



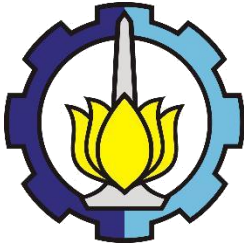
TUGAS AKHIR – SF141501

**ESTIMASI MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG SESAR
AMERIKA SERIKAT PADA TAHUN 2016-2017 DENGAN
INVERSI WAVEFORM TIGA KOMPONEN DENGAN
PROGRAM ISOLA**

**FATHUL ALAMSYAH
MUBAROK NRP 0111124000019**

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

**Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



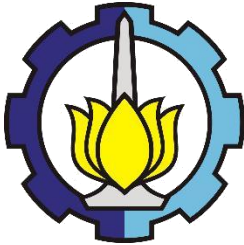
TUGAS AKHIR – SF141501

**ESTIMASI MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG
SEAR AMERIKA SERIKAT PADA TAHUN 2016-2017
DENGAN INVERSI WAVEFORM TIGA KOMPONEN
DENGAN PROGRAM ISOLA**

**FATHUL ALAMSYAH
MUBAROK NRP 0111124000019**

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

**Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT – SF141501

**ESTIMATION OF TENSOR MOMENTS AND FIELD OF
SESAK OF USA UNITS IN 2016-2017 WITH THREE
WAVEFORM INVERSION COMPONENTS WITH ISOLA
PROGRAM**

**FATHUL ALAMSYAH
MUBAROK NRP 0111124000019**

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

**Department of Physics
Faculty of Sciences
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**ESTIMASI MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG
SESAR AMERIKA SERIKAT PADA TAHUN 2016-2017
DENGAN INVERSI WAVEFORM TIGA KOMPONEN
DENGAN PROGRAM ISOLA**

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:

FATHUL ALAMSYAH MUBAROK

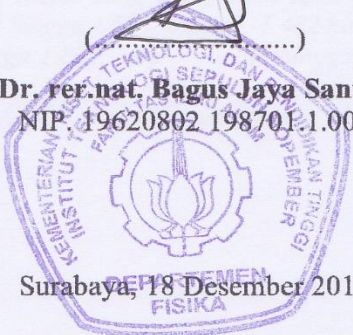
NRP 01111240000019

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir


(.....)
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U

NIP. 19620802 198701 1.001

Surabaya, 18 Desember 2017



**ESTIMASI MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG
SESAR AMERIKA SERIKAT PADA TAHUN 2016-2017
DENGAN INVERSI WAVEFORM TIGA KOMPONEN
DENGAN PROGRAM ISOLA**

Nama : Fathul Alamsyah Mubarak
NRP : 0111124000019
Jurusan : Fisika, FIA-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, SU

Abstrak

Penelitian dengan fokus analisa momen tensor dan pola bidang patahan dapat dilakukan pada gempa bumi wilayah Amerika Serikat pada tahun 2016 hingga 2017 dengan magnitude ≥ 5 SR dengan memanfaatkan 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 yang bernilai mendekati 1,00. Plot selanjutnya berupa nilai momen tensor beserta pola bidang patahan yang disimbolkan dengan beachball. Pengolahan tersebut dilakukan pada seluruh event gempa. Setelah perhitungan, pengolahan, dan interpretasi, maka nilai momen tensor yang didapatkan yaitu $M_{rr} = -4.376$ hingga 0.879 , $M_{tt} = -1.87$ hingga 1.534 , $M_{pp} = -1.482$ hingga 2.841 serta nilai $M_{rt} = -0.982$ hingga 1.804 , $M_{rp} = -0.208$ hingga 3.500 , $M_{tp} = -3.152$ hingga 0.849 .

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

ESTIMATION OF TENSOR MOMENTS AND FIELD OF SESAAR OF USA UNITS IN 2016-2017 WITH THREE WAVEFORM INVERSION COMPONENTS WITH ISOLA PROGRAM

Name : Fathul Alamsyah Mubarak
Student ID : 01111240000019
Department : Physics, FIA-ITS
Advisor : Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, SU

Abstract

This research focuses on the analysis of tensor moments and fracture patterns can be done in an earthquake from 2016 to 2017 with a magnitude of ≥ 5 SR by utilizing the ISOLA-GUI program. The principle of this program is to process the three components of seismic waves recorded in the seismogram. The waveform data is processed according to each earthquake event and solution. At inversion stage 4 filters used f_1, f_2, f_3, f_4 are the appropriate events. Plotting for results done after the inversion and yield stage. The next plot is shaped tensor moment attempted pattern fault field symbolized with beachball.

Processing is done on all earthquake events. After calculation, processing, and interpretation, the moment of tensor obtained is $M_{rr} = -4.376$ to 0.879 , $M_{tt} = -1.87$ to 1.534 , $M_{pp} = -1.482$ to 2.841 and $M_{rt} = -0.982$ to 1.804 , $M_{rp} = -0.208$ to 3.500 , $M_{tp} = -3.152$ to 0.849 .

Keywords: *crustal fault, earthquake, and moment tensor*

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kami dari kebodohan menuju cahaya kebenaran. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjanadi jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul **ESTIMASI MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG SESAR AMERIKA SERIKAT PADA TAHUN 2016-2017 DENGAN INVERSI WAVEFORM TIGA KOMPONEN DENGAN PROGRAM ISOLA**. Penulis mempersembahkan Karya Tulis ini kepada 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 pada 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. Kedua Orang Tua penulis yang selalu mendoakan penulis. Ayah penulis satu-satunya, Saiful Anwar dan Mama penulis yang tetap dari dulu, Siti Masluchah yang selalu memberikan dukungan kepada saya.
3. Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si sebagai dosen wali penulis selama kurang lebih 5 tahun.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P, M. Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama berkuliah hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr.rer.nat Eko Minarto dan Ibu Iim Fatima, M.Si selaku Dosen penguji.
6. Saudara penulis, Wildan Alfarizi Rif'an yang selalu menghibur penulis.

7. Rahma Fitri Puspitasari yang selalu memberi semangat kepada penulis.
8. Sahabat-sahabat tercinta, Putu, Fabet, Dewa, Anis, Akmal, Raheer dan Semua anggota B.E.G.A.L.
9. Teman-teman satu angkatan Fisika 2012, terutama teman-teman seperjuangan Meliana, Rina, Haqqi, Adi, Habib, Gita, dan lainnya.
10. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	vi
COVER PAGE.....	viii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	viv
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gempa Bumi	5
2.2 Gelombang Seismik	6
2.2.1 Gelombang Badan atau <i>Body Wave</i>	6
2.2.2 Gelombang Permukaan atau <i>Surface Wave</i>	8
2.3 Mekanisme Fokus	9
2.3.1 Sesar Bumi (<i>Earth Faults</i>)	10
2.3.2 Geometri Sesar	13
2.4 Momen Tensor.....	14
2.5 <i>Magnitude</i> Gempa Bumi	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Data Penelitian.....	19
3.2 Lokasi Penelitian	19
3.3 Diagram Alir	20
3.4 Konversi Waveform dalam Format SAC	21
3.5 Pengolahan Data dalam ISOLA-GUI	21

3.5.1	Import Data SAC	22
3.5.2	Model Bumi (<i>Define Crustal Model</i>)	24
3.5.3	Informasi Event Gempa	24
3.5.4	Pemilihan Stasiun	25
3.5.5	<i>Raw Data Preparation</i>	26
3.5.6	<i>Seismic Source Definition</i>	27
3.5.7	Komputasi Fungsi <i>Green</i>	27
3.5.8	Inversi	29
3.5.9	Plot Hasil	30
3.6	Ploting	30
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Analisis Data	32
4.2	Hasil Pengolahan	32
4.3	Kurva Korelasi Perhitungan dan Data Observasi	35
4.4	Pola Bidang Sesar Berdasarkan Gempa Bumi Amerika Serikat	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN 1		45
LAMPIRAN 2		49
BIODATA PENULIS		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema penggambaran <i>Elastic Rebound Theory</i>	6
Gambar 2.2 Ilustrasi gelombang P	7
Gambar 2.3 Ilustrasi gelombang S	8
Gambar 2.4 Ilustrasi gelombang rayleigh	9
Gambar 2.5 Ilustrasi gelombang love	9
Gambar 2.6 Struktur patahan atau sesar secara umum.....	10
Gambar 2.7 Sesar Naik	11
Gambar 2.8 Sesar turun (<i>normal fault</i>).....	11
Gambar 2.9 Sesar mendatar (<i>strike slip fault</i>)	12
Gambar 2.10 <i>Oblique fault</i>	12
Gambar 2.11 Diagram <i>beach ball</i>	13
Gambar 2.12 Geometri patahan atau sesar.....	14
Gambar 2.13 Sistem pasangan gaya merepresentasikan komponen dari momen tensor cartesian.....	16
Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian di Fukushima dan Ibaraki	19
Gambar 3.2 Diagram alir pengolahan data.....	20
Gambar 3.3 Konversi data ke SAC dengan Command Prompt	21
Gambar 3.4 Program ISOLA-GUI	22
Gambar 3.5 Menu SAC Import	23
Gambar 3.6 Auto SAC Import	23
Gambar 3.7 Informasi <i>Event</i> Gempa.....	25
Gambar 3.8 Pemilihan Stasiun Gempa yang Digunakan	26

Gambar 3.9 Proses koreksi data tiap stasiun dan penyetaraan waktu awal gempa.....	26
Gambar 3.10 Definisi sumber tunggal.....	27
Gambar 3.11 Menu fungsi <i>Green</i> pada ISOLA.....	28
Gambar 3.12 Proses perhitungan fungsi <i>Green</i> pada <i>command prompt</i>	28
Gambar 3.13 Tahapan inversi pada ISOLA.....	29
Gambar 3.14 <i>Fitting</i> kurva data waveform dengan data sintetik	30
Gambar 3.15 Hasil dari plot korelasi dan kedalaman	30
Gambar 3.16 Hasil dari plot korelasi dan kedalaman.....	30
Gambar 3.17 Hasil dari Momen Tensor	30
Gambar 4.1 Kurva korelasi data <i>observed</i> dan <i>synthetic</i> untuk <i>event</i> gempa pada B4.	34
Gambar 4.2 <i>Beachball</i> sebagai representasi pola bidang sesar untuk <i>event</i> gempa pada B4	38
Gambar 4.3 <i>Fault Plane</i> pada <i>event</i> gempa pada B4.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Model kecepatan bumi Amerika Serikat.....	24
Tabel 4.1 Data Gempa di California, Idaho dan Montana pada periode Januari 2017 hingga Maret 2017	33
Tabel 4.2 Nilai rentan momen tensor pada setiap <i>event</i> gempa	34
Tabel 4.3 Nilai <i>Strike</i> , <i>Dip</i> , dan <i>Rake</i> pada setiap bidang patahan masing-masing <i>event</i>	34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Amerika memiliki luas wilayah 9.826.675 km². Secara astronomis, letak kawasan Amerika Serikat terletak pada garis 24°33' LU – 70°23' LU dan antara 172°27' BT – 66°51' BB. Sedangkan secara geografis, daratan utama Amerika Serikat memiliki batas-batas bagian utara berbatasan dengan Kanada, selatan berbatasan dengan Teluk Meksiko dan Meksiko. Sebelah timur berbatasan dengan Samudra Atlantik dan sebelah barat berbatasan dengan Samudra Pasifik.

Inti struktur geologis Amerika Utara terdiri dari batuan-batuan Prekambrium pada Perisai Laurent (Perisai Canada) yang hampir seluruhnya terletak di wilayah Canada, kecuali beberapa bagian di Utara Wisconsin dan Minnesota, termasuk Peg. Adirondack. Perisai ini, yang sebagian besar terdiri dari batuan-batuan metamorf, merentang ke selatan dan ke barat di bawah prairie (padang rumput yang luas) Canada dan di bawah dataran rendah pedalaman Amerika Serikat. Disini terdapat dua zona pegunungan besar, yakni Peg. Appalachia di sebelah timur dan Peg. Cordillera Amerika Utara di bagian barat. Pegunungan Cordillera merupakan sabuk yang rumit dengan lebar 1.600 km yang terdiri dari tiga bagian, yakni Peg. *Rocky Mountains* di sebelah timur, Jajaran Pasifik di sebelah barat, dan suatu zona plato yang terdiri dari Plato Columbia, Cekungan besar, dan Plato Colorado yang terletak diantara barisan pegunungan tersebut.

Pemahaman tentang karakteristik sesar yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi sangat diperlukan untuk memperkirakan atau mengetahui karakter gempa bumi tersebut. Salah satu cara untuk memahami karakter gempa adalah dengan mengestimasi momen tensor gempa bumi. Gempa bumi sebagai efek yang ditimbulkan oleh gelombang seismik ini direkam pada stasiun dengan menggunakan seismometer tiga komponen. Seismometer tiga komponen adalah seismometer yang memiliki tiga buah

sensor. Sensor pertama merekam gelombang seismik pada komponen vertikal (*up down*, UD), sensor kedua dan ketiga merekam gelombang seismik pada komponen utara-selatan (*north-south*, NS), dan komponen timur barat (*east-west*, EW).

Pemodelan momen tensor gempa bumi digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi yang digambarkan dengan *beach ball* dan berdasarkan pada fungsi *Green* tiga komponen. Dengan menggunakan inversi momen tensor, proses sumber gempa secara detail dapat ditentukan melalui pengamatan data. Hasil analisis ini berupa parameter-parameter gempa bumi yang meliputi, skala, kedalaman, dan energy gempa bumi, serta model patahan penyebab gempa bumi.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana mendapatkan model bumi di Amerika
2. Bagaimana mendapatkan solusi momen tensor dan *focal mechanism* dari gempa bumi di Amerika dalam selang waktu Desember 2016 hingga Desember 2017 menggunakan program ISOLA.
3. Bagaimana cara menentukan bidang patahan, serta *displacement* dari sesar.

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 5 - 10 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. Untuk mendapatkan bidang patahan pada gempa di Amerika dalam selang waktu Desember 2016 hingga September 2017.
2. Untuk mendapatkan tampilan *focal mechanism* pada gempa di Amerika dalam selang waktu Desember 2016 hingga September 2017.
3. Untuk mendapatkan solusi momen tensor dari gempa di Amerika dalam selang waktu Desember 2016 hingga September 2017.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pola bidang sesar dan mekanisme fokus gempa bumi di wilayah Amerika Serikat (California, Idaho dan Montana), serta dapat digunakan sebagai referensi dalam upaya penanggulangan bencana di wilayah tersebut.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I Pendahuluan, berisi tentang latar belakang penulisan Tugas Akhir, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka, berisi tentang teori dasar yang melandasi penelitian serta menjadi referensi penulisan Tugas Akhir tersebut.

BAB III Metode Penelitian, berisi tentang metode yang dilakukan dalam penelitian Tugas Akhir.

BAB IV Analisa Data dan Pembahasan, berisi tentang analisa data dan pembahasan hasil pengolahan data.

BAB V Kesimpulan dan Saran, berisi tentang kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut serta saran untuk penelitian selanjutnya.

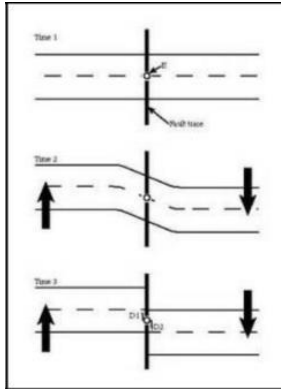
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Sejarah berkembangnya studi mengenai fenomena gempa bumi dimulai pada ke 18 dimana gempa dihubungkan dengan getaran tanah oleh gelombang elastis yang menjalar melalui kerak bumi pada sebuah fokus (Udias et al., 2014). Perubahan pada kerak bumi oleh adanya gempa seringkali menghasilkan dislokasi dan retakan. Penyebab gempa kemudian mulai dipahami saat terjadi adanya pelepasan energi yang terakumulasi di kerak bumi. Teori yang menjelaskan terjadinya gempa bumi dikenal dengan nama *elastic rebound theory* yang diusulkan oleh Reid (1911). Teori ini menjelaskan bagaimana energi menyebar saat gempa bumi terjadi. Ditinjau dari model sederhana oleh sebuah blok batuan (Gambar 2.1), pada awalnya telah terdapat patahan pada batuan tersebut dan tidak ada aktivitas seismik yang terjadi. Kemudian proses akumulasi *stress* terjadi secara kontinu dan lambat disekitar patahan utama. Seiring dengan pergerakan lempeng tektonik yang bergerak beberapa cm per tahun, akan menghasilkan deformasi *pre*-seismik pada batuan disekitar patahan sehingga menstimulasi peningkatan *stress* di sekitar patahan.

Pada model ideal Gambar 2.1 (c), kedua sisi patahan mengalami *slip* yang uniform sampai tidak ada *stress* yang tersisa pada patahan. Walaupun pada kenyataannya ketika gempa, terjadi periode pergeseran *post*-seismik yang lambat. Seluruh proses tersebut berulang kembali pada akhir suatu gempa dengan akumulasi deformasi dekat permukaan yang lambat dan terus menerus mengalami pergeseran pada kedalaman tertentu. Pengulangan yang tak berhingga atas pembebanan lambat dan pelepasan *stress* yang cepat pada

zona patahan merupakan proses yang berulang yang dinamakan siklus gempa atau *earthquake cycle*.



Gambar 2.1 Skema penggambaran *Elastic Rebound Theory*

2.2 Gelombang Seismik

Geombang 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 penimbunan 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 penimbunan gelombang seismik yang muncul secara alamiah, salah satu contohnya ialah gempa.

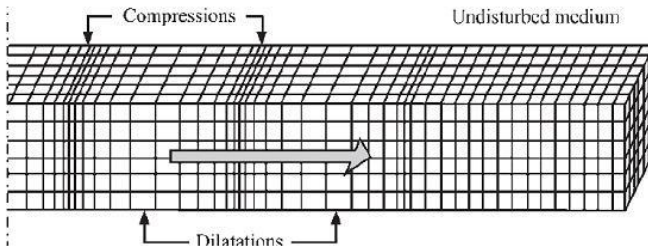
Perambatan gelombang seismik itu sendiri dibedakan menjadi dua jenis, yaitu gelombang seismik yang merambat melalui interior bumi yang disebut dengan *body wave*, dan ada juga yang merambat melalui permukaan yang disebut *surface wave*.

2.2.1 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 penjarannya, 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.



Gambar 2.2 Ilustrasi gelombang P

Kecepatan gelombang P dapat dituliskan melalui persamaan sebagai berikut.

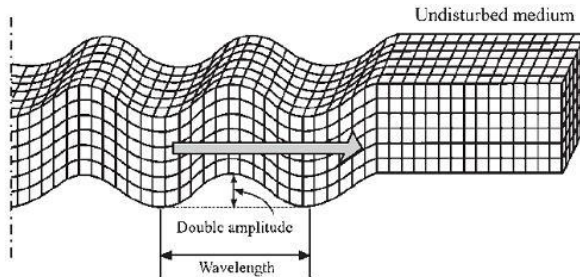
$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan, λ = konstanta *lame*

μ = rigiditas

ρ = densitas

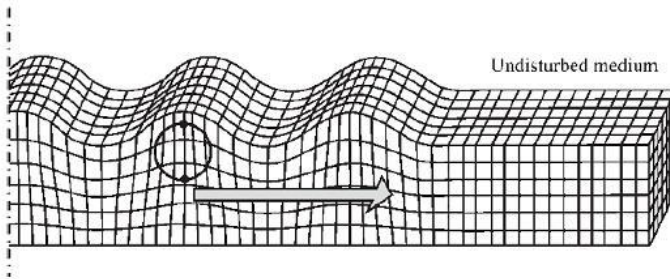
Gelombang S disebut juga dengan gelombang *shear* atau gelombang geser atau bisa disebut juga dengan gelombang transversal. Gelombang ini hanya dapat merambat pada medium padat saja, dan tegak lurus terhadap arah rambatnya seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi gelombang S

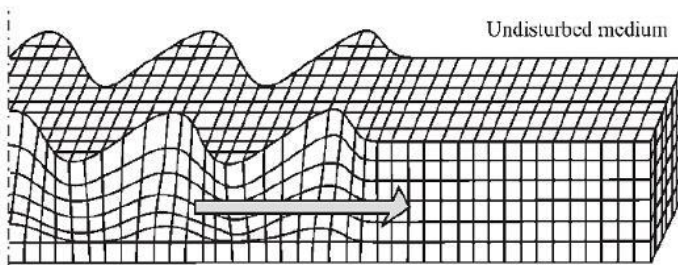
2.2.2 Gelombang Permukaan atau *Surface Wave*
 Gelombang permukaan merupakan gelombang yang berada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar. Gelombang 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 gerakannya 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 ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Ilustrasi gelombang rayleigh

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



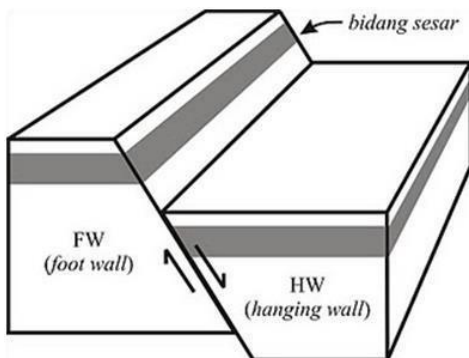
Gambar 2.5 Ilustrasi gelombang love

2.3 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.

2.3.1 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*.

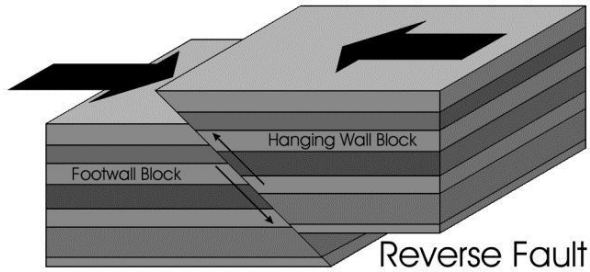


Gambar 2.6 Struktur patahan atau sesar secara umum

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.

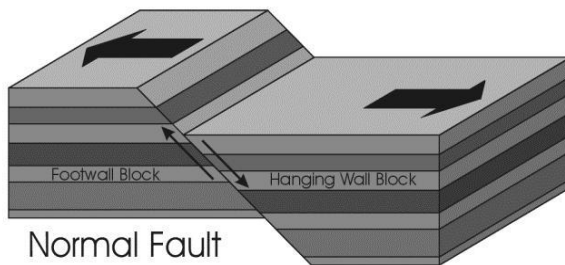
Berikut ini jenis-jenis sesar.

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



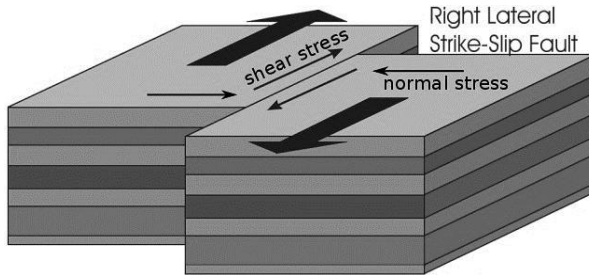
Gambar 2.7 Sesar Naik

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



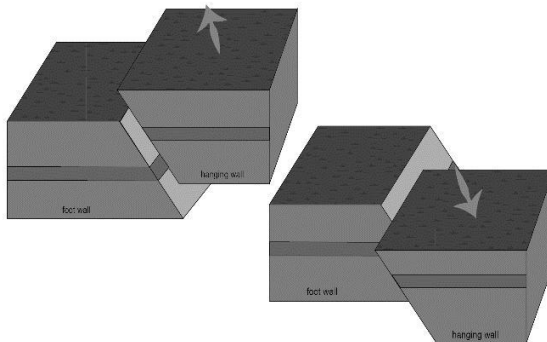
Gambar 2.8 Sesar turun (*normal fault*)

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



Gambar 2.9 Sesar mendatar (*strike slip fault*)

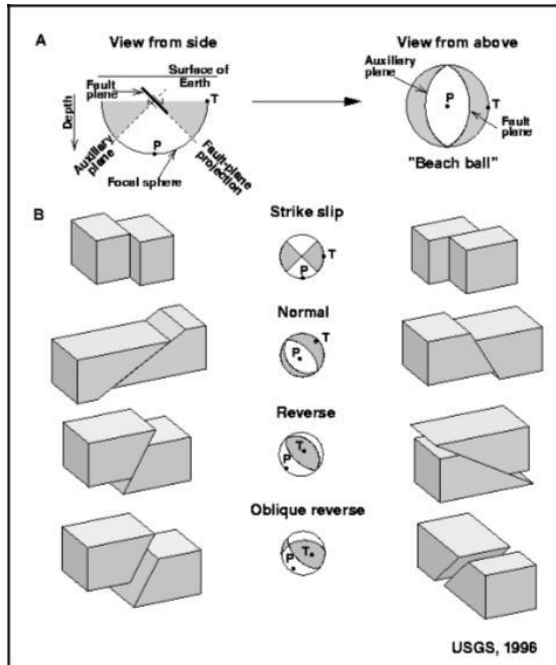
- d. Kombinasi antara sesar mendatar dengan sesar naik atau yang sering disebut dengan *oblique fault*.



Gambar 2.10 *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 2.11 Diagram *beach ball*

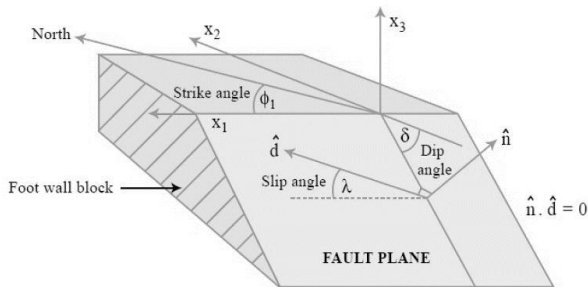
2.3.2 Geometri Sesar

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 2.12 Geometri patahan atau sesar

2.4 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 pada Persamaan 2.7.

$$U_i(t) = \int_{-\infty}^t G_{ij}(t-t') \dot{m}_{j0}(t') dt' \dots\dots\dots(2.7)$$

maka komponen rekaman seismik dari sebuah titik sumber dapat dituliskan secara matematis seperti pada Persamaan 2.8.

$$U_i(t) = \sum_{k=1}^6 G_{ki}(t) f_k(t) \dots\dots\dots(2.8)$$

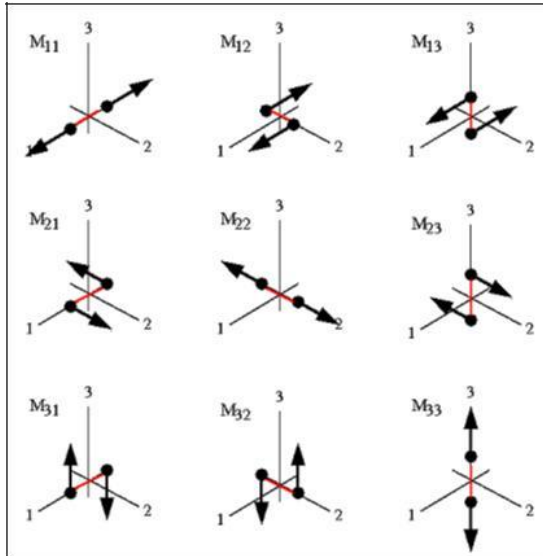
- dengan, U_k = rekaman pergeseran pada komponen ke- i
- x = posisi receiver
- x_s = posisi sumber gempa
- G_{ki} = fungsi *Green*
- $f_i(t)$ = 6 komponen dasar momen tensor

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 tensor yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.13 Sistem pasangan gaya merepresentasikan komponen dari momen tensor *cartesian*.

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.

$$\begin{bmatrix}
 M_{11} & M_{12} & M_{13} \\
 M_{21} & M_{22} & M_{23} \\
 M_{31} & M_{32} & M_{33}
 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix}
 M_{11} & M_{12} & M_{13} \\
 M_{12} & M_{22} & M_{23} \\
 M_{13} & M_{23} & M_{33}
 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

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.

$$\begin{aligned}
 11 &= \sigma_0 (\sin^2 \delta \cos^2 \lambda + \cos^2 \delta \sin^2 \lambda) \\
 12 &= \sigma_0 (\sin \delta \cos \delta \cos 2\lambda) \\
 22 &= \sigma_0 (\sin^2 \delta \sin^2 \lambda + \cos^2 \delta \cos^2 \lambda) \\
 33 &= \sigma_0 (\sin^2 \delta + \cos^2 \delta) \\
 13 &= \sigma_0 (\sin \delta \cos \delta \sin 2\lambda) \\
 23 &= \sigma_0 (\sin \delta \cos \delta \sin 2\lambda)
 \end{aligned}$$

dengan M_0 merupakan parameter momen seismik untuk mengukur kekuatan gempa bumi. M_0 dapat dituliskan secara matematis dengan Persamaan 2.10.

$$M_0 = \int_V \sigma_{ij} \epsilon_{ij} dV \quad (2.10)$$

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

2.5 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*).

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_0) 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*.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan adalah data *event* gempa yang terjadi di Amerika Serikat dalam selang waktu antara Desember 2016 hingga September 2017 dengan minimum nilai *magnitude* sebesar 5 SR. Data tersebut didapatkan dari ds.iris.edu.

Berdasarkan selang waktu serta besarnya *magnitude* gempa yang telah ditentukan tersebut, didapatkan sejumlah *event* gempa sebanyak 6 *event*. Data gempa berupa data dengan format .SEED.

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

3.2 Lokasi Penelitian

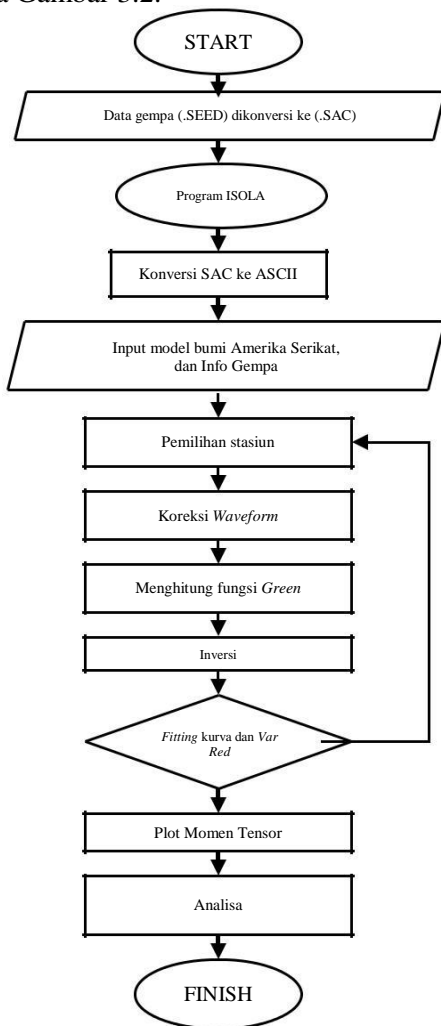
Lokasi gempa yang hendak diteliti ialah di area Amerika Serikat. Daerah tersebut meliputi California, Idaho dan Montana seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.



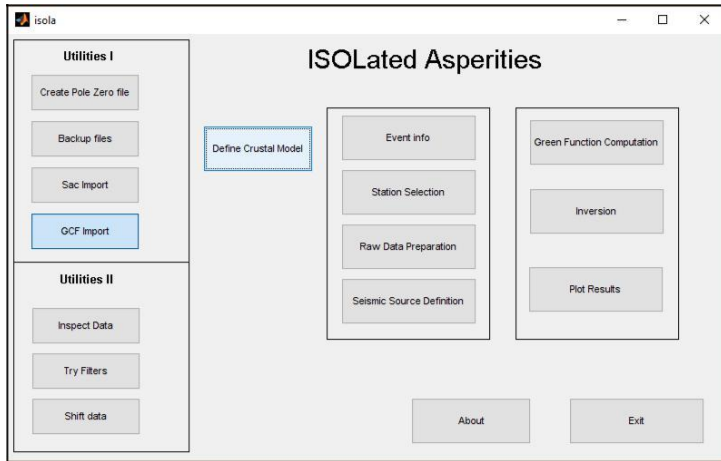
Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian di Amerika Serikat

3.3 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan berdasarkan mekanisme diagram alir seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir pengolahan data

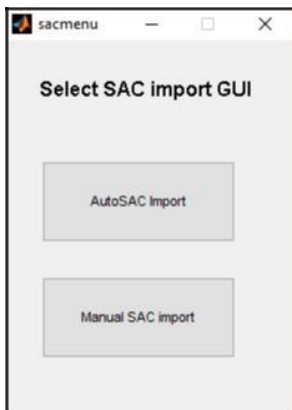


Gambar 3.4 Program ISOLA-GUI

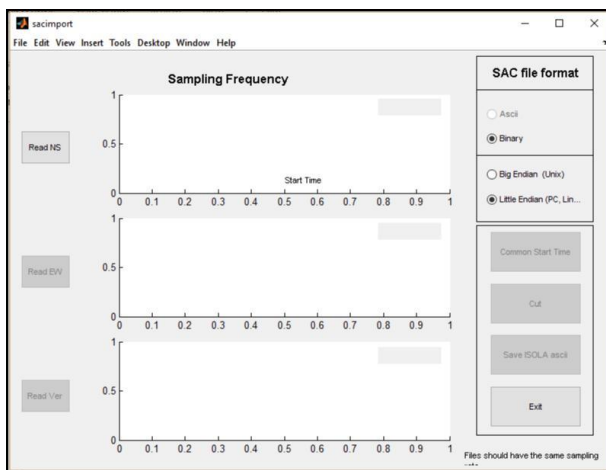
Kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan program ISOLA-GUI sebagai berikut.

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 3.4, untuk mengimport file SAC maka digunakan menu *SAC Import*. Selanjutnya akan muncul kotak dialog seperti yang terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Menu SAC Import



Gambar 3.6 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 terdapat pada Matlab 2009a berupa struktur kecepatan horizontal multi-layer.

Tabel 3.1 Model kecepatan bumi Matlab r2009a

Depth (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Rho (km/m ³)	Qp	Qs
0.	3.5	1.9	2.4	300	150
0.5	5.47	2.7	2.8	300	150
2.0	5.5	2.86	2.8	300	150
5.0	6.0	3.23	2.9	300	150
10.0	6.2	3.24	2.9	300	150
15.0	6.48	3.40	3.0	300	150
20.0	6.7	3.80	3.0	300	150
30.0	6.75	3.81	3.1	300	150
40.0	8.0	4.66	3.3	1000	500
999					

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 a software window titled 'eventinfo' with several sections for entering event data:

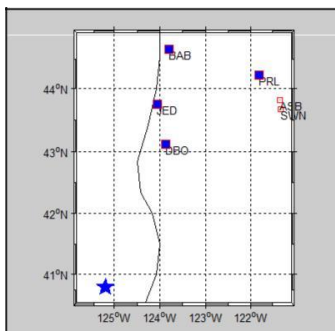
- Event Info:**
 - Lat (Deg,Min): 38.00, 50.00
 - Lat (Decimal Degrees): 40.78
 - Depth (km): 26.54
 - Lon (Deg,Min): 21.00, 50.00
 - Lon (Decimal Degrees): -125.18
- Event Origin Time:**
 - Hour: 0
 - Min: 2
 - Seconds: 40
- Comments:**
 - Magnitude: 5.1
 - Date: 20170729
 - Location agency: IRIS
- Data start time:**
 - Hour: 0
 - Min: 2
 - Seconds: 0
- Data Options:**
 - Time Length (sec): A list box containing 245.76, 327.68 (highlighted), 409.6, 819.2, and 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.

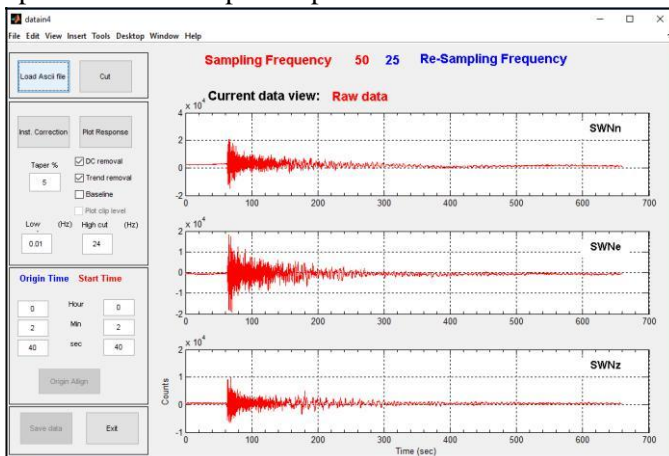


Gambar 3.8 Pemilihan stasiun gempa yang digunakan

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*.

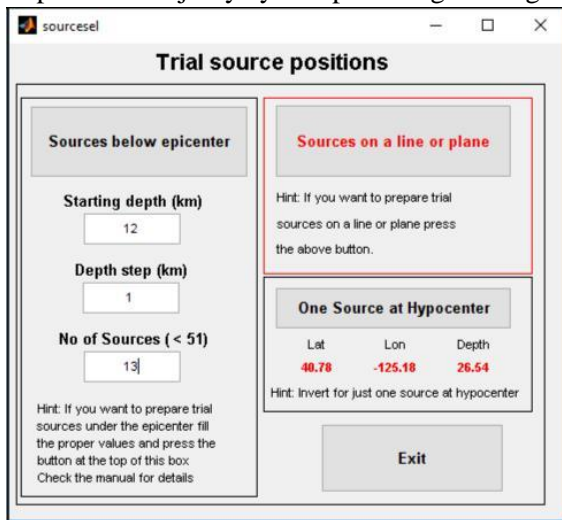


Gambar 3.9 Proses koreksi data tiap stasiun dan penyetaraan waktu awal gempa

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*.

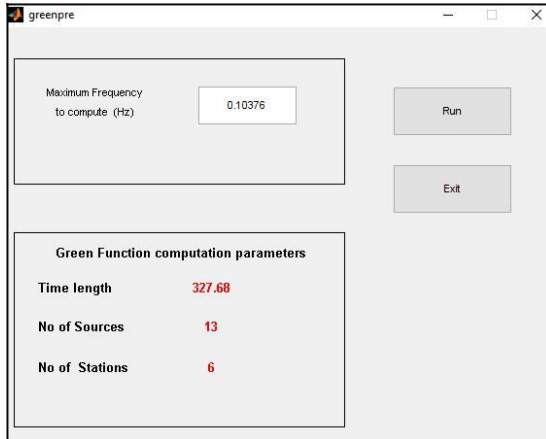


Gambar 3.10 Definisi sumber tunggal

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 3.11 dan Gambar 3.12.



Gambar 3.11 Menu fungsi *Green* pada ISOLA

```

C:\WINDOWS\SYSTEM32\cmd.exe
1 file(s) copied.
F:\SOFTWARE\isola\green>eIemse.exe
Stop - Program terminated.
F:\SOFTWARE\isola\green>copy eIemse.dat eIemse22.dat
1 file(s) copied.
F:\SOFTWARE\isola\green>copy gr23.hes gr.hes
1 file(s) copied.
F:\SOFTWARE\isola\green>copy gr23.heg gr.heg
1 file(s) copied.
F:\SOFTWARE\isola\green>eIemse.exe
Stop - Program terminated.
F:\SOFTWARE\isola\green>copy eIemse.dat eIemse23.dat
1 file(s) copied.
F:\SOFTWARE\isola\green>del gr.hes
F:\SOFTWARE\isola\green>del gr.hes
F:\SOFTWARE\isola\green>del eIemse.dat
F:\SOFTWARE\isola\green>rem *****
F:\SOFTWARE\isola\green>rem *****
F:\SOFTWARE\isola\green>rem Finished with green function calculation
F:\SOFTWARE\isola\green>rem you can go on with file copy....
F:\SOFTWARE\isola\green>

```

Gambar 3.12 Proses perhitungan fungsi *Green* pada *command prompt*

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 1,00.

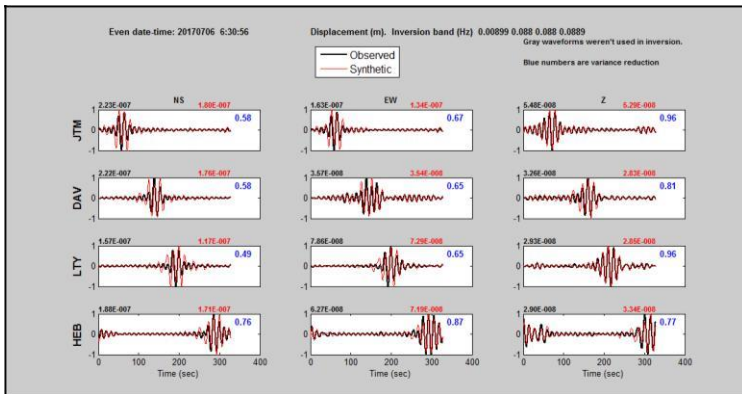
The screenshot shows the 'Invert' window of the ISOLA software. It is divided into several sections:

- Info:** Time Length: 327.68; No of Sources: 13; No of Stations: 6; Min Time shifts (sec): -100; Max Time shifts (sec): 100.
- Filter (Hz):** filter (f1,f2,f3,f4); flat band-pass between f2, f3; cosine tapered between f1, f2 and between f3, f4. Parameters: f1: 0.091, f2: 0.091, f3: 0.092, f4: 0.092.
- Type of Inversion:** Full MT (selected), Deviatoric MT, DC constrained, Fixed mechanism. Parameters: Strike: 0, Dip: 0, Rate: 0.
- (dt) Time Search (sec):** Start: -100, End: 4, Time Step: 0.2, Trial Time shifts: 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 13.
- Buttons:** Compute Weights, Reset Weights, Deselect Stations, Run, Exit.

Gambar 3.13 Tahapan inversi pada ISOLA

3.5.9 Plot Hasil

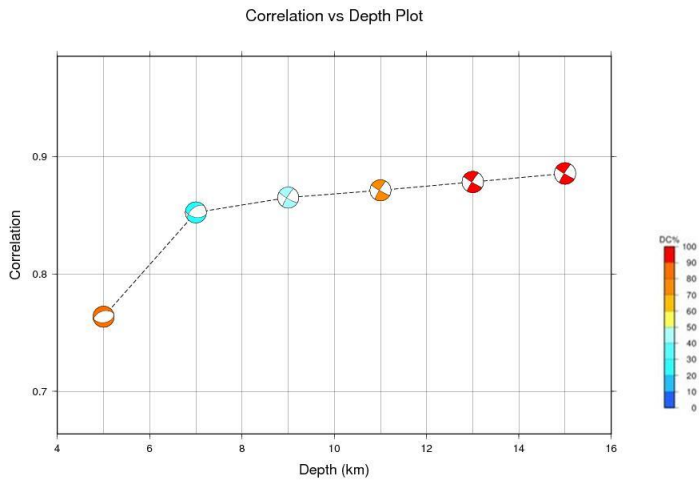
Tahapan terakhir dalam pengolahan data pada ISOLA-GUI adalah plot hasil pengolahan data. Dalam proses ini didapatkan kurva *displacement waveform* dengan kurva sintetik serta solusi momen tensor yang didapatkan termasuk hasil *focal mechanism* berupa *beachball* yang menggambarkan arah gerak patahan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



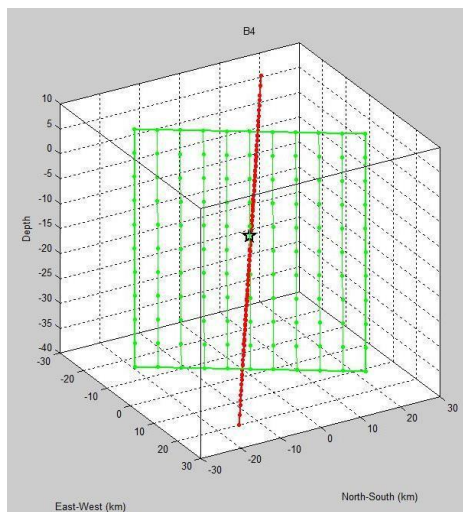
Gambar 3.14 Fitting kurva data waveform dengan data sintetik

3.6 Plotting

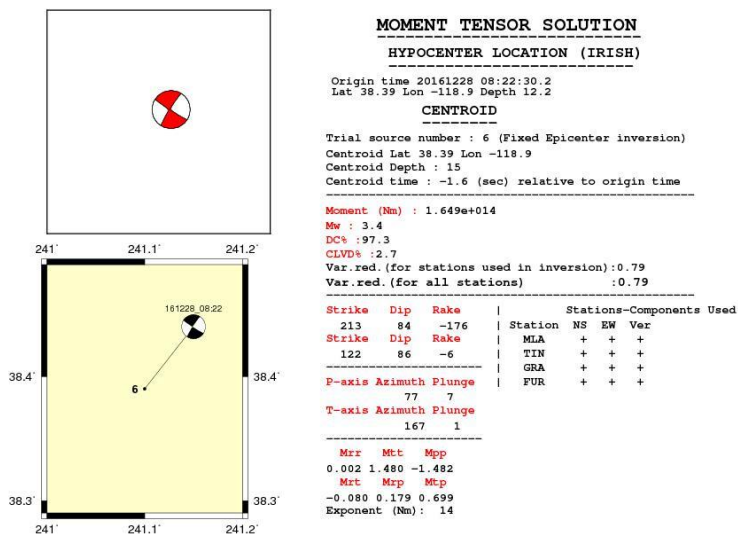
Plotting digunakan untuk mengetahui hasil dari inversi dalam bentuk plot Momen Tensor, Plot Kolerasi, serta HC-Plot. Berikut adalah hasil plot dari pengambilan data B4.



Gambar 3.15 Hasil dari plot korelasi dan kedalaman



Gambar 3.16 Hasil dari plot korelasi dan kedalaman



Gambar 3.17 Hasil dari Momen Tensor

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Telah dilakukan penelitian tentang analisis mekanisme fokus yang terjadi pada gempa di wilayah California, Idaho dan Montana Amerika Serikat. Gempa-gempa tersebut berkekuatan ≥ 5 SR. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *event* yang terjadi di wilayah-wilayah tersebut dalam selang waktu Desember 2016 hingga September 2017 sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Gempa di California, Idaho dan Montana pada periode Desember 2016 hingga Desember 2017

	Waktu	Daerah	MagLat.	Lon.	Dep. (km)
B2	29/07/2017 00:02	Pantai California	5.08	40.78°	-125.18° 26.54
B3	28/12/2016 09:13	Perbatasan California dan Nevada	5.5	38.38°	-118.90° 8.8
B4	28/12/2016 08:22		5.6	38.39°	-118.90° 12.2
B5	28/12/2016 08:18		5.7	38.38°	-118.90° 11.3
B8	02/09/2017 23:56	Idaho	5.4	42.64°	-111.42° 9.63
B10	06/07/2017 06:30	Montana	5.8	46.88°	-112.58° 12.18

4.2 Hasil Pengolahan

Setelah dilakukan pengolahan data gelombang seismik tiga komponen pada ISOLA-GUI akan diperoleh nilai berupa momen tensor untuk gempa di wilayah California, Idaho dan Montana Amerika Serikat, yakni sebagai berikut.

Tabel 4.2 Nilai Rentan Momen Tensor pada Setiap *Event* Gempa.

Event	M_{rr}	M_{tt}	M_{pp}	M_{rt}	M_{rp}	M_{tp}	e
B2	-1.137	1.003	0.134	0.597	1.480	0.015	13
B3	-0.789	1.353	-0.564	0.144	-0.019	0.538	14
B4	0.002	1.480	-1.482	0.080	0.179	0.699	14
B5	0.879	-1.870	0.99	0.368	-0.208	-0.393	14
B8	0.765	-0.151	-0.614	1.804	3.500	-3.152	13
B10	-4.376	1.534	2.841	-0.982	0.696	0.849	14

Pada setiap *event* gempa yang terjadi, tercatat momen tensor (M) dengan satuan Nm ini mempunyai nilai yang berbeda-beda namun tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Dimana besar nilai momen seismik tersebut merupakan hasil aktivitas dari area patahan atau pertengahan antara dua lempeng yang mengalami slip. Sehingga, hal ini menunjukkan adanya gaya yang dibutuhkan untuk meneruskan gelombang seismik setelah terjadi gempa. Dan 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. Pada kedua bidang tersebut terdapat nilai *strike*, *dip* dan *rake*. Dalam tabel berikut disajikan besar dari ketiga karakteristik kedua bidang

Tabel 4.3 Nilai *Strike*, *Dip*, *Rake* pada Setiap Bidang Patahan Masing-masing *Event*.

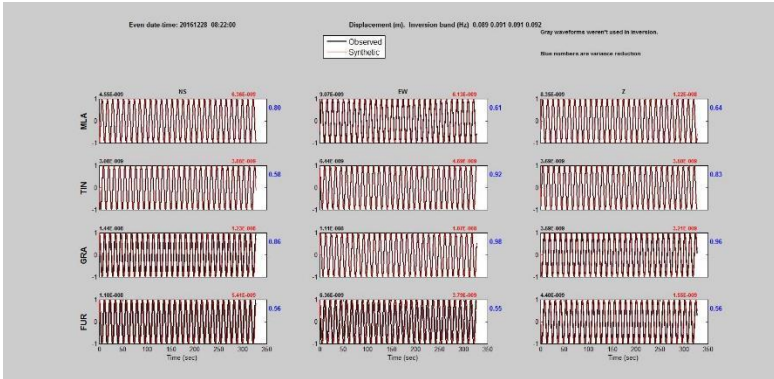
Event	Bidang 1			Bidang 2		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
B2	218	75	-107	88	22	-42
B3	51	47	-125	277	53	-58
B4	214	89	2	124	88	179
B5	119	70	146	222	59	24

B8	272	35	169	11	84	56
B10	37	45	-73	194	48	-106

Nilai pada kolom *strike* merupakan nilai sudut yang dibentuk oleh bidang patahan dengan permukaan horisontal, yakni *strike* dapat membuat sudut dari 0° hingga 360° . Selanjutnya adalah *dip* merupakan sudut yang dibentuk antara patahan dengan bidang horisontal. Sedangkan *rake* yang menunjukkan nilai sudut pergerakan bidang terhadap kondisi *strike*. *Strike*, *dip* dan *rake* merupakan representasi dari arah pergerakan slip. Berdasarkan tabel 4.2, *event* gempa pertama yaitu yang terjadi pada B2 dapat diketahui nilai *strike* 218° . Dari posisi bidang *hanging wall* yang sejajar permukaan horisontal, kemudian bergerak menuju sudut 218° . *Dip* yang bernilai 75° berarti *hanging wall* bergerak menuju garis miring sebesar 75° . Nilai *rake* sebesar -107° yang menunjukkan arah dari dinding atas yang bergerak ke bawah dan mengindikasikan terjadi gerakan normal pada patahan. 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. Hal ini juga berlaku pada *event* gempa yang lainnya.

4.3 Kurva Korelasi Perhitungan dan Data Observasi

Hasil pengolahan data perhitungan Fungsi *Green* dan dilanjutkan inversi menghasilkan kurva korelasi dari perhitungan tersebut dengan data yang terekam pada saat observasi seismogram. Nilai antara garis kurva perhitungan dan observasi yang mendekati kesejajaran sangat diinginkan karena hal itu menunjukkan kepresisian saat dilakukan pengolahan data. Hasil kurva tersebut dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 4.1 Kurva korelasi data *observed* dan *synthetic* untuk *event* gempa pada B4.

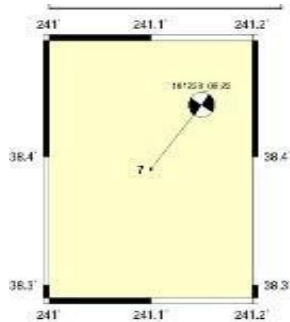
setelah dilakukan perhitungan Fungsi *Green*, kemudian dilanjutkan menuju tahap inversi. Pada tahap ini digunakan filter f_1 , f_2 , f_3 , f_4 untuk mendapatkan hasil kurva perhitungan yang mendekati hasil observasi seismogram (*real data*). Filter inversi berupa nilai frekuensi yang dikorelasikan pada magnituda *event* gempa. Pada kurva di atas merupakan hasil korelasi *event* gempa yang terjadi pada B4 dan *magnitude* sebesar 5.6 SR. Filter pada inversi digunakan nilai f_1 sebesar 0.00899, f_2 sebesar 0.091, f_3 sebesar 0.091 dan f_4 sebesar 0.092. Hasil dari tahap inversi pada data tersebut didapatkan nilai reduksi varian (*variance reduction*) dengan angka yang berwarna biru. Pada stasiun MLA didapatkan nilai *variance reduction* pada komponen N sebesar 0.80, komponen E sebesar 0.61 dan komponen Z sebesar 0.64. Pada stasiun TIN nilai *variance reduction* komponen N sebesar 0.58, komponen E sebesar 0.92 dan komponen Z sebesar 0.83. Pada stasiun GRA nilai *variance reduction* komponen N sebesar 0.86, komponen E sebesar 0.98 dan komponen Z sebesar 0.96. Terakhir stasiun FUR nilai pada komponen N sebesar 0.56, komponen E sebesar 0.55 dan komponen Z sebesar 0.56. Hasil nilai *variance reduction* yang berbeda-beda tersebut bergantung pada saat tahap *filtering* dan juga pada tahap Fungsi *Green*. *Variance reduction* ini

mengakibatkan ketepatan korelasi antara garis kurva hitam (kurva *real data*) dan garis kurva merah (kurva perhitungan) (Sokos 2008). Pada kurva ini, nilai *variance reduction* yang mendekati 1.00 menunjukkan bahwa *fitting* yang dilakukan mendekati presisi, dan ketika hasilnya mendekati 0 maka ketidak-presisiannya juga besar.

Pada setiap *event* gempa Amerika yang diolah, tidak semua stasiun pada tiap komponennya mempunyai nilai *variance reduction* yang mendekati 1, beberapa stasiun tercatat mempunyai nilai *variance reduction* yang minus. Menurut Stein & Wysession 2003 peristiwa seperti ini dapat terjadi karena adanya sifat keelastikan dari medium lapisan yang dilalui oleh gelombang seismik. Ketika dalam *real data* nilai gelombang seismik yang menjalar dapat secara langsung direkam oleh seismogram. Namun pada tahap pengolahan, hal itu bergantung pada peran Fungsi *Green*. Fungsi *Green* mengeluarkan bentuk sinyal baru dari data input yang dianggap seolah-olah sinyal tersebut adalah sinyal gelombang seismik yang sama dengan *real data*. Berdasarkan perhitungan Fungsi *Green* adalah nilai gelombang seismik tersebut dibandingkan dengan gelombang yang terekam pada seismogram. Sehingga hal itu menyebabkan beberapa nilai *variance reduction* berbeda-beda secara signifikan salah satunya terdapat nilai minus.

4.4 Pola Bidang Sesar berdasarkan Gempa Bumi Amerika Serikat



Berdasarkan data-data hasil pengolahan dengan representasi berupa kurva korelasi dan nilai besarnya momen tensor tiap *event* gempa, maka dapat diketahui bentuk pola bidang sesar yang terjadi pada wilayah Amerika Serikat. Pola bidang disajikan pada gambar berikut,




Gambar 4.2 *Beachball* sebagai representasi pola bidang sesar untuk *event* gempa pada B4.

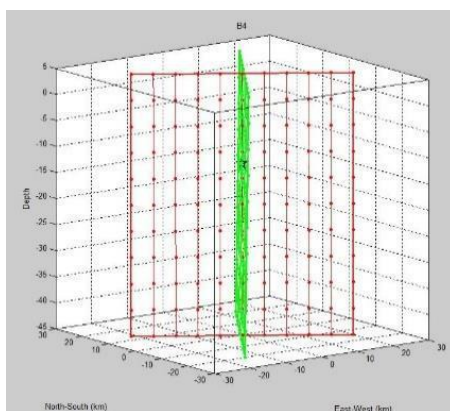
pola bidang sesar pada gambar 4.2 merupakan hasil pengolahan dari *event* gempa yang terjadi pada B4. Hiposenter dari gempa mempunyai atribut *latitude* 38.39, *longitude* -118.9 dan kedalaman 12.2 Km. Episenter gempa yang tercatat beratribut kedalaman 15 Km dan *latitude longitude* sama dengan hiposenter. Pola sesar yang terlihat direpresentasikan dengan bentuk *beachball*. Pola *beachball* menunjukkan bahwa patahan yang terjadi adalah *Strike slip fault*. Patahan tersebut ditandai dengan adanya 1/2 bidang putih pada muka *beachball* dan pada tinjauan lempeng terdapat pergerakan bidang *hanging wall* dan *footwall* yang saling menjauhi secara horisontal maupun secara vertikal (Jordan & Cornell 2003 OpenSHA). Berikut adalah tabel untuk hasil *beachball* dari semua *event*.

Tabel 4.4 *beachball* dan interpretasi sesar

Event	<i>beachball</i>	Jenis Sesar
B2		Normal
B3		<i>Strike-slip</i>

B4		<i>Strike-slip</i>
B5		<i>Strike-slip</i>
B8		<i>Reverse</i>
B10		<i>Reverse</i>

Setelah didapatkan *beachball* didapatkan pula korelasi *Fault Plane* seperti pada berikut adalah plot dari 2 bidang patahan pada B4.



Gambar 4.3 *Fault Plane* pada event gempa pada B4

Bidang merah merupakan orientasi bidang patahan sumber gempa yang direpresentasikan dengan simbol bintang tepat berada pada bidang merah selain itu *auxiliary plane* pada bidang hijau. Hal itu dikarenakan nilai bidang pertama yaitu 2.21 Km dan bidang kedua 2.22 Km, serta jarak antara hiposenter dan *centroid* sebesar 7.8 Km.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Besar momen skalar untuk masing-masing komponen dari 6 *event* gempa di California, Idaho dan Montana adalah pada tahun 2016-2017 diperoleh hasil sebagai berikut ini.

Event	M_{rr}	M_{tt}	M_{pp}	M_{rt}	M_{rp}	M_{tp}	e
B2	-1.137	1.003	0.134	0.597	1.480	0.015	13
B3	-0.789	1.353	-0.564	0.144	-0.019	0.538	14
B4	0.002	1.480	-1.482	0.080	0.179	0.699	14
B5	0.879	-1.870	0.99	0.368	-0.208	-0.393	14
B8	0.765	-0.151	-0.614	1.804	3.500	-3.152	13
B10	-4.376	1.534	2.841	-0.982	0.696	0.849	14

2. Pola bidang sesar gempa yang terjadi di wilayah California, Idaho dan Montana Amerika Serikat adalah dominasi sesar turun (*normal fault*), sesar *reverse* dan sesar *strike slip*.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan dari penulis dalam penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penentuan momen tensor dan pola bidang sesar dari mekanisme fokus terutama dalam hal proses perhitungan Fungsi *Green*, inversi dan proses *filtering*. Sehingga didapatkan hasil yang lebih bagus dalam *fitting* kurva *displacement* dan mendapatkan hasil solusi *variiasi Reduction* lebih bagus.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Dahm, T. & Kruger, F., 2014. Moment Tensor Inversion and Moment Tensor Interpretation. *IS 3.9*, p. 33.

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.

S, D. M., 2014. Jurnal Sains dan Seni POMITS. *Estimasi Moment Tensor, Pola Bidang Sesar, dan Mekanisme Fokus Gempa Tohoku-Oki Jepang pada Tahun 2011 dengan Memanfaatkan Inversi Waveform Tiga Komponen Menggunakan Program ISOLA*, p. 6.

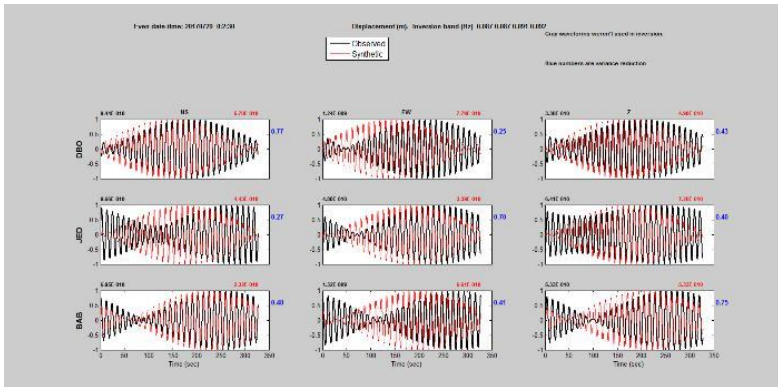
Setyowidodo, I., 2009. ITS Surabaya. *Analisis Seismogram Tiga Komponen terhadap Momen Tensor Gempa Bumi di Manokwari*, pp. 1-15.

Wifayanti, E. J., 2014. Jurnal Sains dan Seni POMITS. *Estimasi Pola Bidang Sesar dan Moment Tensor Gempa Bumi Jepang pada*

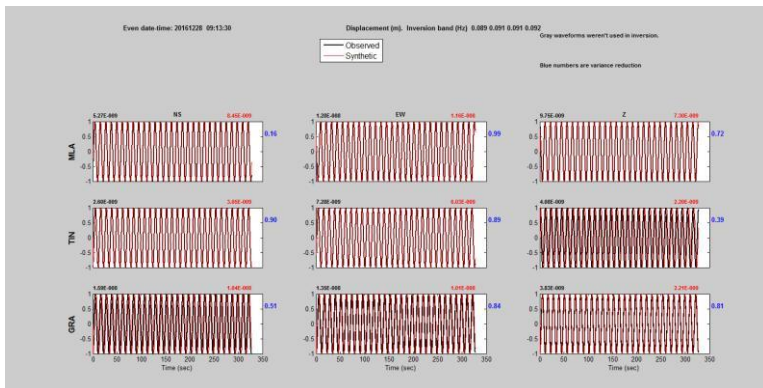
*Tahun 2003 Menggunakan Analisis Inversi Waveform 3
Komponen, Volume 3, pp. 1-6.*

LAMPIRAN 1

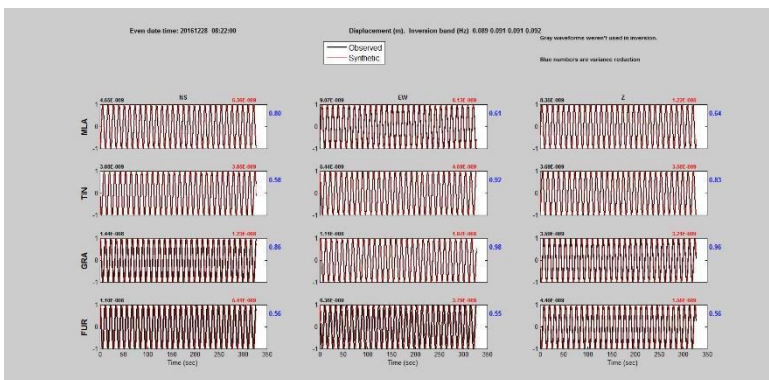
KURVA KORELASI DATA OBSERVASI SEISMOGRAM DAN PERHITUNGAN FUNGSI GREEN



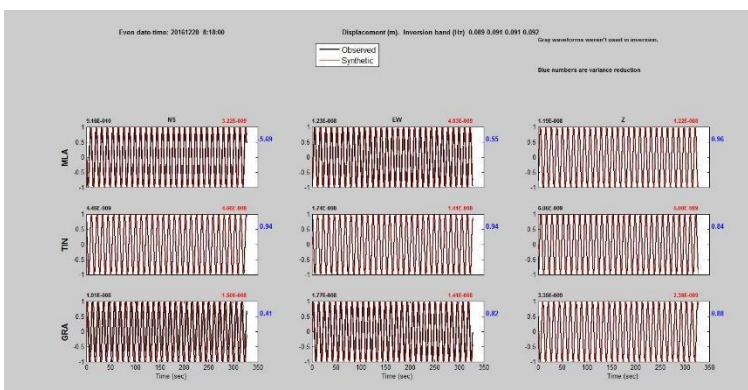
Gambar 1 Kurva Event B2 pada origin time 29/07/2017 00.02



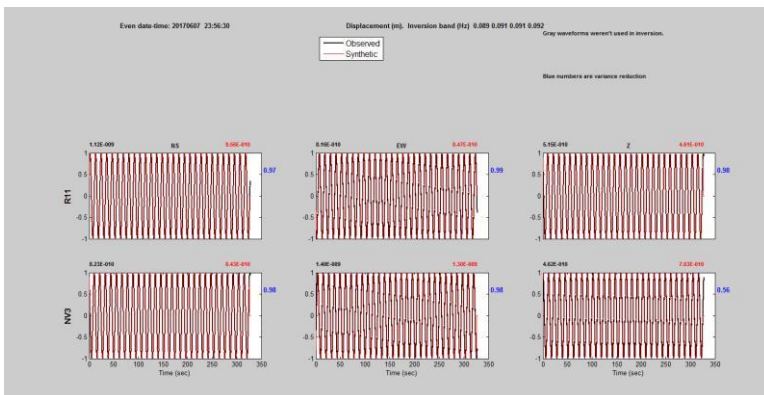
Gambar 2 Kurva Event B3 pada origin time 28/12/2016 09.13



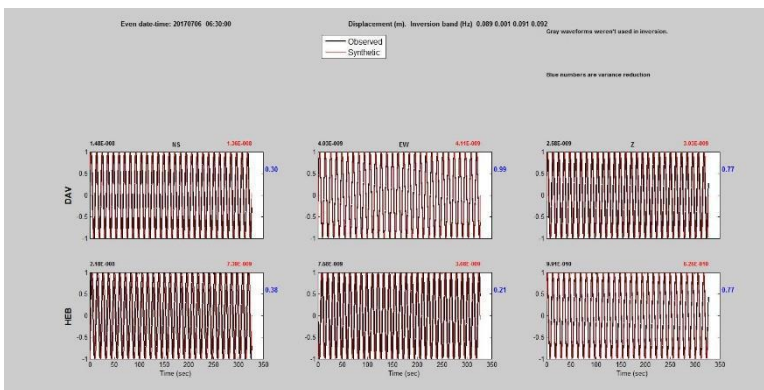
Gambar 3 Kurva Event B4 pada origin time 28/12/2016 08.22



Gambar 4 Kurva Event B5 pada origin time 28/12/2016 08.18



Gambar 5 Kurva Event B8 pada origin time 02/09/2017 23.56

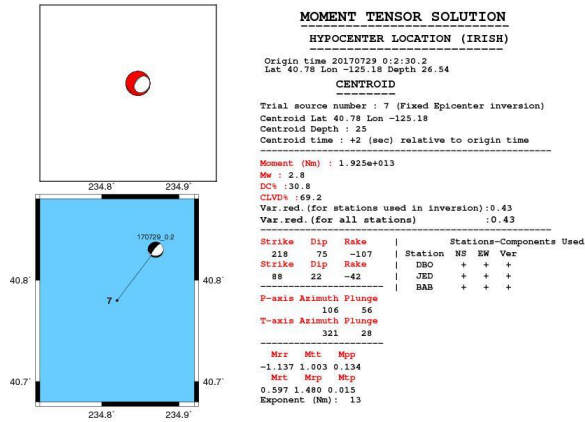


Gambar 6 Kurva Event B10 pada origin time 06/07/2017 06.30

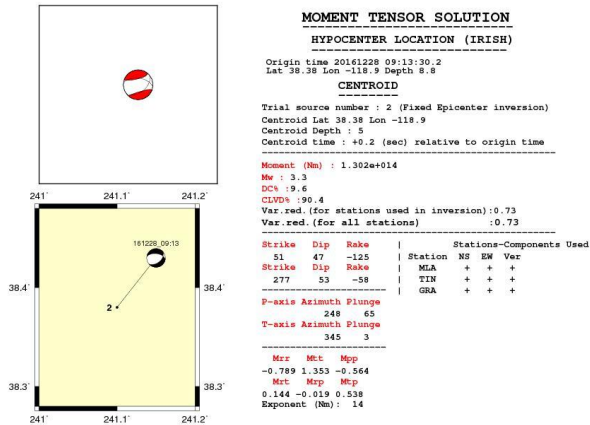
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2

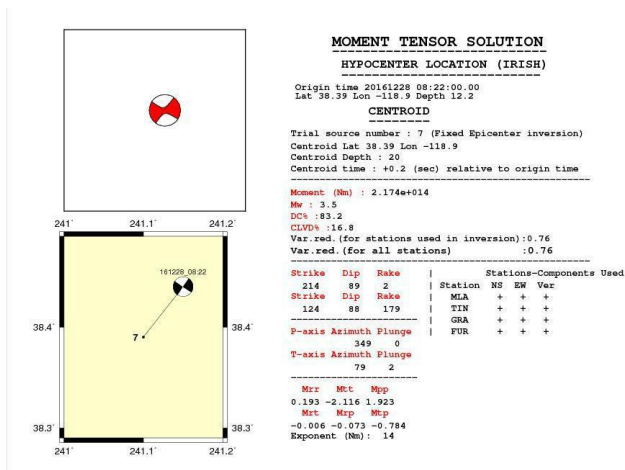
HASIL PLOT MOMEN TENSOR



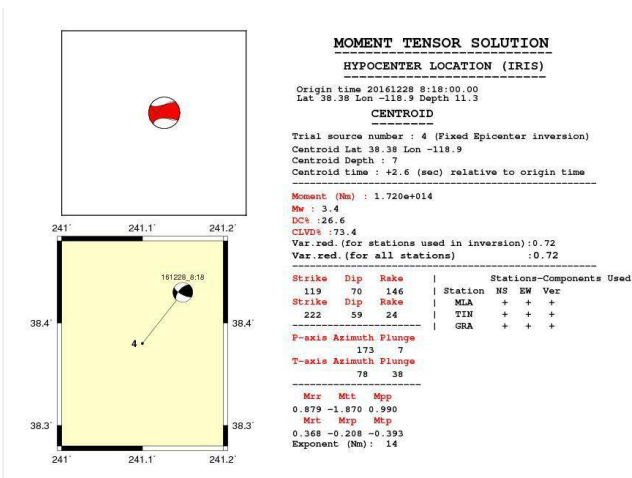
Gambar 7 Momen Tensor B2 pada origin time 29/07/2017 00.02



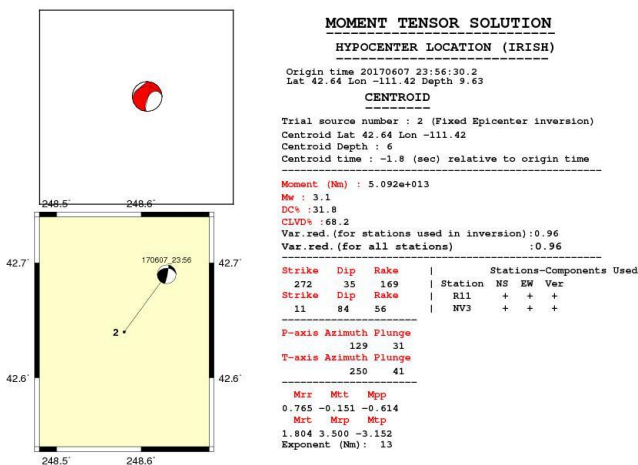
Gambar 8 Momen Tensor B3 pada origin time 28/12/2016 09.13



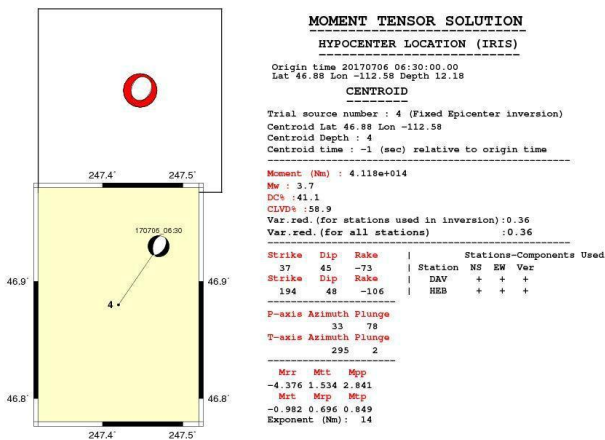
Gambar 9 Momen Tensor B4 pada origin time 28/12/2016 08.22



Gambar 10 Momen Tensor B5 pada origin time 28/12/2016 08.18



Gambar 11 Momen Tensor B8 pada origin time 02/09/2017 23.56



Gambar 12 Momen Tensor B10 pada origin time 06/07/2017 06.30

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Fathul Alamsyah Mubarak, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis berasal dari Mojokerto, Kecamatan Bangsal, Desa Bangsal yang lahir di Mojokerto, 3 Februari 1995 dari pasangan H. Saiful Anwar, M. Pdi dan Siti Masluchah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di antaranya SDN 1 Bangsal Mojokerto tahun 2001 – 2007, SMPN

1 Mojokerto tahun 2007 – 2010, kemudian SMAN 1 Puri Mojokerto tahun 2010 – 2012, dan diterima di Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) pada tahun 2012 melalui jalur Snmptn. Penulis saat SMA mengikuti beberapa ekstra kulikuler Sie Kerohanian Islam dan Pecinta Alam, karena penulis memiliki keyakinan Agama dan Alam selalu berhubungan. Selama menjadi mahasiswa Fisika ITS, penulis aktif berorganisasi dan berhasil menjabat selama tiga kali periode kepengurusan di BEM FMIPA ITS di bagian Tim Kreatif Gempa yang memiliki Acara Tingkat Nasional di setiap tahunnya. Selain itu Penulis juga pernah Kerja Praktek di Pertamina EP 5 di Balikpapan dalam bidang Interpretasi Seismik.