

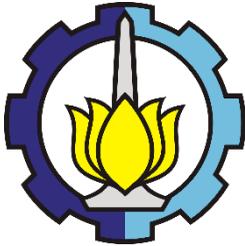
TUGAS AKHIR – SF 141501

**ANALISA MOMEN TENSOR, MEKANISME FOKUS
DAN POLA BIDANG SESAR PADA ZONA SUBDUKSI DI
WILAYAH MEKSIKO PADA TAHUN 2017**

**PUTU RIADI WIRAWAN
NRP 01111240000102**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U
NIP.19620802 198701.1.001**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



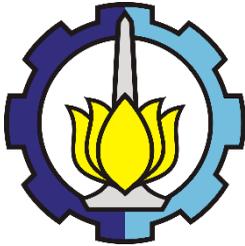
TUGAS AKHIR – SF141501

**ANALISA MOMEN TENSOR, MEKANISME FOKUS
DAN POLA BIDANG SESAR PADA ZONA SUBDUKSI DI
WILAYAH MEKSIKO PADA TAHUN 2017**

**PUTU RIADI WIRAWAN
01111240000102**

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

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



FINAL PROJECT – SF141501

**MOMENT TENSOR ANALYSIS, FOCUS MECHANISMS
AND FAULT PLANE ON SUBDUCTION ZONE IN
MEXICO'S AREA IN 2017**

**PUTU RIADI WIRAWAN
01111240000102**

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

**Department of Physics
Faculty of Science
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2018**

**ANALISA MOMEN TENSOR, MEKANISME FOKUS DAN
POLA BIDANG SESAR PADA ZONA SUBDUKSI DI
WILAYAH MEKSIKO PADA TAHUN 2017**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains
Bidang Fisika Bumi
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
PUTU RIADI WIRAWAN
NRP.0111124000102

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. rer.nat. Bagus Java Santosa, S.U
NIP. 19620802 198701.1.001

(.....)



ANALISA MOMEN TENSOR, MEKANISME FOKUS DAN POLA BIDANG SESAR PADA ZONA SUBDUKSI DI WILAYAH MEKSIKO PADA TAHUN 2017

Nama : Putu Riadi Wirawan
NRP : 01111240000102
Jurusan : Fisika, FIA-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, SU

Abstrak

Penelitian ini menggunakan event Gempa yang terjadi di wilayah Meksiko dengan besar magnitude lebih besar dari 4.8 SR pada periode Januari 2017 hingga Desember 2017 yang bertujuan untuk menentukan besarnya momen tensor, pola bidang sesar di wilayah Meksiko berdasarkan inversi waveform tiga komponen menggunakan program ISOLA-GUI dengan menghitung fungsi green dan proses inversi untuk mendapatkan momen tensor dan bentuk focal mechanism. Hasil inversi momen tensor digambarkan dengan menggunakan beachball untuk mengetahui jenis dari sesar yang terjadi di suatu wilayah. Pada wilayah meksiko diperoleh hasil dari penelitian ini bentuk sesar berupa reverse fault dan normal fault. Karena wilayah meksiko termasuk dalam zona subduksi dimana hal ini di sebabkan pergerakan dari lempeng cocos dan lempeng amerika utara sehingga membentuk middle american trench. Besar momen tensor untuk masing-masing komponen dari 8 event gempa di Meksiko adalah pada tahun 2017 diperoleh hasil sebagai berikut ini. $M_{11} = -0.048E+13$ sampai $0.861E+13$, $M_{22} = -0.216E+13$ sampai $6.624E+13$, $M_{33} = 1.716E+13$ sampai $1.567E+13$, $M_{31} = -2.009E+13$ sampai $0.867E+13$, $M_{32} = 1.293E+13$ sampai $0.328E+14$, $M_{21} = -0.964E+14$ sampai $4.472E+13$

Kata kunci: Mekanisme fokus, Pola Bidang Sesar, Momen Tensor, Gempa Bumi

MOMENT TENSOR ANALYSIS, FOCAL MECHANISMS AND FAULT PLANE ON SUBDUCTION ZONE IN MEXICO'S AREA IN 2017

Name : Putu Riadi Wirawan
NRP : 01111240000102
Department : Physics, FIA-ITS
Advisor : Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, SU

Abstract

This study uses an earthquake event occurring in the Mexican region with magnitude greater than 4.8 SR in the period January 2017 to December 2017 which aims to determine the magnitude of tensor moments, cesarean pattern pattern in Mexico region based on inversion waveform three components using ISOLA-GUI program with calculate green function and inversion process to get the moment of tensor and focal mechanism. The tensor moment inversion results are depicted using a beachball to determine the type of faults occurring in a region. In the region of Mexico obtained results from this study form of fault in the form of reverse fault and normal fault. Since the area of Mexico is included in the subduction zone where this is caused by the movement of the cocos plate and the North American plate to form the middle american trench. The moment of tensor for each component of the 8 earthquake events in Mexico is in the year 2017 obtained the following results. $M11 = -0.048 \times 10^{13}$ to 0.861×10^{13} , $M22 = -0.216 \times 10^{13}$ to 6.624×10^{13} , $M33 = 1.716 \times 10^{13}$ to 1.567×10^{13} , $M31 = -2.009 \times 10^{13}$ to 0.867×10^{13} , $M32 = 1.293 \times 10^{13}$ to 0.328×10^{14} , $M21 = -0.964 \times 10^{14}$ to 4.472×10^{13}

Kata kunci: *Focal Mechanism, Fault Plane, Earthquake, Moment Tensor.*

KATA PENGANTAR

Om Swastyastu Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan yang maha Esa karena telah melimpahkan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana di jurusan Fisika FIA-ITS dengan judul **Analisa Momen Tensor, Mekanisme fokus dan Pola bidang sesar pada Zona Subduksi di wilayah Meksiko pada Tahun 2017**. Penulis mempersembahkan Tugas Akhir ini kepada semua masyarakat Indonesia agar dapat berpartisipasi dalam perkembangan ilmu pengetahuan di bidang sains dan teknologi. Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, maka di kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, S.U yang memberikan bimbingan sejak awal penulisan Tugas Akhir hingga selesai.
2. Bapak Zainuri, M.si sebagai dosen wali penulis selama kurang lebih 5 tahun.
3. Bapak Dr. Yono Hadi P, M. Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FIA-ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama berkuliah hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. rer.nat. Eko Minarto dan Bapak Dr. Sudarsono, M.Si selaku penguji.
5. Orang tua tercinta, Ir. Ketut Adi Wijaya, dan Luh Karoni yang telah memberikan banyak doa, dukungan dan semangat serta dukungan adik-adik Kadek Rusmayani dan Komang Rusmayanti
6. Sahabat-sahabat tercinta, Indira Khayam, Nadhilah Savetri, Tiara Sharifa, Dewa, Fathul Alamsyah, Haqqi, Adi, Anis, Akmal, Fabet dan Teman-teman satu angkatan Fisika 2012
7. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Gempa Bumi	4
2.1.1 Gempa Bumi Tektonik.....	5
2.1.2 Gempa Bumi Vulkanik	6
2.2 Momen Tensor	7
2.3 <i>Magnitude</i> Gempa Bumi	9
2.4 Gelombang Seismik	11
2.4.1 Gelombang Badan atau <i>Body Wave</i>	11
2.4.2 Gelombang Permukaan atau <i>Surface Wave</i> .	12
2.5 Mekanisme fokus	13
2.5.1 Sesar Bumi (<i>Earth Faults</i>).....	13
2.5.2 Geometri Sesar.....	18

2.6	Strain dan Stress	20
2.7	ISOLA-GUI.....	22
BAB III METODE PENELITIAN		23
3.1	Data Penelitian	23
3.2	Lokasi Penelitian	23
3.3	Diagram Alir	24
3.4	Konversi Waveform dalam Format SAC.....	24
3.5	Pengolahan Data dalam ISOLA-GUI.....	25
3.5.1	Import Data SAC	26
3.5.2	Model Bumi (<i>Define Crustal Model</i>).....	27
3.5.3	Informasi Event Gempa	29
3.5.4	Pemilihan Stasiun.....	30
3.5.5	<i>Raw Data Preparation</i>	30
3.5.6	<i>Seismic Source Definition</i>	30
3.5.7	Komputasi Fungsi Green	31
3.5.8	Inversi	32
3.5.9	Plot Hasil.....	33
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Analisis Data	35
4.2	Hasil Pengolahan.....	35
4.3	Pembahasan	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA		xiv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur patahan atau sesar secara umum	14
Gambar 2. 2 Sesar Naik	15
Gambar 2. 3 Sesar turun (normal fault)	15
Gambar 2. 4 Sesar mendatar (strike slip fault)	16
Gambar 2. 5 Oblique fault	17
Gambar 2. 6 Diagram beachball	18
Gambar 2. 7 Geometri patahan atau sesar	19
Gambar 2. 8 Komponen tensor tegangan yang bekerja	21
Gambar 3. 1 Wilayah meksiko.....	23
Gambar 3. 2 Diagram alir pengolahan data	24
Gambar 3. 3 Program ISOLA-GUI.....	25
Gambar 3. 4 Menu SAC Import.....	26
Gambar 3. 5 Auto SAC Import	27
Gambar 3. 6 Model bumi	28
Gambar 3. 7 Informasi Event Gempa	29
Gambar 3. 8 Trial Source Definition	31
Gambar 3. 9 Menu fungsi green pada ISOLA	32
Gambar 3. 10 Tahapan inversi pada ISOLA.....	33
Gambar 3. 11 Fitting kurva data waveform dengan data sintetik.....	34
Gambar 4. 1 Hc Plot pada event 12-01-2017.....	39
Gambar 4. 2 Beach Ball pada event 12-01-2017	39
Gambar 4. 3 Beach Ball pada event 02-02-2017	40
Gambar 4. 4 Hc Plot pada event 02-02-2017.....	40
Gambar 4. 5 Beach Ball pada event 11-09-2017	41
Gambar 4. 6 Hc Plot pada event 11-09-2017.....	42
Gambar 4. 7 Beach Ball pada Event 12-01-2017	43
Gambar 4. 8 Hc Plot pada event 12-01-2017.....	43
Gambar 4. 9 Beach Ball pada event 08-09-2017	44
Gambar 4. 10 Hc plot pada event 08-09-2017	45

Gambar 4. 11 Beach Ball pada Event 03-09-2017	46
Gambar 4. 12 Hc Plot pada event 03-09-2017.....	46
Gambar 4. 13 Beach Ball pada event 21-10-2017	47
Gambar 4. 14 Hc Plot pada event 21-10-2017.....	47
Gambar 4. 15 Beach Ball Pada Event 16-09-2017	48
Gambar 4. 16 Hc Plot pada event 16-09-2017.....	49
Gambar 4. 17 Fitting kurva data observasi dengan data sintetik.....	51
Gambar 4. 18 Lempeng-lempeng utama pada wilayah meksiko	54
Gambar 4. 19 Batas lempeng Meksiko	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Model kecepatan bumi.....	28
Tabel 4. 1 Event gempa di Mexico pada periode Januari sampai Desember 2017	35
Tabel 4. 2 Momen tensor untuk Gempa di Mexico pada tahun 2017.....	37
Tabel 4. 3 Bidang sesar dan auxiliary plane untuk gempa di Mexico	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meksiko merupakan Negara yang rawan akan bencana Gempa Bumi. Negara Meksiko terletak pada pada 15° LU – 32° LU dan 87° BB – 117° BB, lokasi Meksiko membuatnya rentan diguncang gempa bumi dahsyat karena negara ini berada di Zona Subduksi. Meksiko terletak pada daerah dimana 2 lempeng tektonik bertemu yaitu Lempeng Amerika Utara dan Lempeng Cocos. inilah yang menjadi salah satu alasan mengapa gempa bumi sering terjadi di Meksiko. Gempa Bumi merupakan kejadian alam yang tidak dapat dicegah, namun gempa bumi perlu diketahui dengan baik untuk mengurangi korban dan sebagai upaya mitigasi bencana. Salah satu yang perlu diketahui adalah mekanisme sumber gempa dan karakteristik arah gerak sesar. Banyak studi telah dikembangkan untuk memahami struktur dan dinamika dalam bumi serta mekanisme gempa bumi melalui estimasi parameter sumber gempa.

Pemahaman terhadap karakteristik sesar yang mengakibatkan gempa bumi diperlukan untuk memperkirakan atau mengetahui karakter dan akibat kegempaan. Untuk mengetahui karakteristik ini dapat dilakukan dengan memodelkan momen tensor gempa bumi (Shearer, 2009). Pemodelan momen tensor ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode inversi yang memanfaatkan waktu tiba gelombang-P dan diestimasi dengan menggunakan fungsi green tiga komponen (Zahradnick,2008). Hasil analisis ini berupa parameter-parameter gempa bumi yang meliputi : skala, kedalaman dan energy gempa bumi serta model patahan penyebab gempa bumi

Pada tugas akhir ini akan disajikan penelitian mengenai penentuan besarnya momen tensor, pola bidang dan karakteristik sesar dari mekanisme sumber gempa dan besarnya slip yang dihasilkan. Momen tensor ditentukan dengan menggunakan

program ISOLA sehingga dapat diketahui besar dan arah gaya penyebab gempa bumi parameter sesar yaitu *strike*, *dip* dan *rake*. Yang nantinya dijadikan sebagai inputan untuk menentukan mekanisme fokus dan penggambaran bidang sesar.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana mendapatkan solusi momen tensor dari *event* gempa yang terjadi?
2. Bagaimana menentukan pola bidang sesar dari *focal mechanism*?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang ada di dalam Tugas Akhir ini antara lain sebagai berikut.

1. *Magnitude* gempa yang diteliti yakni lebih besar dari 4,8 SR (Skala *Ritcher*).
2. Menggunakan program utama ISOLA-GUI dengan menggunakan fungsi *Green* dalam proses inversi untuk mendapatkan momen tensor dan *focal mechanism* gempa.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan momen tensor dari *event* gempa yang terjadi
2. Menentukan pola bidang sesar dari analisa *focal mechanism*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini, tersusun dalam tiga bab yaitu :

Bab 1: Pendahuluan berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, dan perumusan masalah tugas akhir.

Bab 2: Tinjauan Pustaka berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir.

Bab 3: Metodologi Penelitian berisi tentang metode dan tahap pengambilan data tugas akhir.

Bab 4: Analisa Data dan Pembahasan, berisi tentang analisa data dan pembahasan hasil pengolahan data.

Bab 5: Kesimpulan dan Saran, berisi tentang kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Pengertian Gempa Bumi - Gempa Bumi adalah getaran di tanah yang disebabkan oleh gerakan permukaan bumi. Gerakan tersebut menyebabkan suatu kerusakan baik pada gedung, jembatan, jalan perumahan hingga pada perubahan permukaan tanah, bahkan sampai melibatkan hilangnya nyawa manusia. Permukaan bumi memiliki bentuk dari lapisan yang bebatuan paling luar yang disebut dengan kerak bumi. Kerak bumi tersebut memiliki bentuk dari nikel dan juga besi dengan bagian padat di tengahnya. Ketebalan dari kerak bumi tersebut dapat mencapai 70 km. Umumnya gempa bumi berasal dari kerak bumi yang notabene tidaklah jauh dari bawah tanah. Kerak bumi tersebut kemudian pecah yang membentuk suatu potongan-potongan besar yang paling berpasangan. Potongan ini disebut dengan lempeng. Tumbukan antara dua lempeng tersebut menyebabkan salah satu dari lempeng kerak akan terdorong ke bawah. Umumnya lempeng samudera di laut menumbuk lempeng benua yang lebih tipis di darat. Lempeng samudera yang jatuh tersebut kemudian bergesekan dengan lempeng di atasnya yang mampu menyebabkan gempa bumi dan tsunami.

Sedangkan pada peristiwa lain, saat lempeng kemudian membentuk suatu kerak bumi yang bergerak dan saling berdesakan akan berakibat suatu tegangan besar, bahkan dapat memecah batuan. Tempat batuan pecah tersebut disebut dengan patahan (fault). dan alur dari akibat pecahan batuan dinamakan dengan alur patahan. Alur patahan yang dampaknya besar dapat sampai ke bebatuan di bawah tanah yang dalam dan merentang sepanjang benua. Alur patahan tersebut di dunia sama misalnya gempa bumi terkuat dan juga dapat ditemukan di dekat tepi lempeng. Beberapa dari patahan besar tersebut kemudian membelah tanah saat bergerak, energi yang telah dilepaskan, kumpulan batuan di kedua

sisi patahan tersebut terkunci pada satu di posisi yang baru. Tekanan dan tegangan yang menyebabkan gempa bumi pertama sering terus berulang dan kemudian tersu bertambah sampai menyebabkan gempa lain. Setiap tahunnya tercatat gempa bumi yang memiliki ukuran kecil sebanyak 11 juta kali dan gempa cukup kuat yakni sebanyak 34.000 kali.

2.1.1 Gempa Bumi Tektonik

Pengertian Gempa Tektonik - Pengertian Gempa Tektonik adalah gempa yang disebabkan oleh pergeseran kulit bumi secara tiba-tiba di dalam bumi dan berkaitan sekal idengan gejala pembentukan pegunungan. Dalam kulit bumi terus menerus terjadi yang disebut dengan proses geologis yang memiliki akibat konsentrasi dan terkekangnya suatu tegangan-tegangan serta regangan-regangan yang dalam waktu geologis mampu menghasilkan suatu perubahan-perubahan pembentukan pegunungan-pegunungan. Jika kondisi tersebut meningkatkan maka dapat melampaui kekuatan pada batas kulit bumi, terjadilah dikatakan suatu pergeseran-pergeseran sepanjang bidang terlemah yang disebut dengan patahan lempengan (fault) atau pergeseran blok-blok batuan untuk mencari suatu keseimbangan baru. Gempa tektonik tersebut memiliki gelombang gempa yang besar dan terjadi berulang-ulang serta tidak dapat diprediksi dapat terjadi. Gempa tektonik terjadi jika berentuk patahan aru atau terjadi pergeseran sepanjang patahan karena timbul tegangan di dalam kulit bumi. Berdasar atas rekaman yang ada, 90 persen dari seluruh gempa dikategorikan sebagai gempa tektonik. Penyebaran gempa sangat luas, dengan kekuatan menengah hingga tinggi, diawal idengan gerakan yang lemah kemudian menimbulkan gempa utama dengan skala yang cukup besar, kemudian di susul oleh gempa-gempa susulan yang dengan intensitas yang semakin mengecil dalam usaha mencapai suatu keseimbangan. Koran yang ditimbulkan memiliki bentuk kerusakan dan juga korban manusia.

2.1.2 Gempa Bumi Vulkanik

Pengertian Gempa Vulkanik - Pengertian Gempa vulkanik adalah gempa yang disebabkan oleh kinerja gunung api, dan terjadi sebelum, selama, dan sesudah letusan gunung api. Ketika sebuah gunung berapi meletus, letusan yang diakibatkan tersebut mengalirkan gelombang-gelombang yang tercatat oleh alat sesimograf. Namun jika letusan yang diakibatkan sangat besar, maka gerakannya dapat dirasakan langsung. Gempa vulkanik tersebut memiliki sifat lokal dengan getaran yang lemah. Hal ini disebabkan oleh sebagian besar energi yang kemudian dilepaskan dalam suatu bentuk suara ledakan. Jadi, pada umumnya gempa tersebut kemudian menimbulkan suatu kerusakan adalah gempa bumi tektonik.

Gempa vulkanik dapat terjadi ketika berulang-ulang dalam sehari atau bahkan dalam hitungan jam. Intensitas getaran gelombangnya tidaklah besar sehingga tidak dapat mengakibatkan suatu kerusakan parah pada bangunan. Gelombang gempa vulkanik yang masih dapat diprediksi akan terjadi. Gempa vulkanik terjadi karena kinerja gunung berapi. Terjadi sebelum, selama dan sesudah letusan gunung berapi. Sebab utama gempa vulkanik ialah bersentuhan magma dengan dinding tubuh gunung api dan tekanan gas pada peledakan hebat. Perpindahan mendadak dari magma di dalam dapur magma. Berdasarkan rekaman kejadian gempa terjadi, kurang lebih 7 persen digolongkan ke dalam gempa vulkanik

2.2 Momen Tensor

Berdasarkan definisinya momen adalah kecenderungan suatu gaya untuk memutar sebuah benda di sekitar 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 (*dyad, triad, etc.*). Orde pada tensor menentukan jumlah komponen tensor itu sendiri karena dirumuskan secara matematis sebagai 3^n , di mana n adalah ordenya.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya gempa bumi 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 gempa bumi yang dapat menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi.

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 sebagai berikut.

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

maka komponen rekaman seismik dari sebuah titik sumber dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut.

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

dimana, U_k = rekaman pergeseran pada komponen ke- i

x = posisi receiver

x_s = posisi sumber gempa

G_{ki} = fungsi Green

$f_i(t)$ = 6 komponen dasar momen tensor

Dalam koordinat bola, keenam momen tensor tersebut antara lain adalah sebagai berikut.

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

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 seismik. Momen tensor M_{ij} memiliki sembilan komponen momen te

Momen tensor selalu bersifat simetris. Momen tensor ini juga dapat dideskripsikan sebagai pasangan ganda atau DC (*double couple*) yang memiliki solusi sembilan komponen seperti yang terlihat pada gambar 2.13. Momen tensor sumber gempa juga dapat dituliskan ke dalam matriks orde 3x3 sebagai berikut.

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

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-parameter tersebut terhadap momen tensor dapat dirumuskan sebagai berikut.

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

$$M_{12} = M_{xy} = M_0(\sin \delta \cos \lambda \cos 2\Phi + 0.5 \sin 2\delta \cos \lambda \sin 2\Phi) = M_{21} = M_{yx}$$

$$M_{13} = M_{xz} = -M_0(\cos \delta \cos \lambda \cos \Phi + \cos 2\delta \sin \lambda \sin \Phi) = M_{31} = M_{zx}$$

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

$$M_{23} = M_{yz} = -M_0(\cos \delta \cos \lambda \sin \Phi - \cos 2\delta \sin \lambda \cos \Phi) = M_{32} = M_{zy}$$

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

di mana, M_0 merupakan parameter momen seismik untuk mengukur kekuatan gempa bumi. M_0 dapat dituliskan secara matematis dengan persamaan sebagai berikut.

$$M_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} [\sum_{ij} M_{ij}^2]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.4)$$

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

2.3 *Magnitude Gempa Bumi*

Magnitudo gempa adalah suatu besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa. Besaran ini berharga sama, meskipun diukur dari tempat yang berbeda. Skala yang kerap digunakan dalam untuk menyatakan *magnitude* gempa ini adalah skala *Ritcher (Ritcher Scale)*. Secara umum, *magnitude* gempa dapat dihitung dengan persamaan 2.11 sebagai berikut.

$$M = \log \frac{a}{T} + f(\Delta, h) + C_S + C_R \dots(2.5)$$

dengan M adalah magnitude, a adalah amplitudo gerakan tanah (dalam mikrometer), T adalah periode gelombang, Δ adalah jarak pusat gempa atau episentrum, h adalah kedalaman gempa, C_S , dan C_R adalah faktor koreksi yang bergantung pada local dan regional daerah tersebut.

Selain Skala *Ritcher* diatas, ada beberapa definisi magnitudo yang dikenal dalam kajian tentang gempa bumi adalah M_S yang dikenalkan oleh Guttenberg menggunakan fase gelombang Rayleigh, m_b (*body waves magnitude*) diukur berdasarkan amplitudo gelombang badan, baik gelombang P maupun gelombang S.

Seismik momen (M_o) dianggap sebagai cara terbaik dalam memperoleh ukuran suatu gempa bumi. Hank dan Kanamori (1979) melakukan perhitungan momen seismik untuk menghitung besarnya energy yang dilepaskan oleh gempa dengan memperhitungkan perpindahan yang terjadi di dalam *slip* di sepanjang sesar dan luas permukaan sesar yang mengalami *slip*.

Momen seismik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$M_o = \mu \cdot A \cdot D \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana M_o adalah momen seimik gempa (Nm), μ adalah nilai rigiditas dibawah lapisan batuan, A adalah luas daerah sesar, dan D adalah pergeseran *slip* atau *displacement*.

Kalkulasi hubungan antara gempa dengan momen seismik adalah sebagai berikut.

$$\log M_o = 1,6 M_w + 16,1 \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan M_w menyatakan besar magnitudo gempa.

Secara empiris, panjang, lebar, dan *slip fault* dapat ditentukan dengan melakukan interpolasi berdasarkan persamaan berikut.

1. Perhitungan *Strike-slip Fault*

a. Panjang Sesar (L)

$$\log L = 0,59M - 2,30 \dots\dots\dots (2.8)$$

b. Lebar Sesar (W)

$$\log W = 0,23M - 0,49 \dots\dots\dots(2.9)$$

c. Luas Sesar (S)

$$\log S = 0,82M - 2,79 \dots\dots\dots(2.10)$$

2. Perhitungan *Dip-slip Fault*

a. Panjang Sesar (L)

$$\log L = 0,55M - 2,19 \dots\dots\dots(2.11)$$

b. Lebar Sesar (W)

$$\log W = 0,31M - 0,63 \dots\dots\dots(2.12)$$

c. Luas Sesar (S)

$$\log S = 0,86M - 2,82 \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana L merupakan panjang *slip* (m), W merupakan lebar *slip* (m), dan S adalah luas *slip* (km²).

2.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan dari gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan melalui dua metode, yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif merupakan metode penimbulan gelombang seismik secara aktif atau disengaja dengan menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya metode ini digunakan untuk eksplorasi hidrokarbon. Sedangkan metode pasif merupakan metode penimbulan gelombang seismik yang muncul secara alamiah, salah satu contohnya ialah gempa.

Perambatan gelombang seismik itu sendiri dibedakan menjadi dua jenis, yaitu gelombang seismik yang merambat melalui interior bumi yang disebut dengan *body wave*, dan ada juga yang merambat melalui permukaan yang disebut *surface wave*.

2.4.1 Gelombang Badan atau *Body Wave*

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada medium dan arah penjalarannya, gelombang badan dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S.

Gelombang P merupakan gelombang kompresi atau gelombang longitudinal, Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar apabila dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain. Gelombang ini dapat merambat pada medium padat, cair, dan gas.

Kecepatan gelombang P dapat dituliskan melalui persamaan sebagai berikut.

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \dots\dots\dots(2.14)$$

di mana, λ = konstanta *lame*

μ = rigiditas

ρ = densitas

Gelombang S disebut juga dengan gelombang *shear* atau gelombang geser atau bisa disebut juga dengan gelombang transversal. Gelombang ini hanya dapat merambat pada medium padat saja, dan tegak lurus terhadap arah rambatnya seperti yang terlihat pada gambar 2.2.

2.4.2 Gelombang Permukaan atau *Surface Wave*

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang berada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar. Gelombang ini menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik. Gelombang

permukaan terbagi menjadi dua jenis, yaitu Gelombang Rayleigh dan Gelombang Love.

Gelombang Rayleigh merupakan gelombang permukaan yang orbit geraknya elips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya. Gelombang jenis ini adalah gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Ilustrasi pergerakan gelombang Rayleigh

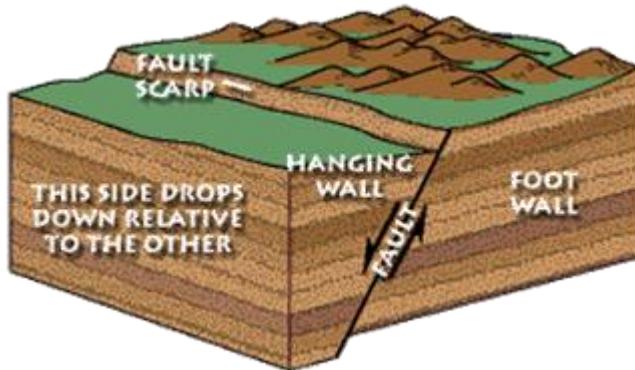
Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang mejalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang S horizontal yang penjarannya paralel dengan permukaannya.

2.5 Mekanisme fokus

Mekanisme fokus (*focal mechanism*) atau mekanisme sumber gempa adalah istilah yang digunakan untuk menerangkan sifat penjaran energi gempa bumi yang berpusat di hiposenter atau fokus gempa bumi. Sesar sering dianggap sebagai mekanisme penjaran energi gelombang elastis pada fokus tersebut, oleh sebab itu dengan memperoleh arah gerakan sesar dan arah bidang sesar maka dapat dianalisa solusi mekanisme gempa bumi tersebut.

2.5.1 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*.

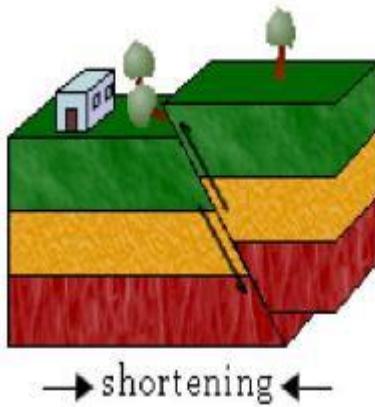


Gambar 2. 1 Struktur patahan atau sesar secara umum

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.

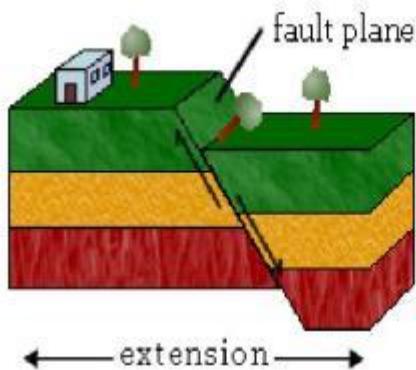
Berikut ini jenis-jenis sesar.

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



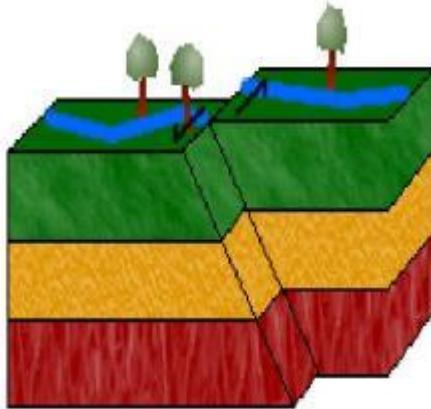
Gambar 2. 2 Sesar Naik

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



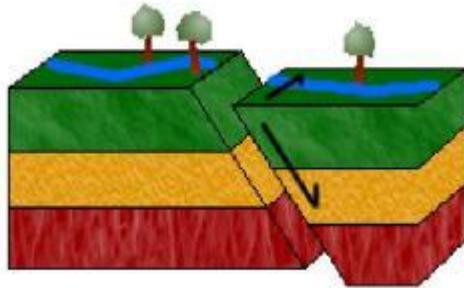
Gambar 2. 3 Sesar turun (*normal fault*)

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



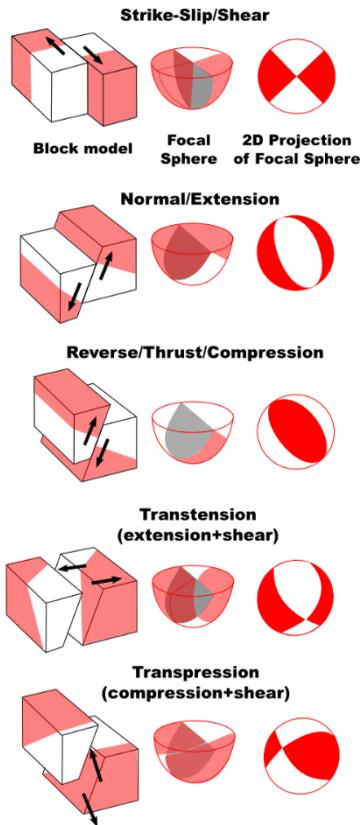
Gambar 2. 4 Sesar mendatar (*strike slip fault*)

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



Gambar 2. 5 Oblique fault

Sesar tersebut juga dapat diidentifikasi dengan menggunakan diagram bola atau yang sering disebut dengan *beach ball*. Mekanisme fokus ini didapatkan berdasarkan solusi dari momen tensor. Pola energi radiasi selama gempa bumi dengan satu 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.

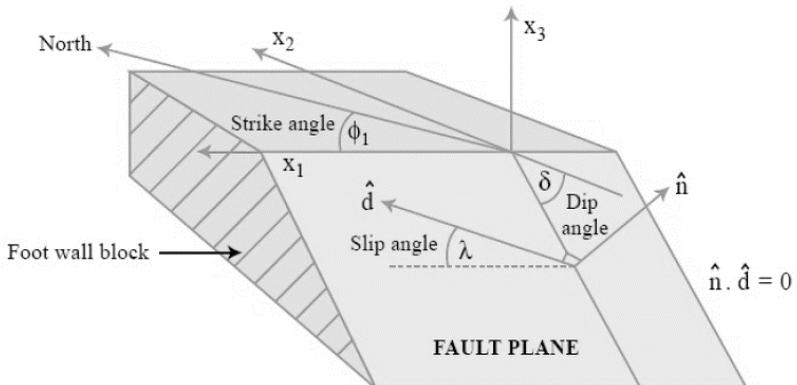


Gambar 2. 6 Diagram beachball

2.5.2 Geometri Sesar

Seperti yang sebelumnya telah dijelaskan, sesar atau patahan didefinisikan sebagai retakan pada kerak bumi yang memiliki perpindahan relatif pada dua sisinya. Orientasi bidang patahan ditentukan oleh parameter bidang patahan tersebut. Parameternya antara lain yakni *strike*, *dip*, dan *rake*.

- 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 vertikal 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 negatif pada patahan turun ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$).



Gambar 2. 7 Geometri patahan atau sesar

2.6 Strain dan Stress

Ketika gelombang seismik melalui sebuah medium, partikel yang dilalui oleh gelombang seismik akan mengalami osilasi. Osilasi ini artinya partikel tersebut berpindah dari keadaan semula atau setimbangnya. Perpindahan (*displacement*) menimbulkan adanya regangan (*strain*), di mana regangan atau *strain* ini merupakan ukuran lokal dari perubahan relatif dalam medan *displacement*. Regangan erat kaitannya dengan deformasi. Deformasi itu sendiri merupakan perubahan elemen struktur akibat penempatan beban luar dan perubahan temperatur. Perubahan bentuk atau perubahan posisi akibat adanya tegangan dapat dibagi menjadi empat macam, yaitu deformasi linier, *shear*, rotasi dan kombinasi deformasi dan rotasi. Deformasi linier yaitu jika perubahan panjang fraksi hanya terjadi pada satu arah pada suatu volume yang kecil atau disebut dengan regangan normal. Komponen-komponen dasar dari regangan normal ini adalah sebagai berikut.

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}; e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}; e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \dots\dots\dots(2.15)$$

Untuk deformasi angular ξ dan ζ dalam volume yang kecil, dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut.

$$\xi - \zeta = \frac{\partial w}{\partial x} \dots\dots\dots(2.16)$$

Kemudian, untuk penjumlahan deformasi angularnya dituliskan secara matematis sebagai berikut.

$$\xi + \zeta = \frac{\partial u}{\partial z} \dots\dots\dots(2.17)$$

Penjumlahan keduanya (persamaan 2.3 dan persamaan 2.4) menghasilkan deformasi yang angular atau dapat juga disebut dengan regangan geser (*shear*). Masing-masing komponen dari regangan geser tersebut dapat diuraikan ke dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$\xi = e_{zx} = e_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \dots\dots\dots(2.18)$$

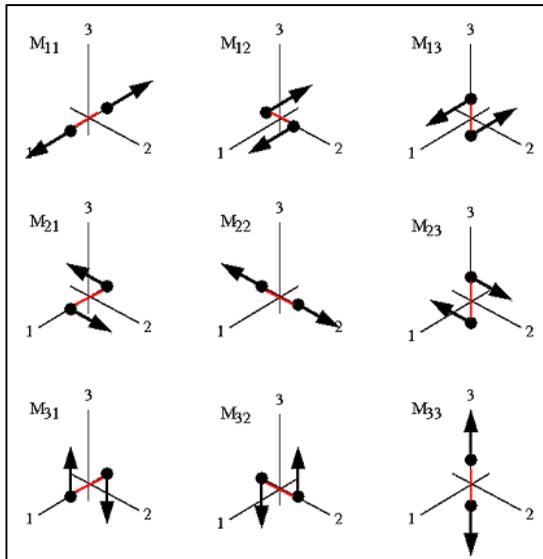
$$e_{xy} = e_{yx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

$$e_{yz} = e_{zy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(2.20)$$

Komponen-komponen tersebut membentuk tensor regangan yang merupakan tensor simetri.

$$e_{ij} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} & e_{xz} \\ e_{yx} & e_{yy} & e_{yz} \\ e_{zx} & e_{zy} & e_{zz} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.21)$$

Deformasi batuan tidak mungkin terjadi apabila tidak ada gaya yang bekerja pada batuan tersebut. Gambar 2.5 berikut menunjukkan komponen torka pada bidang. Bagian-bagian torka pada koordinat kartesian menunjukkan tegangan (*stress*).



Gambar 2. 8 Komponen tensor tegangan yang bekerja

2.7 ISOLA-GUI

Program ISOLA-GUI merupakan program yang menggunakan *tool* Matlab dan bertujuan untuk mempermudah menghitung dengan fortran dengan cepat seperti persiapan data, perhitungan fungsi green dan proses inveri serta hasil dalam bentuk gambar grafis dari *focal mechanism* (Sokos dan Zahrandik, 2008).

Sokos(2009) menjelaskan bahwa program ISOLA-GUI berdasarkan pada representasi *multiple point- source* dan metode iterasi dekonvolusi seperti yang digunakan oleh kikuchi dan kanamori (1991) untuk data gempa teleseismik. Dan untuk menghitung fungsi green menggunakan metode *discrete wavenumber* oleh Bouchon. Metode ini baik digunakan untuk gempa lokal dan regional. Inversi yang digunakan dalam metode ini adalah inversi linier dengan d merupakan data dan m adalah parameter yang dicari.

$$D = Gm \dots \dots \dots (2.22)$$

Yang dapat diselesaikan dengan metode *least-square*

$$M = (G^T G)^{-1} G^T d \dots \dots \dots (2.23)$$

ISOLA-GUI digunakan untuk menjelaskan *focal mechanism* dari momen tensor gempa. Daria proses yang dapat diketahui besar nilai eigen dan vector eigennya. Vector eigen memberikan nilai *strike, dip* dan *rake(slip)*. Nilai eigen memberikan besar momen M_0 . Untuk mendapatkan hasil yang bagus, maka dilakukan *fitting* kurva *displacement* untuk data sintetik dengan data lapangan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan adalah data *event* gempa yang terjadi di Meksiko dalam selang waktu antara 1 Januari hingga 31 Desember 2017 dengan minimum nilai *magnitude* sebesar 4,8 SR. Data tersebut didapatkan dari www.iris.edu Berdasarkan selang waktu serta besarnya *magnitude* gempa yang telah ditentukan tersebut, didapatkan sejumlah *event* gempa sebanyak 7 *event*. Data gempa berupa data dengan format .SEED.

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data berupa MATLAB 2009, ISOLA GUI, *General Mapping Tools* (GMT) 4.0, M_Map, *Ghostscript* dan *GSView*. Untuk *software* ISOLA GUI, dan M_Map digunakan sebagai salah satu perangkat pada MATLAB, sehingga perlu ditambahkan pada MATLAB *path*. Untuk *Ghostscript* dan *GSView* ditambahkan pada *system path*.

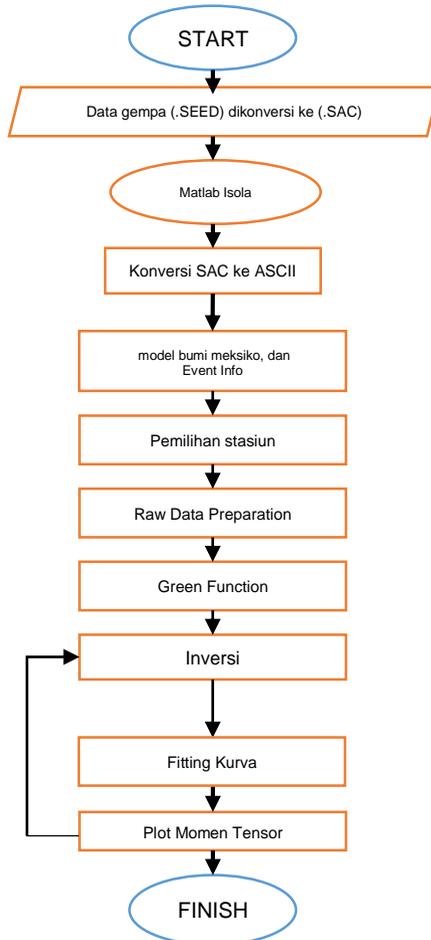
3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi gempa yang hendak diteliti ialah di area Meksiko. Daerah tersebut meliputi seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Wilayah Meksiko

3.3 Diagram Alir



Gambar 3. 2 Diagram alir pengolahan data

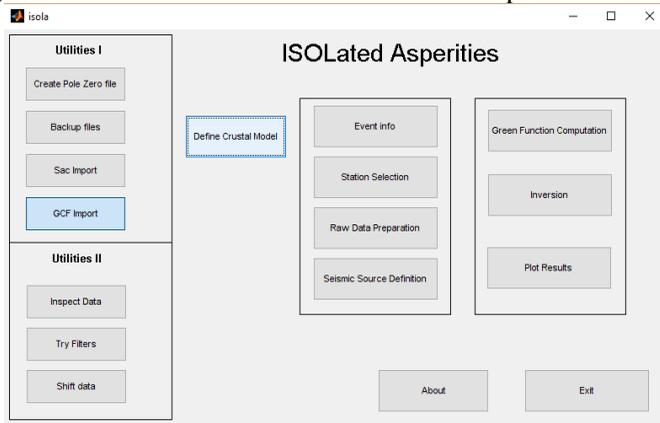
3.4 Konversi Waveform dalam Format SAC

Data yang diunduh dari website IRIS berupa format .SEED. Untuk dapat diolah dalam program ISOLA-GUI, format .SEED

terlebih dahulu diubah ke dalam format .SAC dengan menggunakan program *Jrseed* untuk OS Windows. Konversi data ini dilakukan agar *waveform* gempa dapat terbaca dalam tiga komponen. Komponen tersebut antara lain komponen horizontal (N dan E), serta komponen vertikal yakni Z. Pada penelitian ini digunakan *seed channel* berupa BH yakni *Broadband High Gain* untuk tiga komponen seismometer.

3.5 Pengolahan Data dalam ISOLA-GUI

Setelah dikonversi, langkah selanjutnya ialah menggunakan program ISOLA-GUI di dalam MATLAB. Adapun tampilan dari program ISOLA-GUI dalam MATLAB adalah pada Gambar 3.4.

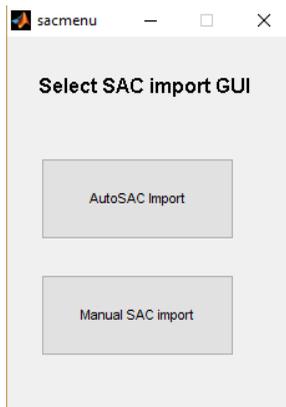


Gambar 3. 3 Program ISOLA-GUI

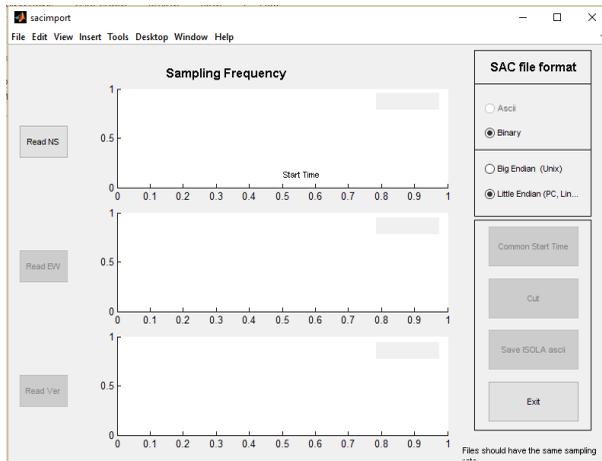
Kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan program ISOLA-GUI sebagai berikut.

3.5.1 Import Data SAC

Langkah pertama yang perlu dilakukan ialah melakukan *import* data yang telah dikonversi tadi (data .SAC) ke dalam program ISOLA. Pada menu ISOLA seperti yang ditampilkan pada gambar 3.3, untuk mengimport file SAC maka digunakan menu *SAC Import*. Selanjutnya akan muncul kotak dialog seperti yang terlihat pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Menu SAC Import



Gambar 3. 5 Auto SAC Import

Data yang sebelumnya telah dikonversi dari .SEED ke .SAC terdiri atas 3 buah komponen untuk masing-masing stasiun. Tiga buah komponen ini ialah komponen NS (North-South), EW (East-West), serta Z. Kemudian disimpan dalam bentuk ASCII.

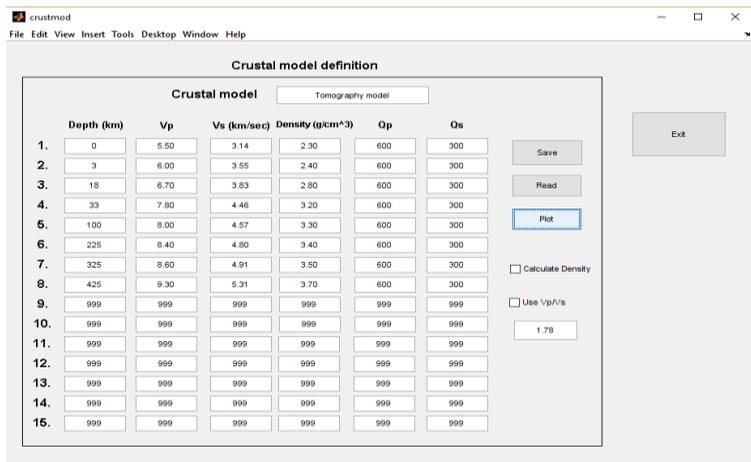
3.5.2 Model Bumi (*Define Crustal Model*)

Agar didapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi yang sebenarnya, digunakan model kecepatan bumi yang diusulkan oleh berupa struktur kecepatan horizontal multi-layer.

Tabel 3. 1 Model kecepatan bumi

Depth(km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Rho (km/m ³)	Qp	Qs
0	5.50	3.14	2300	600	300
3	6.00	3.55	2400	600	300
18	6.70	3.83	2800	600	300
33	7.80	4.46	3200	600	300
100	8.00	4.57	3300	600	300
225	8.40	4.80	3400	600	300
325	8.60	4.91	3500	600	300
425	9.30	5.31	3700	600	300

Angka-angka tersebut diinput ke dalam menu *Define Crustal Model* pada program ISOLA-GUI seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Model bumi

Parameter yang diinput dalam model kecepatan bumi adalah kedalaman dengan satuan kilometer (km), kemudian kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), densitas batuan, quasi gelombang P atau faktor redaman gelombang P (Q_p), dan quasi gelombang S atau faktor redaman gelombang S (Q_s).

3.5.3 Informasi Event Gempa

Pada tahap ini, informasi tentang *event* gempa diinput ke dalam *event info*. Informasi-informasi tersebut meliputi *Origin Time* (tanggal kejadian gempa, waktu kejadian gempa), posisi gempa berdasarkan *latitude*, dan *longitude*, besarnya gempa (*magnitude*), serta agensi yang digunakan.

The screenshot shows the 'eventinfo' application window with the following sections:

- Event Info:**
 - Lat (Deg,Min): 38.00 50.00
 - Lat (Decimal Degrees): 36.9983
 - Depth (km): 59.00
 - Lon (Deg,Min): 21.00 50.00
 - Lon (Decimal Degrees): 143.3430
- Event Origin Time:**
 - Hour: 03
 - Min: 41
 - Seconds: 49.90
- Comments:**
 - Magnitude: 4.7
 - Date: 20170212
 - Location agency: NIED
- Data start time:**
 - Hour: 03
 - Min: 41
 - Seconds: 0
- Data Options:**
 - Time Length (sec): 245.76, 327.68, 409.6, 819.2, 1638.4
 - Note: This is the part of data that will be used for the inversion starting at origin time

Buttons for 'Update' and 'Exit' are located on the right side of the window.

Gambar 3. 7 Informasi Event Gempa

3.5.4 Pemilihan Stasiun

Langkah selanjutnya yang dilakukan ialah pemilihan stasiun perekam gempa. Pemilihan ini berdasarkan data stasiun yang sebelumnya telah dibuat dengan menginput data stasiun.stn pada file ISOLA.

3.5.5 *Raw Data Preparation*

Dalam proses ini, digunakan data *waveform* berupa ASCII yang sebelumnya telah diimpor melalui *SAC Impor*. Kemudian dilakukan koreksi instrumentasi dan dilakukan *origin align* yakni penyetaraan waktu.

Pada proses koreksi instrumentasi, terlebih dahulu dibuat file data pzfile untuk tiap tiap stasiun yang digunakan kemudian disimpan dalam folder pzfiles pada file ISOLA.

3.5.6 *Seismic Source Definition*

Langkah ini mengasumsikan bahwa hanya terdapat satu sumber pada lokasi *event* gempa dan kedalaman tertentu pada hiposenter.

Menurut Sokos dan Zahrandik (2009), tahap ini digunakan untuk mencari posisi sumber yang optimum yang ditandai dengan korelasi antara data *waveform* dan sintetik sebagai perkiraan pertama untuk centroid. Nilai-nilai yang diinput pada menu *seismic source definition* antara lain ialah *starting depth* atau kedalaman mula-mula. Kedalaman awal ini digunakan sebagai estimasi awal kedalaman yang akan diukur mula-mula untuk mencari letak hiposenternya. Selain kedalaman awal, juga memasukkan langkah pengukuran kedalamannya atau *depth step*. Selanjutnya jumlah sumber seismik juga dibutuhkan untuk melakukan proses selanjutnya yakni perhitungan Fungsi Green.

Trial source positions

Sources below epicenter

Starting depth (km)
11

Depth step (km)
1

No of Sources (< 51)
22

Hint: If you want to prepare trial sources under the epicenter fill the proper values and press the button at the top of this box
Check the manual for details

Sources on a line or plane

Hint: If you want to prepare trial sources on a line or plane press the above button.

One Source at Hypocenter

Lat	Lon	Depth
37.0953	141.352	32.3

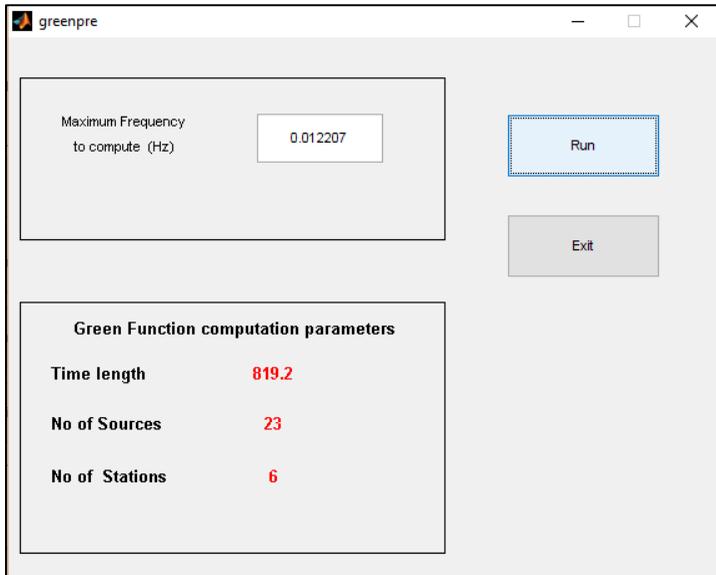
Hint: Invert for just one source at hypocenter

Exit

Gambar 3. 8 Trial Source Definition

3.5.7 Komputasi Fungsi Green

Komputasi fungsi *green* dilakukan agar dapat melangkah ke tahap inversi. Pengolahan fungsi *green* ini berdasarkan persamaan fungsi *green*. Pengolahannya dilakukan pada *Command Prompt* seperti pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14.



Gambar 3. 9 Menu fungsi green pada ISOLA

3.5.8 Inversi

Tahap selanjutnya yang dilakukan ialah proses inversi. Proses inversi digunakan untuk mendapatkan hasil kurva *displacement data waveform* dengan data sintetik, kemudian menghasilkan nilai momen tensor berdasarkan pada analisis *waveform*. Output yang dihasilkan pada tahapan ini juga berupa nilai variasi reduksi. Nilai variasi reduksi digunakan sebagai acuan dalam akurasi hasil pengolahan data. Namun sebelumnya perlu dilakukan penentuan nilai filter agar mendapatkan hasil yang bagus dalam *fitting* kurva. Apabila nilai variasi reduksi masih rendah (<0.5), maka perlu dilakukan proses inversi dengan mengubah nilai filter atau mengulang kembali proses pemilihan stasiun hingga nilai variasi reduksi mendekati 1.

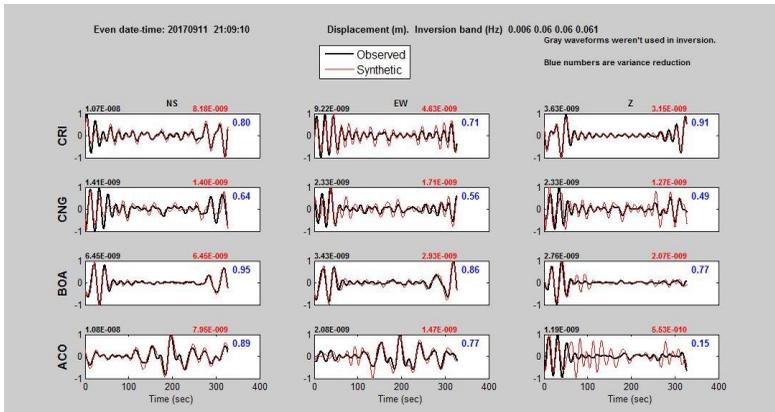
The screenshot shows the ISOLA GUI with the following sections:

- Info:** Time Length: 819.2, No of Sources: 23, No of Stations: 6, Min Time shifts (sec): -250, Max Time shifts (sec): 250.
- Filter (Hz):** filter (f1, f2, f3, f4), flat band-pass between f2, f3 cosine tapered between f1, f2 and between f3, f4. f1: 0.005, f2: 0.008, f3: 0.009, f4: 0.01.
- Type of Inversion:** Full MT (selected), Deviatoric MT, DC constrained, Fixed mechanism. Strike: 0, Dip: 0, Rake: 0.
- (dt) Time Search (sec):** Start: -10, End: 10, Time Step: 1. Trial Time shifts: -100, 10, 100.
- Number of Subevents:** 1.
- Plot Correlation diagram:** Plot Scale X: 21, Plot Scale Y: 18, Beachball Scale: 0.35, Font size: 10, Contour interval: 0.1, GMT Palette: cool, Invert Palette: unchecked.
- Results for Single source:** Source Number: 1, Time limits: [], Source limits: 1 to 23.
- Buttons:** Compute Weights, Reset Weights, Deselect Stations, Run, Exit.

Gambar 3. 10 Tahapan inversi pada ISOLA

3.5.9 Plot Hasil

Tahapan terakhir dalam pengolahan data pada ISOLA-GUI adalah plot hasil pengolahan data. Dalam proses ini didapatkan kurva *displacement waveform* dengan kurva sintetik serta solusi momen tensor yang didapatkan termasuk hasil *focal mechanism* berupa *beachball* yang menggambarkan arah gerak patahan yang terjadi pada gempa di wilayah Meksiko tersebut.



Gambar 3. 11 Fitting kurva

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Telah dilakukan penelitian tentang analisis mekanisme fokus yang terjadi pada gempa di wilayah Meksiko. Gempa-gempa tersebut berkekuatan ≥ 4.8 SR. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *event* yang terjadi di wilayah-wilayah tersebut dalam selang waktu Januari 2017 hingga Desember 2017 sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Event gempa di Mexico pada periode Januari sampai Desember 2017

Tanggal	Waktu	Lat	Long	M w	Dept	Lokasi
12/01/2017	10:26:58	16.8233	-98.3622	5.0	10	Guerrero
02/02/2017	00:52:08	17.3755	-101.0742	4.8	10	Guerrero
11/09/2017	21:09:10	14.9074	-94.0139	5.5	27	Chiapas
12/01/2017	03:22:46	13.9092	-91.2441	5.3	53.5	Guatemala
16/09/2017	14:18:57	16.226	-94.9072	5.4	27.8	ElSalvador
08/09/2017	17:01:41	15.1628	-94.3813	4.8	10	Oaxaca
03/09/2017	03:21:42	11.9775	-87.9271	5.0	8.23	Nicaragua
21/10/2017	16:58:54	16.001	-98.0726	4.9	16.96	Guerrero

4.2 Hasil Pengolahan

Momen tensor umumnya ditulis dengan M_{rt} yang berarti komponen gaya yang bergerak ke arah sumbu r dan bekerja pada bidang normal terhadap sumbu t . Pada penelitian ini, pemodelan momen tensor dilakukan dengan menggunakan metode inversi *waveform* tiga komponen. Hasil perhitungan momen tensor yang didapatkan dari pengolahan data digunakan. 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 hasil aktivitas dari area patahan atau pertengahan antara dua lempeng yang mengalami slip. Hal ini menunjukkan adanya gaya yang dibutuhkan untuk meneruskan gelombang seismik setelah terjadi gempa. Secara tidak langsung, nilai tersebut berhubungan dengan besar total energi seismik yang disebabkan patahan.

Data yang didapatkan setelah nilai momen tensor adalah besar dari karakteristik bidang sesar. Karakteristik bidang sesar terdiri atas dua bidang lempeng yaitu bidang patahan atau sesar dan bidang *auxiliary*. Pada kedua bidang tersebut terdapat nilai *strike*, *dip* dan *rake*.

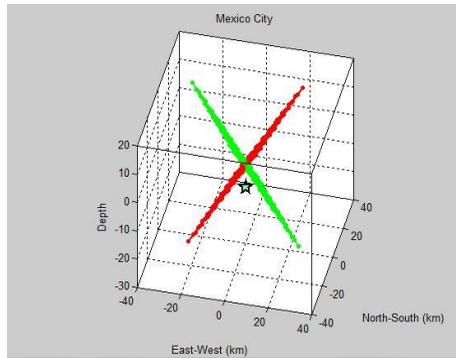
Tabel 4. 2 Momen tensor untuk Gempa di Mexico pada tahun 2017

Event	M_{33}	M_{22}	M_{11}	M_{31}	M_{32}	M_{21}	Var
08/09/2017 17:01:41	0.540E+13	-3.990E+13	-0.048E+13	0.416E+13	-0.174E+13	4.472E+13	0.53
03/09/2017 03:21:42	1.567E+13	6.624E+13	1.662E+13	-2.009E+13	-1.293E+13	0.856E+13	0.94
21/10/2017 16:58:54	0.425E+14	1.320E+14	0.752E+14	0.107E+14	0.328E+14	-0.964E+14	0.59
16/09/2017 14:18:57	0.020E+15	1.179E+15	-0.067E+15	-0.265E+15	0.285E+15	-0.505E+15	0.54
12/01/2017 10:26:58	-1.716E+13	-0.216E+13	0.445E+13	0.867E+13	0.127E+13	-0.139E+13	0.49
02/02/2017 00:52:08	-0.815E+13	-2.560E+13	0.861E+13	0.630E+13	0.442E+13	-0.851E+13	0.98
11/09/2017 21:09:10	-0.563E+14	0.125E+14	-2.186E+14	-0.166E+14	0.071E+14	-0.844E+14	0.78
12/01/2017 03:22:46	0.052E+13	-2.329E+13	-2.026E+13	-0.453E+13	0.167E+13	0.386E+13	0.48

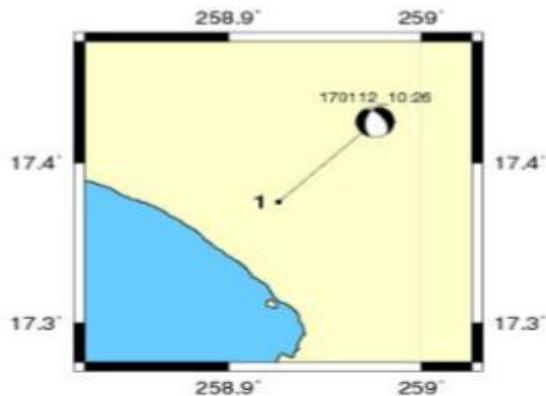
Tabel 4. 3 Bidang sesar dan auxiliary plane untuk gempa di Mexico

Event	Plane 1			Plane 2		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
08/09/2017 17:01:41	348	86	-179	258	89	-4
03/09/2017 03:21:42	296	35	-32	53	72	-121
21/10/2017 16:58:54	165	66	-161	168	73	-25
16/09/2017 14:18:57	149	79	-33	246	58	-167
12/01/2017 10:26:58	325	52	-123	191	49	-55
02/02/2017 00:52:08	325	52	-123	191	49	-55
11/09/2017 21:09:10	243	82	173	334	83	8
12/01/2017 03:22:46	300	55	86	127	35	96

Solusi bidang patahan berupa *strike*, *dip* dan *rake* yang telah didapatkan kemudian digunakan sebagai input hplot untuk menggambarkan arah bidang patahan. 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 *dip* atau sudut yang dibentuk antara patahan dengan bidang horisontal. Kemudian terdapat kolom *rake* yang menunjukkan nilai sudut pergerakan bidang



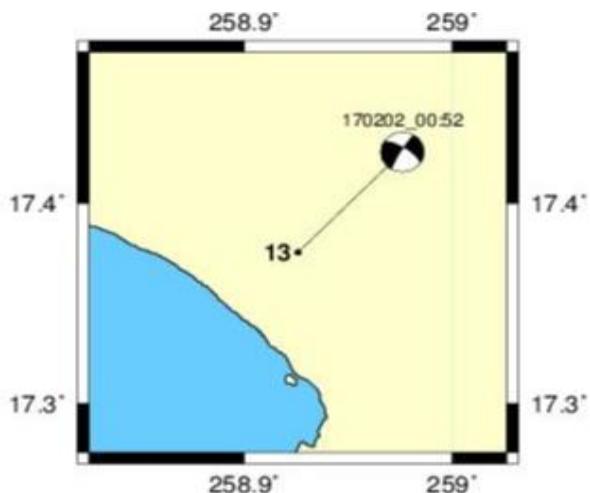
Gambar 4. 1 Hc Plot pada event 12-01-2017



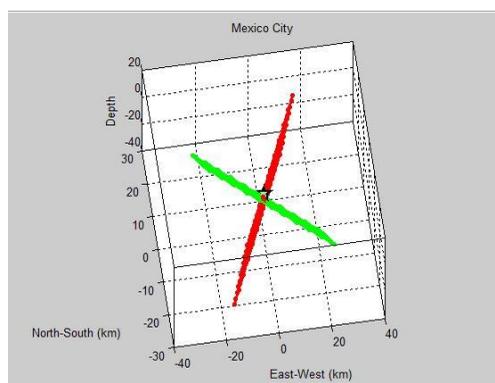
Gambar 4. 2 Beach Ball pada event 12-01-2017

Gempa yang terjadi pada tanggal 12-01-2017 pada pukul 10:26:58 menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *Normal fault*. Pola *Normal fault* dapat diketahui dengan memperhatikan apakah rake yang ada bernilai negative. Pada event bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai strike = 325, dip= 52, rake=-123 dan pada bidang kedua nilai strike= 191, dip= 49, Rake= -55. Jarak bidang pertama dengan hiposenter

gempa sebesar 5.10 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 5.35 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan Auxiliary plane nya berwarna merah, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 8 km.

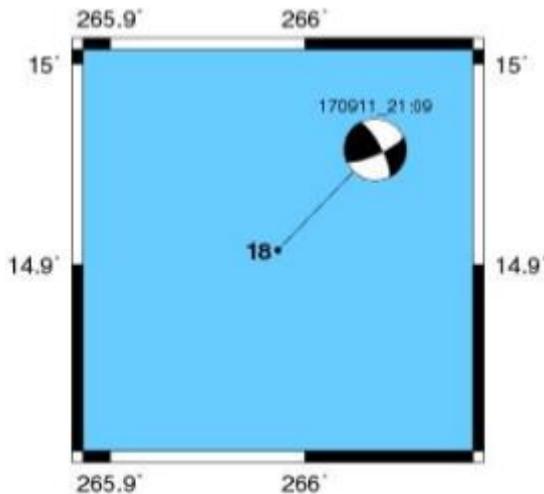


Gambar 4. 3 Beach Ball pada event 02-02-2017

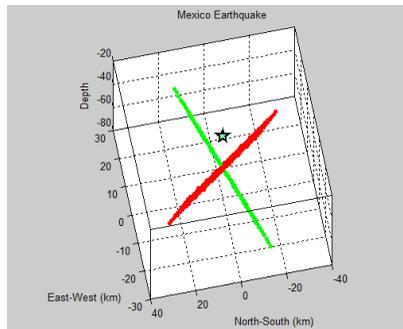


Gambar 4. 4 Hc Plot pada event 02-02-2017

Gempa yang terjadi pada tanggal 02-02-2017 pada pukul 00:52:08 menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *Normal fault*. Pola *Normal fault* dapat diketahui dengan memperhatikan apakah rake yang ada bernilai negative. Pada event bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai strike = 303, dip= 71, rake= -173 dan pada bidang kedua nilai strike= 211, dip= 84, Rake= -20. Jarak bidang pertama dengan hiposenter gempa sebesar 1.78 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 1.10 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna merah dan Auxiliary plane nya berwarna hijau, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 4 km.

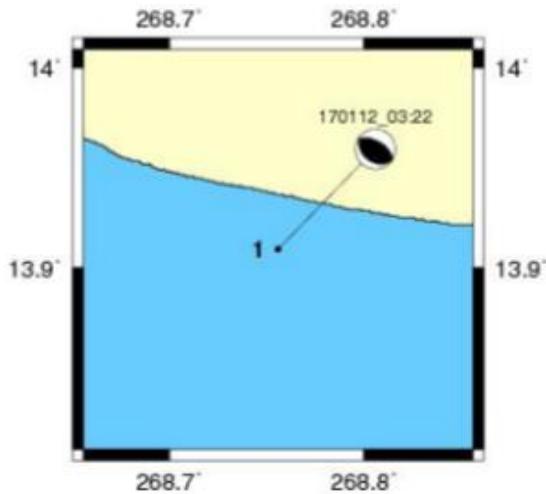


Gambar 4. 5 Beach Ball pada event 11-09-2017

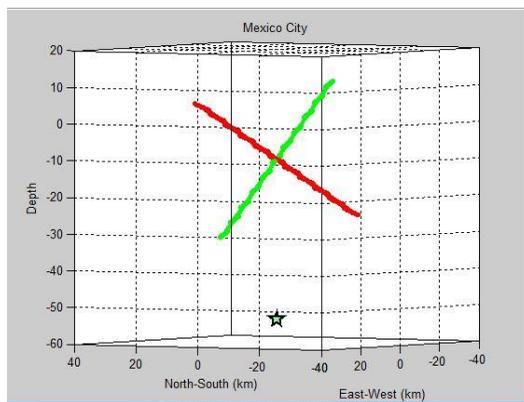


Gambar 4. 6 Hc Plot pada event 11-09-2017

Gempa yang terjadi pada tanggal 11-09-2017 pada pukul 21:09:10 menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *reverse fault*. Pola reverse fault dapat diketahui dengan memperhatikan apakah rake yang ada bernilai positif. Pada event bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai strike = 243, dip= 82, rake= 173 dan pada bidang kedua nilai strike= 334, dip= 83, Rake= 8. Jarak bidang pertama dengan hiposenter gempa sebesar 1.77 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 1.62 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna merah dan Auxiliary plane nya berwarna hijau, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 11 km.



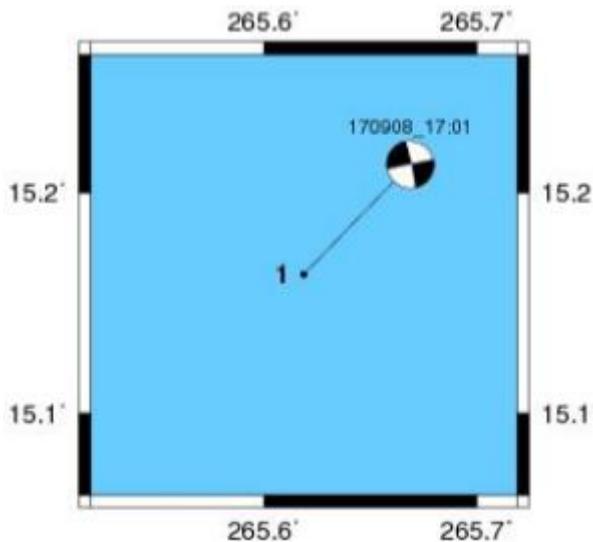
Gambar 4. 7 Beach Ball pada Event 12-01-2017



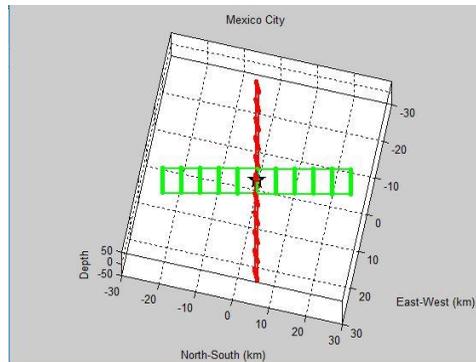
Gambar 4. 8 Hc Plot pada event 12-01-2017

Gempa yang terjadi pada tanggal 12-01-2017 pada pukul 03:22:46 menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *reverse fault*. Pola reverse fault dapat diketahui dengan memperhatikan apakah rake yang ada bernilai positif. Pada event

bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai strike = 300, dip= 55, rake= 86 dan pada bidang kedua nilai strike= 127, dip= 35, Rake= 96. Jarak bidang pertama dengan hiposenter gempa sebesar 27.12 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 35.63 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan Auxiliary plane nya berwarna merah, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 43.50km.

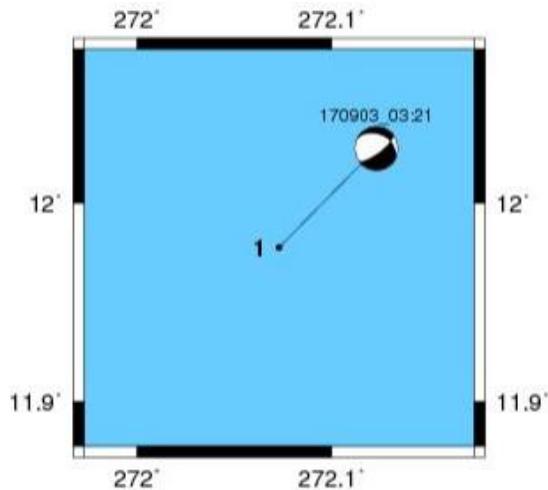


Gambar 4. 9 Beach Ball pada event 08-09-2017

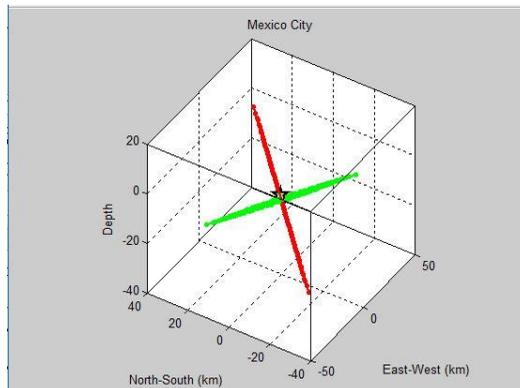


Gambar 4. 10 Hc plot pada event 08-09-2017

Gempa yang terjadi pada tanggal 08-09-2017 pada pukul 17:01:41 menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *Normal fault*. Pola *Normal fault* dapat diketahui dengan memperhatikan apakah rake yang ada bernilai negative. Pada event bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai strike = 122, dip= 45, rake= -94 dan pada bidang kedua nilai strike= 307, dip= 45, Rake= -86. Jarak bidang pertama dengan hiposenter gempa sebesar 0 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 0 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan Auxiliary plane nya berwarna merah, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 0 km.



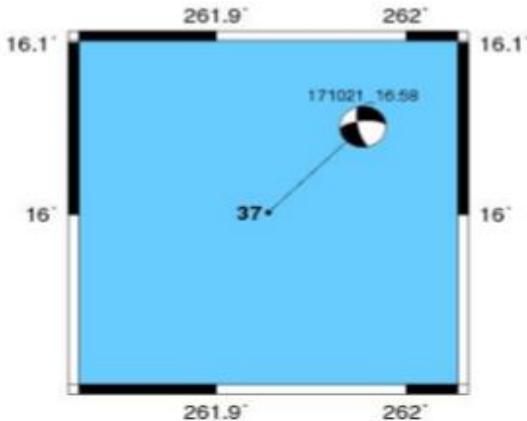
Gambar 4. 11 Beach Ball pada Event 03-09-2017



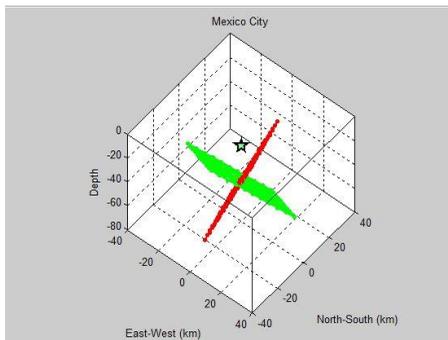
Gambar 4. 12 Hc Plot pada event 03-09-2017

Gempa yang terjadi pada tanggal 03-09-2017 pada pukul 03:21:42 menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *normal fault*. Pola normal fault dapat diketahui dengan memperhatikan apakah rake yang ada bernilai negative. Pada event bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai strike =

296, dip= 35, rake= -32 dan pada bidang kedua nilai strike= 53, dip= 72, Rake= -121. Jarak bidang pertama dengan hiposenter gempa sebesar 1.77 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 1.77 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan Auxiliary plane nya berwarna merah, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 1.77 km.

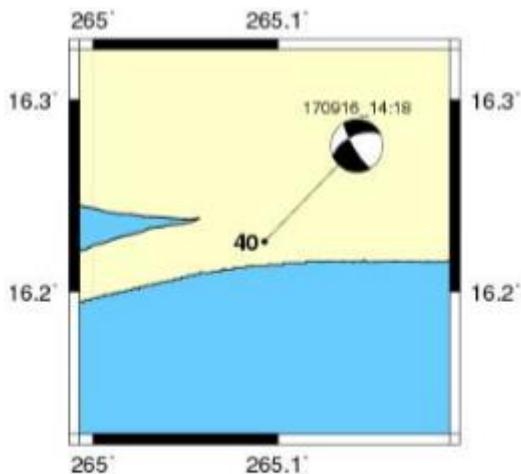


Gambar 4. 13 Beach Ball pada event 21-10-2017

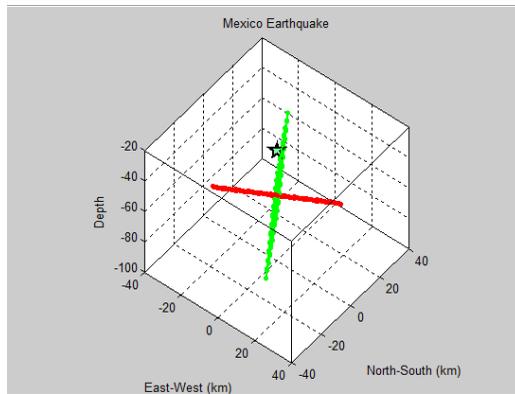


Gambar 4. 14 Hc Plot pada event 21-10-2017

Gempa yang terjadi pada tanggal 21-10-2017 pada pukul 16:58:54 menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *Normal fault*. Pola *Normal fault* dapat diketahui dengan memperhatikan apakah rake yang ada bernilai negative. Pada event bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai strike = 265, dip= 66, rake= -161 dan pada bidang kedua nilai strike= 168, dip= 73, Rake= -25. Jarak bidang pertama dengan hiposenter gempa sebesar 11.91 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 8.93 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna merah dan Auxiliary plane nya berwarna hijau, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 29.04 km.



Gambar 4. 15 Beach Ball Pada Event 16-09-2017

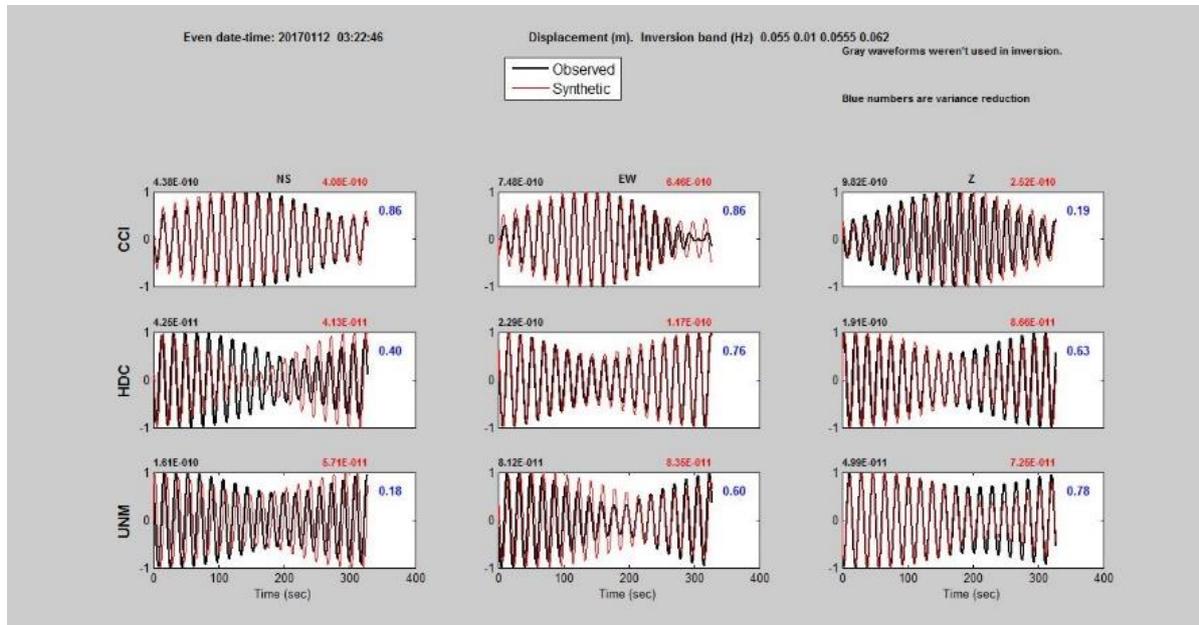


Gambar 4. 16 Hc Plot pada event 16-09-2017

Gempa yang terjadi pada tanggal 16-09-2017 pada pukul 14:26:58 menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *Normal fault*. Pola *Normal fault* dapat diketahui dengan memperhatikan apakah rake yang ada bernilai negative. Pada event bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai strike = 149, dip= 79, rake= -33 dan pada bidang kedua nilai strike= 246, dip= 58, Rake= -167. Jarak bidang pertama dengan hiposenter gempa sebesar 8.19 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 16.60 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan Auxiliary plane nya berwarna merah, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 31.20 km.

4.3 Pembahasan

Untuk mengetahui karakter sesar penyebab gempa bumi dapat di lihat berdasarkan momen tensor gempa bumi. Momen tensor ini digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi (Setyowidodo dan santosa, 2011). Ketika suatu gempa terjadi. Gelombang seismik itu disebarkan dari hiposenter yang akan membawa banyak informasi dari mekanisme sumber gempa bumi. Dari gelombang seismik kita dapat menaksir suatu retakan yang mendadak berlangsung sepanjang sesar. Solusi dari momen tensor pada umumnya digambarkan dengan *beachball*, dari sini kita dapat mengetahui jenis sesar penyebab gempa bumi yang terjadi digunakan analisa *waveform* tiga komponen. Parameter sumber gempa yang belum diketahui, diestimasi dengan menggunakan model inversi. Proses inversi dilakukan dengan menggunakan metode iterasi dekonvolusi untuk mencapai *fitting waveform* tiga komponen dengan baik. Proses inversi yang baik didasarkan pada hasil pencocokan data seismogram dan data sintetik dari hasil inversi. Hasil yang baik terjadi saat data observasi dan data sintetik saling tumpang tindih. *couple* momen tensor yang didapatkan juga memberikan output berupa nilai *strike*, *dip*, dan *rake* sebagai parameter-parameter bidang patahan. Nilai *strike*, *dip*, dan *rake* dapat kami tampilkan pada Tabel 4.4. Nilai momen tensor yang didapatkan dari penelitian ini berasal dari hasil inversi *waveform* tiga komponen. Momen tensor digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi. Solusi momen tensor berupa 6 komponen *double*

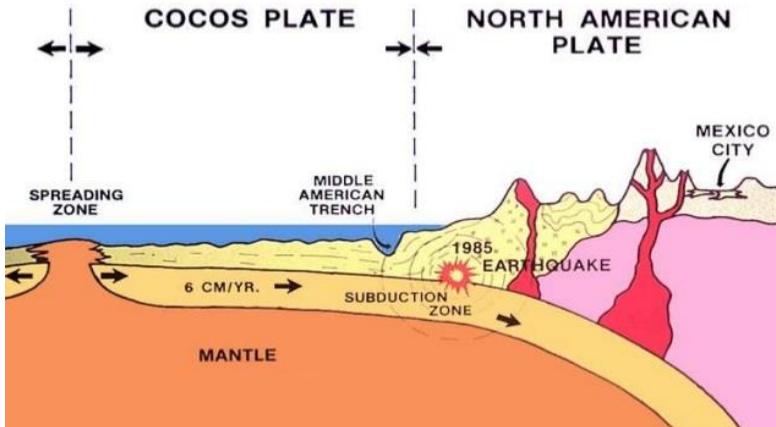


Gambar 4. 17 kurva data observasi dan data sintetik

Dapat dilihat pada gambar 4.17 antara kurva seismogram observasi dengan seismogram sintetik adalah cocok dan saling berhimpit. Nilai varian reduksi dipengaruhi oleh proses filtering yang dilakukan pada tahap inversi. Dari masing masing event gempa varian reduksi nya berkisar 0.53, 0.94, 0.59, 0.59, 0.49, 0.98, 0.98, 0.48. berdasarkan nilai variasi reduksi ini menunjukkan pengolahan yang sudah akurat. Varian reduksi ini di tentukan oleh besar *filtering* yang dilakukan. Fungsi green menggambarkan sinyal yang terekam oleh seismograf sehingga fungsi green dapat dikatakan sebuah model dari sinyal. Dari model ini diperbandingkan dengan hasil rekaman seismogram sebenarnya maka dapat diketahui ketidakcocokannya. seismogram sintetik didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan fungsi green yang kemudian dilakukan proses inversi untuk dibandingkan dengan data seismogram observasi Pada gambar diatas, terdapat dua kurva yang merupakan kurva data observasi seismogram gempa berwarna hitam dan data seismogram sintetik berwarna merah Secara umum fungsi *Green* merupakan gabungan dari fungsi respon, efek proses perambatan dengan unit *impulsive* dan/atau gaya. Fungsi *Green* dapat melakukan estimasi berdasarkan fungsi waktu sumber sehingga dari estimasi tersebut dapat diketahui besar momen tensor hasil pemodelan. Kecocokan kurva atau *fitting* kurva ditentukan oleh nilai varian reduksi. Apabila varian reduksi bernilai satu, artinya kecocokan kurva seismogram observasi dengan seismogram sintetik adalah sempurna atau dapat dikatakan kedua kurva saling tumpang tindih. Semakin kecil nilai varian reduksinya, maka tingkat kecocokannya juga semakin rendah. Maka dapat dilakukan input nilai *filter* F1, F2, F3 dan F4 sampai didapatkan hasil variasi reduksi yang baik. Kualitas hasil inversi dapat diketahui dari nilai varian reduksi hasil *fitting waveform* data observasi seismogram dan *waveform* sintetik yang didapatkan.

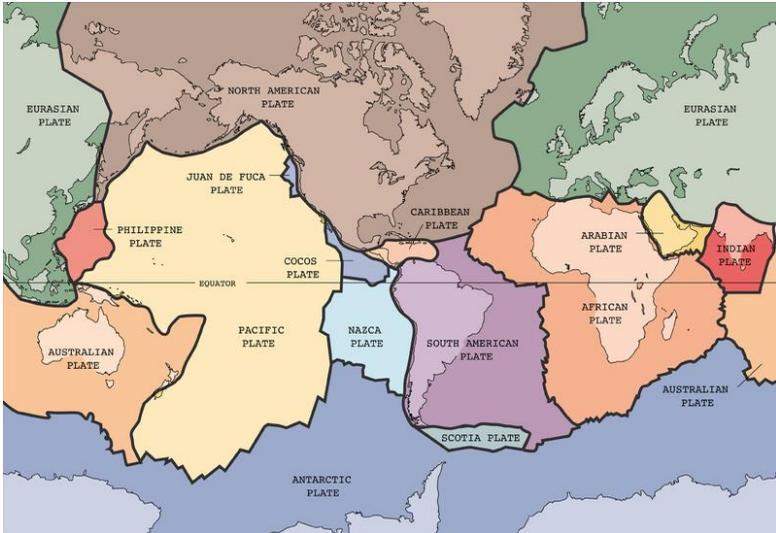
Nilai VR (Varian Reduksi) tertinggi yaitu pada *event* 02-02-2017 pada tabel 4.2 didapatkan sebesar 0.98 atau 98%.. dari hasil inversi momen tensor juga didapatkan nilai *strike*, *dip* dan *rake* yang menyatakan arah bidang patahan suatu gempa. Solusi inversi menghasilkan dua bidang parameter, satu bidang merupakan bidang patahan yang sebenarnya, sedangkan bidang lainnya disebut *auxiliary plane* yang merupakan bidang bantu. Keduanya saling tegak lurus sama lain. *Strike* merubakan besarnya sudut arah lintasan garis sesar dipermukaan yang diukur dari arah utara. lalu *dip* menyatakan sudut kemiringan sesar diukur dari permukaan bumi. Sedangkan untuk *rake* adalah sudut dari pergerakan *slip*.

Dari hasil inversi momen tensor pada event 12/01/2017 03:22:46 didapatkan letak centroid moment tensor (CMT) dari gempa berada pada kedalaman 10 km. CMT terjadi setelah 1.4 detik terjadinya gempa di hiposenter. Prosentase DC menggambarkan sesar yang menyebabkan terjadinya gempa bumi adalah system double couple yaitu kopel ganda. Gempa yang terjadi menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *reverse fault*. Pola reverse fault dapat diketahui dengan memperhatikan apakah *rake* yang ada bernilai positif. Pada event bidang pertama yang berwarna hijau memiliki nilai *strike* = 300, *dip*= 55, *rake*= 86 dan pada bidang kedua nilai *strike*= 127, *dip*= 35, *Rake*= 96. Jarak bidang pertama dengan hiposenter gempa sebesar 27.12 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 35.63 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan *Auxiliary plane* nya berwarna merah, kemudian jarak antara titik centroid dengan hiposenter sebesar 43.50km. jika dianalisa dari parameter sesar yaitu dengan nilai *strike* 300, *dip* 55 dan *rake* 86. Menunjukkan jika arah pergeseran sesar pada arah 300 derajat ke arah barat laut dengan kemiringan patahan 55 derajat terhadap bidang datar bumi. Kemudian terlihat patahan merupakan bidang yang berwarna hijau dan *rake* bernilai 86 (positif) menunjukkan dominasi *reverse fault*.



Gambar 4. 18 Lempeng-lempeng utama pada wilayah meksiko

Ditinjau dari geologi regional wilayah meksiko seperti yang terlihat pada Gambar 4.18, wilayah meksiko cenderung mendapatkan dorongan dari lempeng cocos Pasifik yang bergerak ke arah barat, kemudian lempeng amerika utara yang cenderung stabil. Pergerakan tersebut memungkinkan terjadinya subduksi yang menyebabkan adanya *reverse fault* dan *normal fault* pada masing-masing event, Kecepatan lempeng cocos 67 mm per tahun dengan arah pergerakan dari utara ke timur kemudian lempeng amerika utara bergerak ke arah barat dengan kecepatan 15-25 mm per tahun sehingga membentuk middle American trench Pergerakan lempeng yang saling melewati terjadi karena gerak lempeng sejajar dengan arah yang berlawanan sepanjang perbatasan antarlempeng. Pada pergerakan ini kedua perbatasan lempeng hanya bergesekan.



Gambar 4. 19 Batas lempeng di sekitar wilayah Meksiko

Oleh karena itu, tidak terjadi penambahan atau pengurangan luas permukaan. Namun, gesekan antarlempeng ini kadang-kadang dengan kekuatan dan tegangan yang besar sehingga dapat menimbulkan gempa yang besar. Patahan tersebut terbentuk karena Lempeng Amerika utara bergerak ke arah selatan, sedangkan Lempeng Pasifik bergerak ke arah utara.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Besar Momen Tensor untuk masing-masing komponen dari 8 *event* gempa di Meksiko adalah pada tahun 2017 diperoleh hasil sebagai berikut ini.
 $M_{11} = -0.048E+13$ sampai $0.861E+13$,
 $M_{22} = -0.216E+13$ sampai $6.624E+13$,
 $M_{33} = 1.716E+13$ sampai $1.567E+13$,
 $M_{31} = -2.009E+13$ sampai $0.867E+13$,
 $M_{32} = 1.293E+13$ sampai $0.328E+14$,
 $M_{21} = -0.964E+14$ sampai $4.472E+13$
2. Pola bidang sesar gempa yang terjadi di wilayah Meksiko dengan menggunakan data seismogram IRIS pada tahun 2017 adalah *reverse fault* dan *normal fault*

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan dari penulis dalam penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai model bumi dari Mexico karena dapat mempengaruhi keseluruhan proses pengolahan data. Sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- D, J., t.thn. Stress and Strain. Dalam: *Lecture Notes of Mechanics of Solids*. s.l.:s.n., pp. 1-14.
- Hanks, T. C. & Kanamori, H., 1979. Journal of Geophysics Research. *A Moment Magnitude Scale*, Volume 84, pp. 2348-2350.
- Kikuchi, M. & Kanamori, H., 1982. Bulletin of Seismological Society of America. *Inversion of Complex Body Waves*, Volume 72, pp. 491-506.
- Kolecki, J. C., 2002. *An Introduction to Tensor for Student of Physics and Engineering*. Hanover: NASA Center for Aerospace Information.
- Rachmawati, L. E. & Santosa, B. J., 2014. Jurnal Sains dan Seni POMITS. *Estimasi Momen Tensor dan Pola Bidang Sesar pada Zona Subduksi di Wilayah Sumatera Utara Periode 2012 - 2014*, Volume 3, pp. 1-5.
- Wifayanti, E. J., 2014. Jurnal Sains dan Seni POMITS. *Estimasi Pola Bidang Sesar dan Moment Tensor Gempa Bumi pada Tahun 2003 Menggunakan Analisis Inversi Waveform 3 Komponen*, Volume 3, pp. 1-6.
- Miftah Hasan, 2014. Tugas Akhir. *Analisa pola bidang sesar pada zona subduksi di wilayah sumatera barat dari event gempa pada tahun 2013*
- Miftah Hasan, 2015. *Estimasi Besar Konvergensi Zona Subduksi dan Mentawai Fault Zone (MFZ) di Sumatera Barat. Jurnal Fisika dan Aplikasinya Vol 11, No 3*

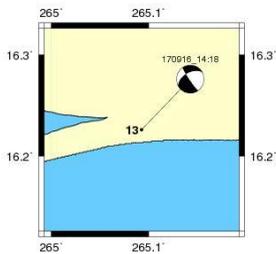
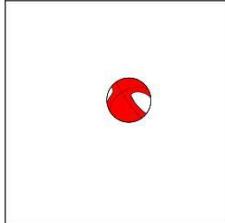
BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Putu Riadi Wirawan, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis berasal dari Bali, yang lahir di Pematangsiantar 28 April 1994 dari pasangan Ir. Ketut Adi Wijaya dan Luh Karoni. Penulis telah menempuh pendidikan formal di antaranya SD Methodist tahun 2000 – 2006, SMP Methodist tahun 2006 – 2009, kemudian SMA Methodist tahun 2009 – 2012, dan diterima di Jurusan Fisika-

FIA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) pada tahun 2012. Selama menjadi mahasiswa Fisika ITS, penulis aktif berorganisasi di TPKH ITS, PSM ITS dan HIMASIKA ITS yang merupakan organisasi di bidang Agama, Paduan Suara dan Himpunan Mahasiswa Fisika ITS. Apabila ingin berdiskusi tentang Tugas Akhir, Penulis dapat di hubungi melalui email : Puturiadi28@gmail.com

LAMPIRAN

**MOMENT TENSOR SOLUTION****HYPOCENTER LOCATION (IRIS)**

Origin time 20170916 14:18:57.00
 Lat 16.226 Lon -94.9072 Depth 27.8

CENTROID

Trial source number : 13 (Fixed Epicenter inversion)
 Centroid Lat 16.226 Lon -94.9072
 Centroid Depth : 37
 Centroid time : +3.2 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 1.109e+015

Mw : 4

DC% : 35.7

CLVD% : 64.3

Var.red. (for stations used in inversion) : 0.54

Var.red. (for all stations) : 0.54

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
146	84	-39	CCI	+	+	+
241	51	-172	UNM	+	+	+
			ZAI	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

96 31

T-axis Azimuth Plunge

200 21

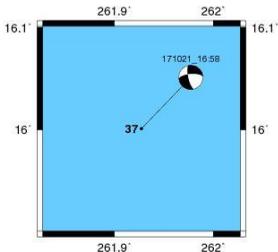
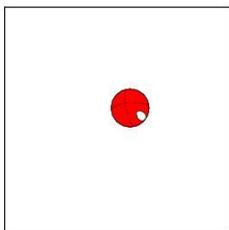
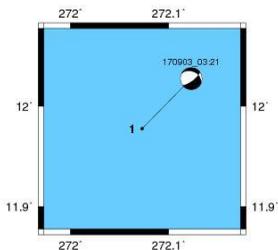
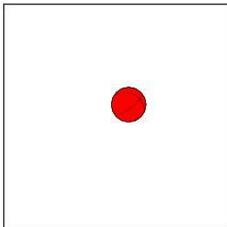
Mxx Mtt Mpp

0.211 1.204 -0.081

Mrt Mxp Mtp

-0.404 0.392 -0.404

Exponent (Nm) : 15



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (IRIS)

Origin time 20170903 03:21:42.00
Lat 11.9775 Lon -87.9271 Depth 8.23

CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)
Centroid Lat 11.9775 Lon -87.9271
Centroid Depth : 10
Centroid time : +0.8 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 5.354e+013

Mw : 3.1

DCs : 25.7

CLVDs : 74.3

Var. red. (for stations used in inversion) : 0.94

Var. red. (for all stations) : 0.94

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
296	35	-32	CRI	+	+	+
53	72	-121	MAT	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

287 52

T-axis Azimuth Plunge

166 22

Mrr Mtt Mpp

1.567 6.264 1.662

Mrt Mrp Mtp

-2.009 -1.293 0.856

Exponent (Nm) : 13

MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (IRIS)

Origin time 20171021 16:58:54.00
Lat 16.001 Lon -98.0726 Depth 16.96

CENTROID

Trial source number : 37 (Fixed Epicenter inversion)
Centroid Lat 16.001 Lon -98.0726
Centroid Depth : 46
Centroid time : -1 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 1.514e+014

Mw : 3.4

DCs : 37

CLVDs : 63

Var. red. (for stations used in inversion) : 0.59

Var. red. (for all stations) : 0.59

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
265	66	-161	TLI	+	+	+
168	73	-25	CCI	+	+	+
			ZAI	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

125 30

T-axis Azimuth Plunge

217 4

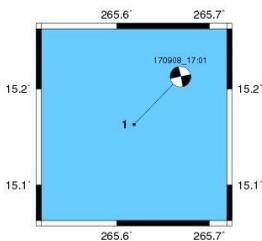
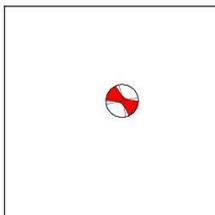
Mrr Mtt Mpp

0.425 1.320 0.752

Mrt Mrp Mtp

0.107 0.328 -0.964

Exponent (Nm) : 14



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (IRIS)

Origin time 20170908 17:01:41.00
 Lat 15.1628 Lon -94.3813 Depth 10

CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)
 Centroid Lat 15.1628 Lon -94.3813
 Centroid Depth : 10
 Centroid time : -1.6 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 5.320e+013

Mw : 3.1

DCs : 33.3

CLVDs : 66.7

Var. red. (for stations used in inversion) : 0.53

Var. red. (for all stations) : 0.53

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
348	86	-179	TLI	+	+	+
258	89	-4	UNM	+	+	+

F-axis Azimuth Plunge

213 3

T-axis Azimuth Plunge

303 2

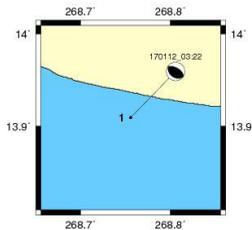
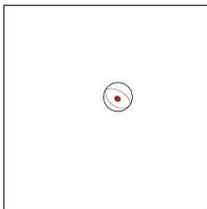
Mrx Mrt Mpp

0.540 -3.990 -0.048

Mrt Msp Mtp

0.416 -0.174 4.472

Exponent (Nm) : 13



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (IRIS)

Origin time 20170112 03:22:46.00
 Lat 13.9092 Lon -91.2441 Depth 53.5

CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)
 Centroid Lat 13.9092 Lon -91.2441
 Centroid Depth : 10
 Centroid time : +1.4 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 2.269e+013

Mw : 2.8

DCM : 26.6

CLVD% : 73.4

Var.red. (for stations used in inversion) : 0.48

Var.red. (for all stations) : 0.48

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
300	55	86	CCI	+	+	+
127	35	96	HDC	+	+	+
			UNM	+	+	+

F-axis Azimuth Plunge

33 10

T-axis Azimuth Plunge

194 80

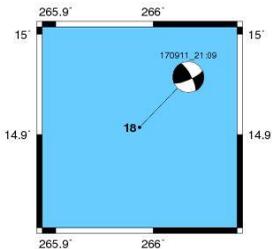
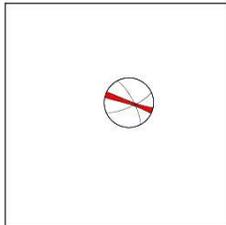
Mrr Mtt Mpp

0.052 -2.329 -2.026

Mrt Mrp Mtp

-0.453 0.167 0.386

Exponent (Nm) : 13



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (IRIS)

Origin time 20170911 21:09:10.00
 Lat 14.9074 Lon -94.0139 Depth 27

CENTROID

Trial source number : 18 (Fixed Epicenter inversion)
 Centroid Lat 14.9074 Lon -94.0139
 Centroid Depth : 54
 Centroid time : -1 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 5.601e+015
 Mw : 4.4

DCs : 1.1

CLVDs : 98.9

Var.red. (for stations used in inversion): 0.78

Var.red. (for all stations) : 0.78

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
66	76	16	TLI	+	+	+
332	75	165	CNG	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

199 0

T-axis Azimuth Plunge

289 21

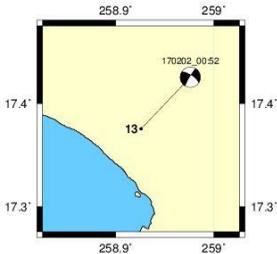
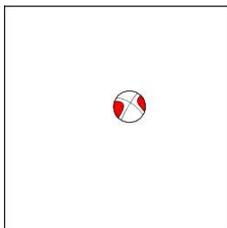
Mrr Mtt Mpp

0.055 -7.077 -0.723

Mrt Mrp Mtp

0.069 0.007 2.461

Exponent (Nm): 15



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (IRIS)

Origin time 20170202 00:52:08.00
 Lat 17.3755 Lon -101.0742 Depth 10

CENTROID

Trial source number : 13 (Fixed Epicenter inversion)
 Centroid Lat 17.3755 Lon -101.0742

Centroid Depth : 14

Centroid time : -1.6 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 2.301e+013

Mw : 2.8

DCs : 57.8

CLVDs : 42.2

Var.red. (for stations used in inversion): 0.98

Var.red. (for all stations) : 0.98

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
303	71	-173	TLI	+	+	+
211	84	-20	ZAI	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

165 18

T-axis Azimuth Plunge

258 9

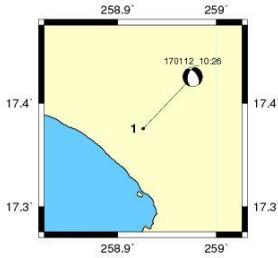
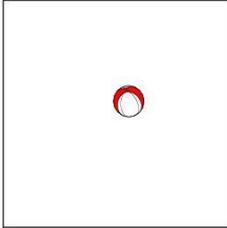
Mrr Mtt Mpp

-0.815 -2.560 0.861

Mrt Mrp Mtp

0.630 0.442 -0.851

Exponent (Nm): 13



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (IRIS)

Origin time 20170112 10:26:58.00
 Lat 16.8233 Lon -98.3622 Depth 10

CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)
 Centroid Lat 17.3755 Lon -101.0742
 Centroid Depth : 2
 Centroid time : +3.8 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 1.547e+013

Mw : 2.7

DC% :16.2

CLVD% :83.8

Var. red. (for stations used in inversion):0.49

Var. red. (for all stations) :0.49

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
325	52	-123	TLI	+	+	+
191	49	-55	UNM	+	+	+
			ZAI	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

171 65

T-axis Azimuth Plunge

77 2

Mrr Mtt Mpp

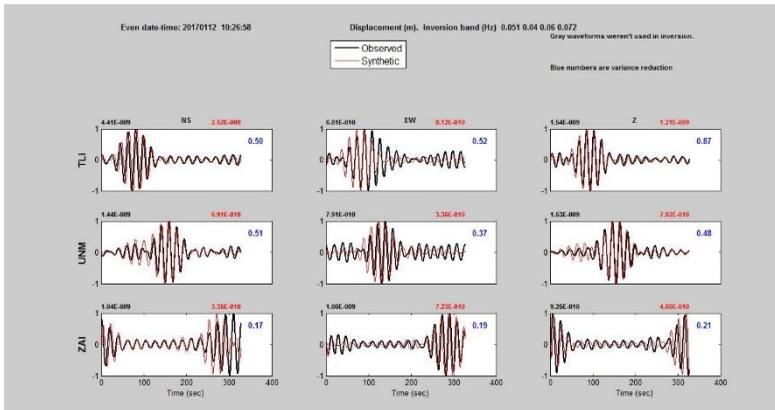
-1.716 -0.261 0.445

Mrt Mrp Mtp

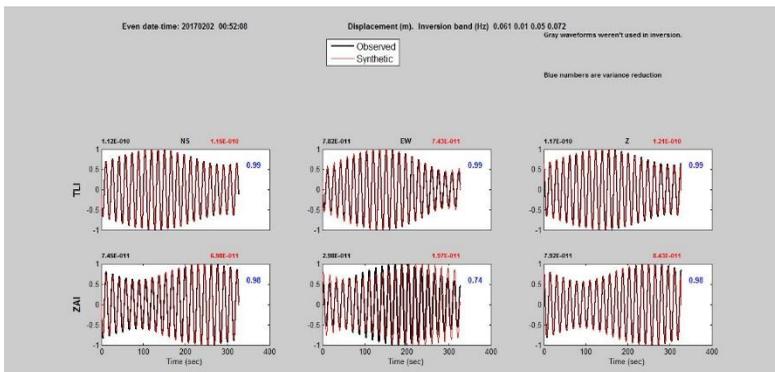
0.867 0.127 -0.139

Exponent (Nn) : 13

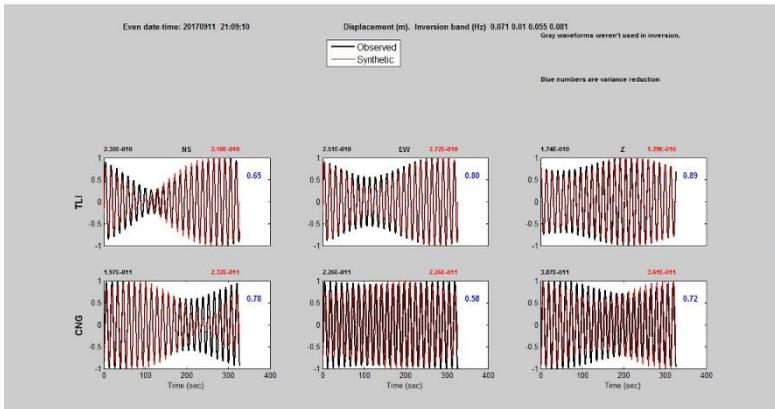
Event pada tanggal 12/01/2017, 10:26:58



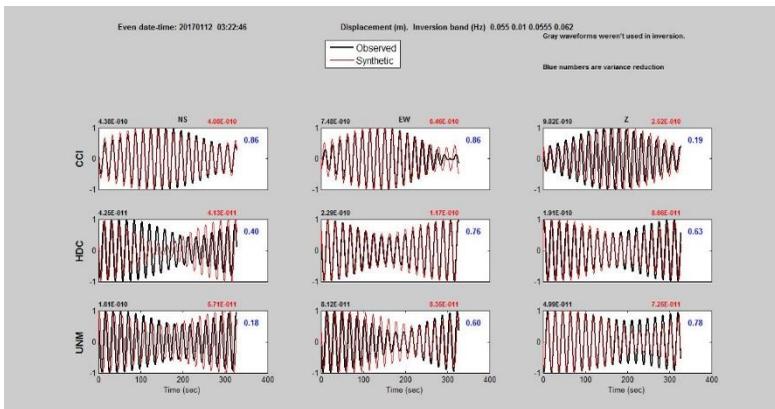
Event pada tanggal 02/02/2017, 00:52:08



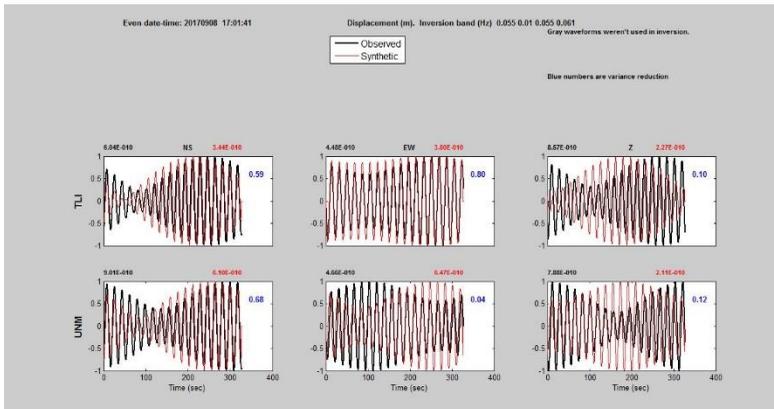
Event pada tanggal 11/09/2017, 21:09:10



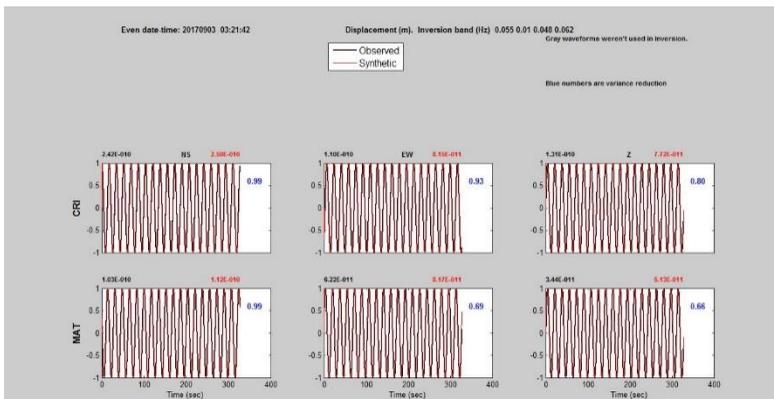
Event pada tanggal 12/01/2017, 03:22:46



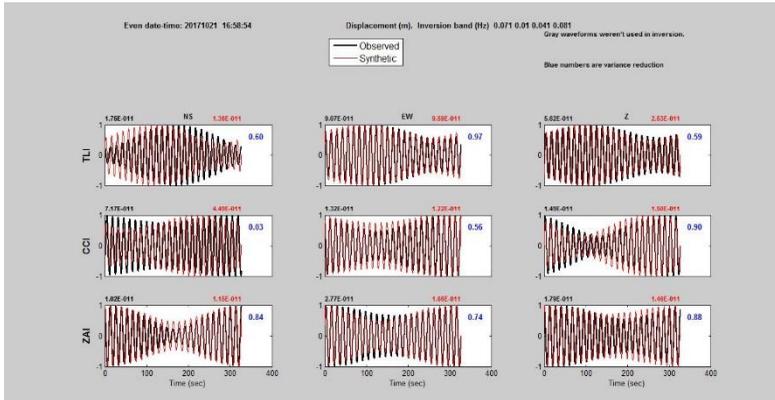
Event pada tanggal 08/09.2017, 17:01:41



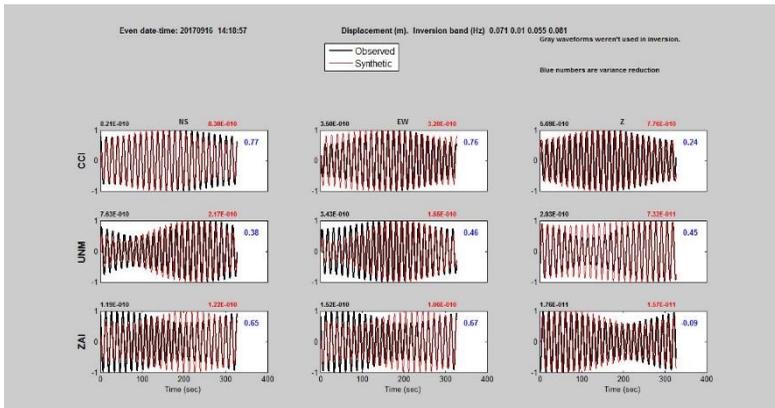
Event pada tanggal 03/09/2017 , 03:21:42



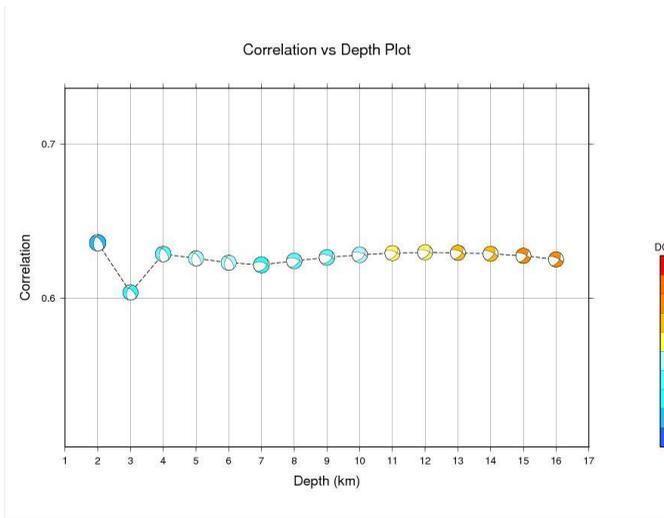
Event pada tanggal 21/10/2017, 16:58:54



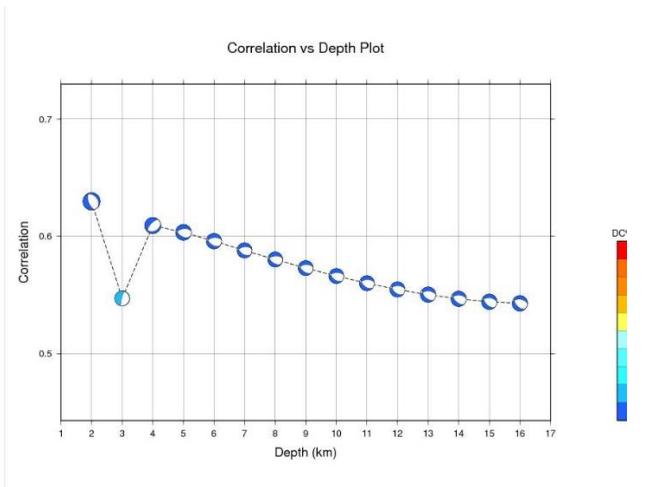
Event pada tanggal 16/09/2017 , 14:18:57



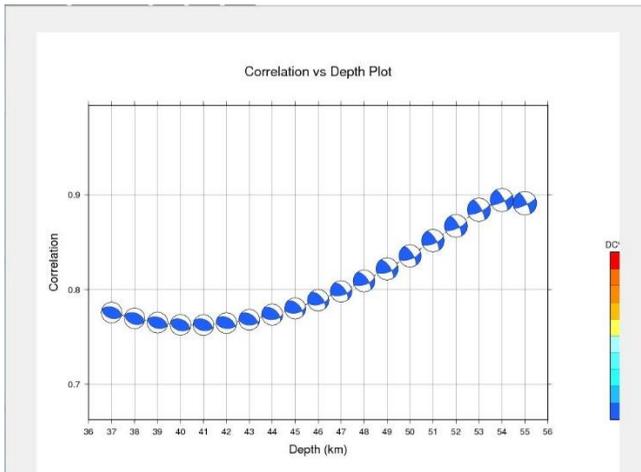
Event 12/01/2017



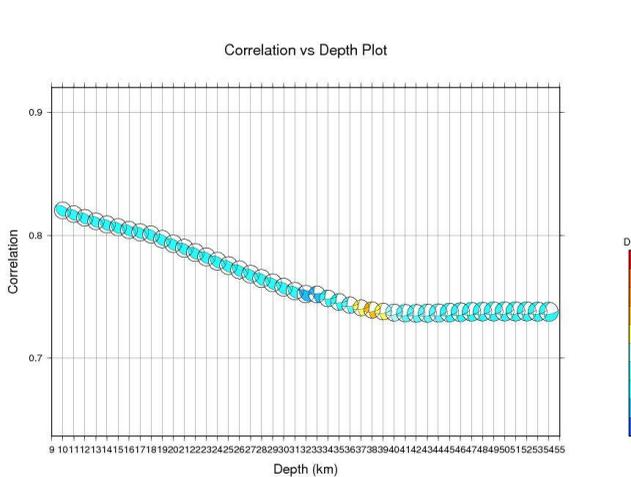
Event 02/02/2017



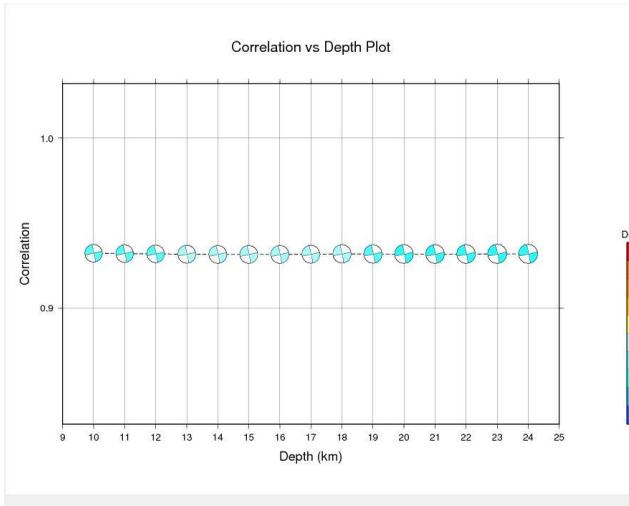
Event 11/09/2017



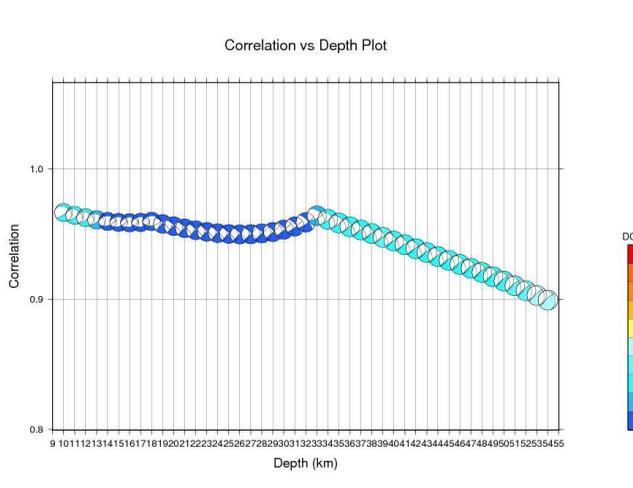
Event 12/01/2017



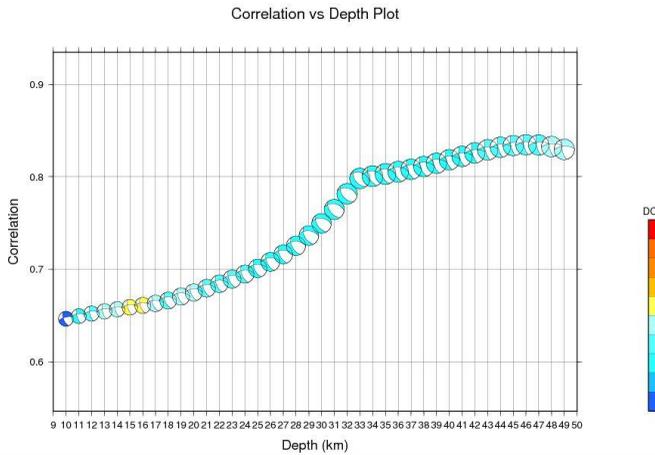
Event 08/09/2017



Event 03/09/2017



Event 21/10/2017



Event 16/09/2017

