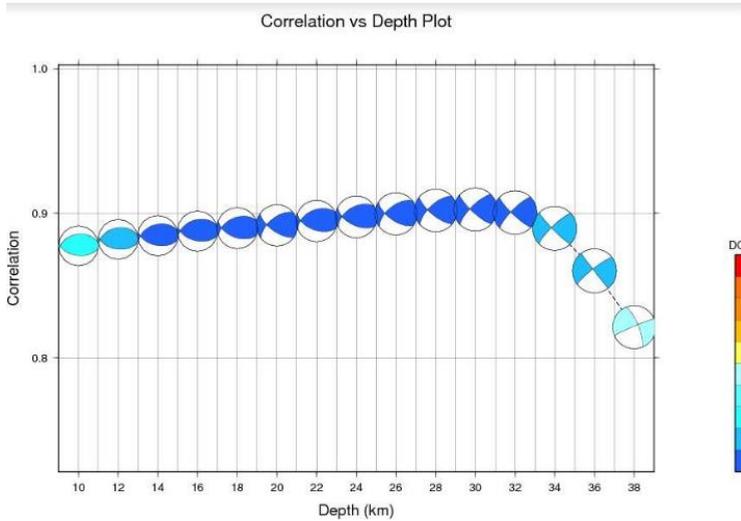
## KURVA KORELASI POLA BEACHBALL DAN KEDALAMAN



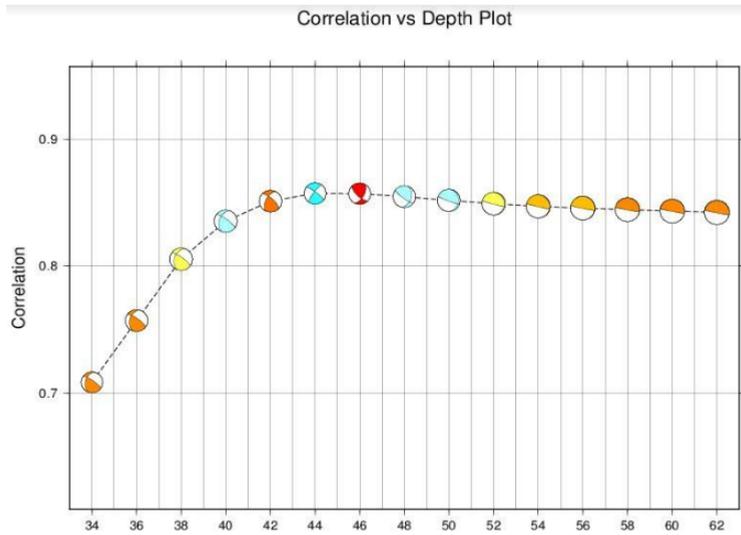
Gambar 1 Kurva event 29-03-2016 origin time 09:18:13.



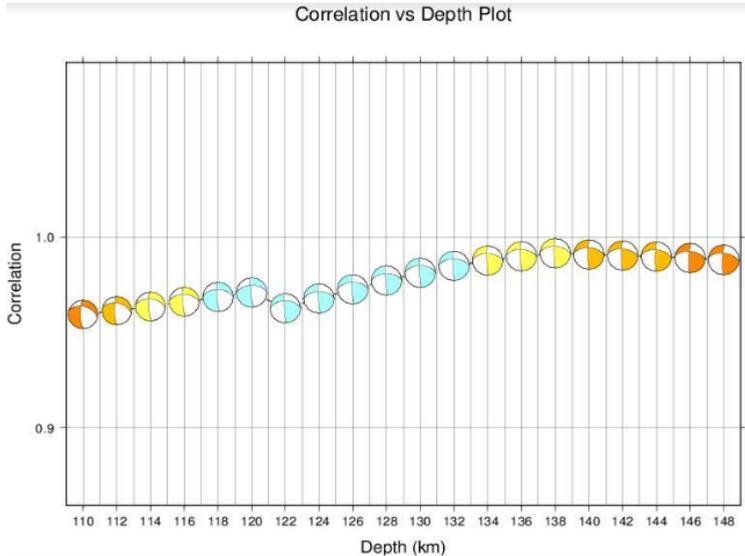
Gambar 2 Kurva event 04-06-2016 origin time 10:44:13.



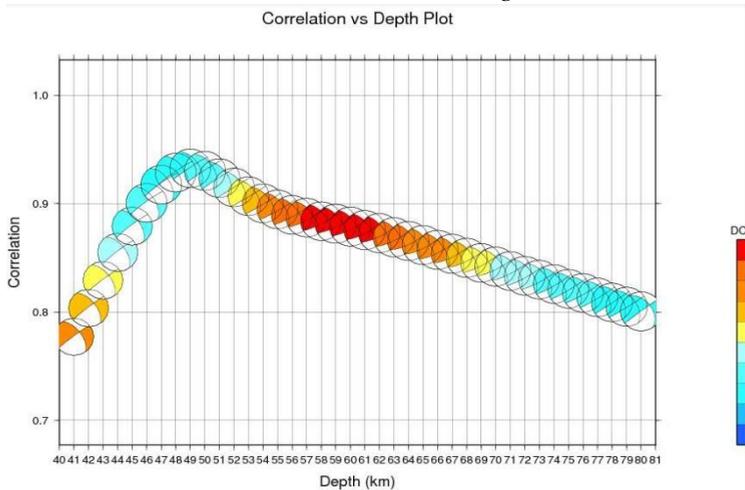
Gambar 3 Kurva *event* 07-06-2016 *origin time* 19:15:17.



Gambar 4 Kurva *event* 19-06-2016 *origin time* 05:00:15.



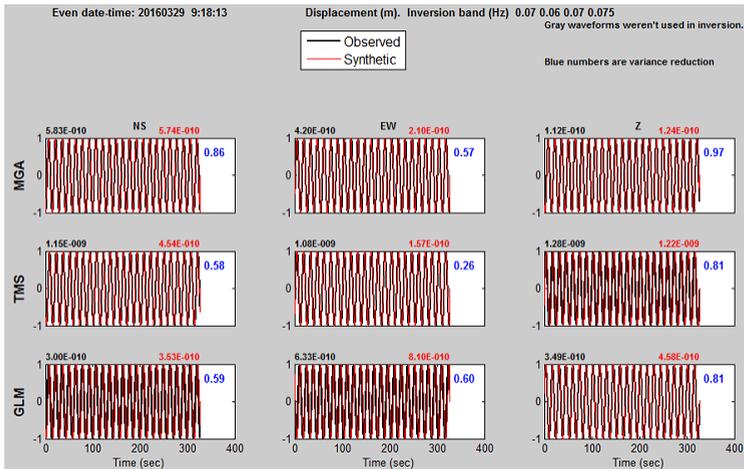
Gambar 5 Kurva event 09-10-2016 origin time 14:46:27.



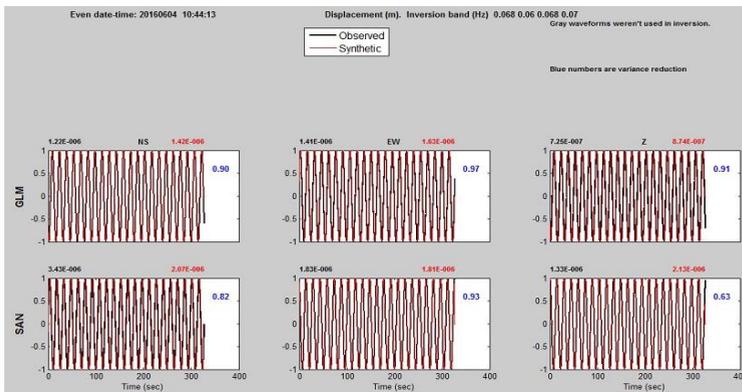
Gambar 6 Kurva event 27-10-2016 origin time 8:17:51.S

## LAMPIRAN 2

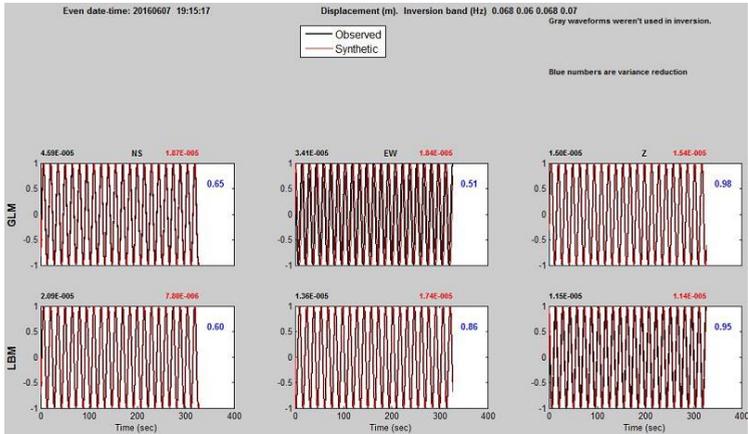
### Hasil Fitting kurva displacement



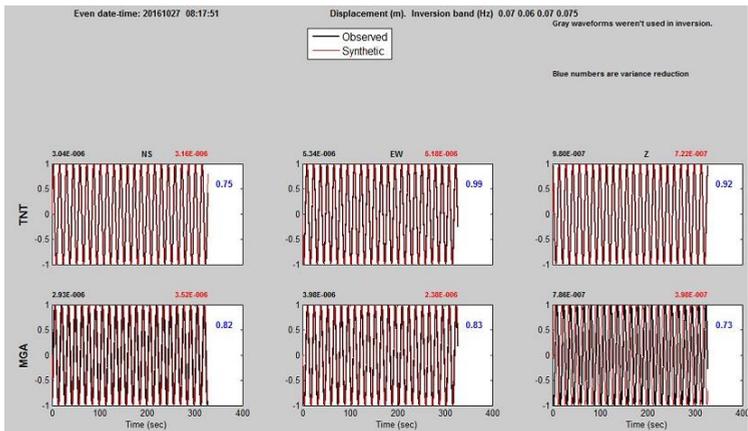
Gambar 1 Hasil *Fitting* kurva displacement event 29-03-2016  
origin time 09:18:13.



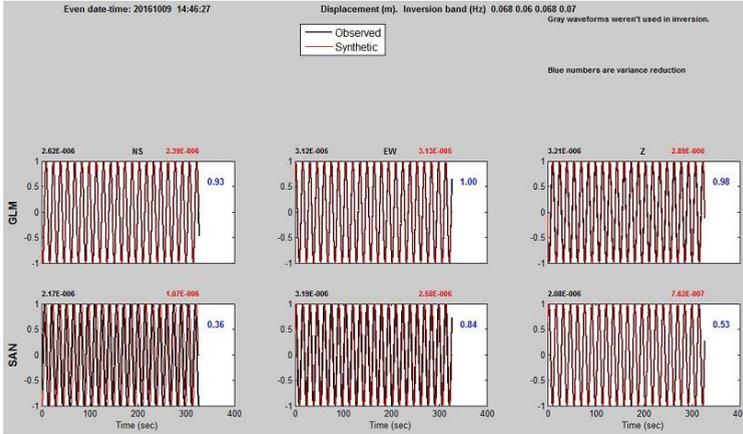
Gambar 2 Hasil *Fitting* kurva displacement event 04-06-2016  
origin time 10:44:13.



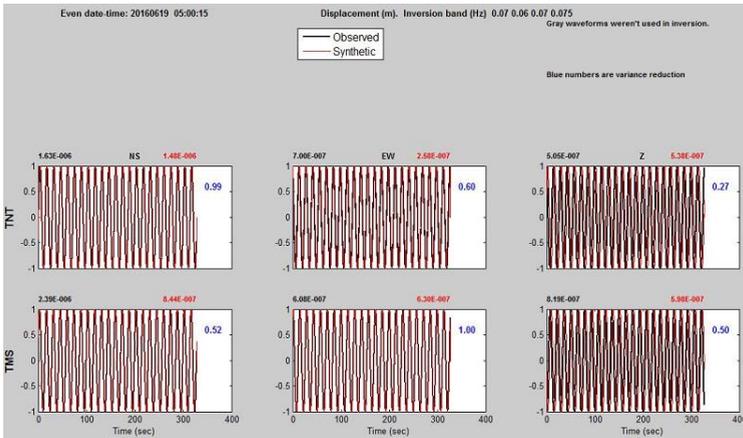
Gambar 3 Hasil *Fitting* kurva displacement event 07-06-2016 origin time 19:15:17.



Gambar 4 Hasil *Fitting* kurva displacement event 27-10-2016 origin time 8:17:51.



Gambar 5 Hasil *Fitting* kurva *displacement* event 09-10-2016  
origin time 14:46:27.



Gambar 6 Hasil *Fitting* kurva *displacement* event 19-06-2016  
origin time 5:00:015.

## BIODATA PENULIS



Hardiansyah Pratama sebagai penulis merupakan mahasiswa departemen Fisika yang sedang menyelesaikan tahap terakhir pada masa pendidikan S1 di perguruan tinggi nasional Institut Teknologi 10 Nopember. Penulis adalah anak pertama dari pasangan Ujang Toha dan Trikora Hardiyati yang dilahirkan di Kota Depok pada tanggal 16 Juli 1995. Islam merupakan agama yang diimani penulis.

Pendidikan formal yang Penulis tempuh sejak masa kecil antara lain pendidikan dasar SDN Ratujoya II, SMP Negeri 9 Kota Depok, kemudian SMK Negeri 2 Kota Depok, serta sedang dalam perguruan tinggi nasional Institut Teknologi 10 Nopember.

Selain aktif pada pendidikan formal, penulis juga aktif pada komunitas stand up comedy Surabaya. Dengan Prestasi finalis stand up comedy academi 3 Indosiar.

Hal yang menjadi pedoman penulis dalam kehidupan adalah **“Usaha Dapat mengalahkan bakat”**.

Contact person:

[aldihardpratama@gmail.com](mailto:aldihardpratama@gmail.com)

+6285746592481