



TUGAS AKHIR – SF 141501

**PENENTUAN MEKANISME FOKUS GEMPA VULKANIK
MENGUNAKAN WAKTU TIBA GELOMBANG-P PADA
JANUARI-JUNI 2014 (STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI,
DIY)**

**Aditya Yosita Rahadini
NRP. 1113 100 018**

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

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR – SF 141501

**PENENTUAN MEKANISME FOKUS GEMPA VULKANIK
MENGUNAKAN WAKTU TIBA GELOMBANG-P PADA
JANUARI-JUNI 2014 (STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI,
DIY)**

**Aditya Yosita Rahadini
NRP. 1113 100 018**

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

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT – SF 141501

**ESTIMATE FOCAL MECHANISM OF VULCANIC
EARTHQUAKES USING ARRIVAL TIMES OF P
WAVEFORM IN JANUARY-JUNE 2014 (STUDY
CASE: MERAPI MOUNT, DIY)**

**Aditya Yosita Rahadini
NRP. 1113 100 018**

**Supervisor
Prof. Dr. rer.nat .Bagus Jaya Santosa, S.U
Sulistiyani, S.Si**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

**PENENTUAN MEKANISME FOKUSGEMPA VULKANIK
MENGUNAKAN WAKTU TIBA GELOMBANG-P PADA
JANUARI-JUNI 2014 (STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI,
DIY)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Program S-1
Pada
Bidang Studi Fisika Bumi
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Aditya Yosita Rahadini
NRP. 1113 100 018

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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



2. Sulistiyani, S.Si(.....)



**PENENTUAN MEKANISME FOKUS GEMPA VULKANIK
MENGUNAKAN WAKTU TIBA GELOMBANG-P PADA
JANUARI-JUNI 2014 (STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI,
DIY)**

Penulis : Aditya Yosita Rahadini
NRP : 1113100018
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Dosen Pembimbing: Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa,S.U
Sulistiyani, S.Si

Abstrak

Indonesia memiliki 129 gunung api aktif yang masih sering terjadi erupsi akibat tumbukan antar lempeng. Salah satu gunung api aktif tersebut berada di pulau Jawa, yaitu Gunung Merapi di Daerah Istimewa Yogyakarta. Gunung Merapi termasuk gunung api yang sering terjadi letusan. Aktivitas gunung api memberi pengaruh pada lingkungan sekitar gunung api, sehingga diperlukan penelitian untuk mengetahui perubahan yang terjadi, salah satunya penelitian tentang mekanisme fokus. Penelitian ini membutuhkan data seismik pada stasiun perekam dan akan mengetahui jenis dan karakteristik dari gempa vulkanik yang terjadi. Selain itu juga menghasilkan parameter gempa bumi berupa *strike*, *dip*, *rake* dan diagram bola (*beachball*) menggunakan software SEISAN. Penelitian ini ditemukan 8 *event* yang merupakan gempa vulkanik dengan 5 *event* yang merupakan vulkanik tipe A dan menghasilkan sesar naik. 3 *event* yang merupakan vulkanik tipe B dan menghasilkan sesar turun. Serta menghasilkan jenis sesar yang berbeda sebelum dan setelah terjadinya erupsi.

Kata kunci: *Beachball*, Gelombang Seismik, Gempa Vulkanik, Mekanisme fokus, SEISAN

**ESTIMATE FOCAL MECHANISM OF VULCANIC
EARTHQUAKES USING ARRIVAL TIMES OF P
WAVEFORM IN JANUARY-JUNE 2014 (STUDY CASE:
MERAPI MOUNT, DIY)**

Name : Aditya Yosita Rahadini
NRP : 1113100018
Departement : Fisika FMIPA ITS
Supervisor : Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa,S.U
Sulistiyani, S.Si

Abstract

Indonesia has 129 active volcanoes that still often occur eruptions due to collisions between the plates. One of the active volcanoes is located on the island of Java, namely Mount Merapi in Yogyakarta Special Region. Mount Merapi includes a volcano that often occurs eruption. Volcanic activity has an influence on the environment around the volcano, so research is needed to know the changes that occur, one of his research on the mechanism of focus. This study requires seismic data on the recorder station and will know the type and characteristics of the volcanic earthquake that occurred. It also produces earthquake parameters of strike, dip, rake and ball diagram (beachball) using SEISAN software. This study found 8 events which is a volcanic earthquake with 5 events which is a type A volcanic and produce a rising fault. 3 event which is volcanic type B and produce down fault. And produce different types of faults before and after the eruption.

Keywords: Beachball, Seismic Waveform, Vulcanic Earthquakes, Focal Mechanism, SEISAN

“halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“PENENTUAN MEKANISME FOKUS GEMPA VULKANIK MENGGUNAKAN WAKTU TIBA GELOMBANG-P PADA JANUARI-JUNI 2014 (STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI, DIY)”**.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh sebab itu penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr.rer.nat Bagus Jaya Santosa S.U, sebagai dosen pembimbing tugas akhir. Terimakasih atas kesempatan, bantuan dan dukungan yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Sulistiyani, S.Si, sebagai pembimbing luar biasa yang telah memberikan banyak wawasan baru terutama tentang gunung Merapi. Terimakasih atas kesempatan, bimbingan dan dukungan hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Dr. Sungkono, M.Si dan Heru Sukanto, M.Si sebagai penguji tugas akhir yang telah memberikan pemahaman serta kritik dan saran terkait penelitian yang dilakukan penulis.
4. Bapak Agus Purwanto, D.Sc sebagai dosen wali penulis yang telah memberikan saran dan dukungan kepada penulis.
5. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M. Eng, sebagai Ketua Program Studi Fisika ITS yang telah memberi izin melaksanakan tugas akhir
6. Bapak Ir. I Gusti Made Agung Nandaka, DEA, sebagai Kepala Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) yang telah memberi izin untuk melaksanakan tugas akhir di kantor BPPTKG.
7. Bapak Supardiono dan Ibu Sri Wahyuni Rahmawati selaku orang tua dan Yoza Ammita Elwana dan Fitriantje

- Ayulandari selaku saudara. Terimakasih telah memberi doa, bantuan dan sebagai penyemangat luar biasa untuk penulis.
8. Anisah Rahmaniah dan Deviana Ambarsari sebagai teman seperjuangan dalam pengambilan data tugas akhir. Terimakasih atas semangat dan bantuan dalam menyelesaikan tugas akhir.
 9. Wildatun Islamiyah, Rayhan Syauqiya, Aulia'ur Rohman, Shona Arum, Meindy Fortunawati, Devi Nurulfa dan keluarga besar supernova 2013 yang telah membantu dan menjadi penyemangat bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
 10. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak untuk perbaikan kedepannya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER	ii
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gunung Merapi.....	5
2.2 Gelombang Seismik	7
2.2.1 Gelombang Primer (P).....	7
2.2.2 Gelombang Sekunder (S)	8
2.3 Regangan (Strain).....	8
2.4 Tegangan (<i>Stress</i>).....	12
2.5 Hiposenter dan Episenter.....	13
2.6 Gempa Vulkanik.....	14
2.7 Mekanisme Fokus.....	16
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Data dan Peralatan.....	21
3.1.1 Data	21
3.1.2 Peralatan	21
3.2 Tahapan Penelitian	22
3.3.1 Identifikasi Masalah	23
3.3.2 Pengumpulan Data	23

3.3.3	Pengolahan data.....	23
3.3.4	Analisa Hasil Pengolahan Data	26
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Analisa Data	29
4.2	Hasil Pengolahan Data	31
4.2.1	Hiposenter	31
4.2.2	Magnitudo	33
4.2.3	Mekanisme fokus	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....		45
LAMPIRAN		49
Biodata Penulis.....		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sebaran gunung api di Indonesia	1
Gambar 2.1 Gunung Merapi tahun 2015	5
Gambar 2.2 (a) Rekahan baru yang terbentuk setelah kejadian gempa bumi tektonik dan erupsi yang terjadi pada tanggal 18 November 2013 berdasarkan data terraSar-X. (b) Gambar rekahan berdasarkan data terraSAR-X dengan RGB band dan diagram rose yang menunjukkan arah strike garis rekahan	6
Gambar 2.3 Arah perambatan gelombang P.....	8
Gambar 2.4 Arah perambatan gelombang S.....	8
Gambar 2.5 Perubahan bentuk dan posisi suatu bujursangkar yang disebabkan oleh regangan.....	10
Gambar 2.6 Vektor torka yang bekerja pada bidang	12
Gambar 2.7 Penjalaran gelombang P dan gelombang S.....	13
Gambar 2.8 Mekanisme gempa vulkanik	14
Gambar 2.9 Bentuk gelombang tipe-tipe Gunung Merapi hasil rekaman stasiun Deles (DEL).....	16
Gambar 2.10 Pengukuran sudut strike dan dip.....	17
Gambar 2.11 Diagram <i>beachball</i>	18
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	22
Gambar 3.2 Diagram alir pengolahan data menggunakan <i>software</i> SEISAN.....	24
Gambar 4.1 Lokasi stasiun di Gunung Merapi.....	30
Gambar 4.2 Tampilan data seismik dalam proses <i>picking</i>	31
Gambar 4.3 Hasil plot hiposenter pada <i>event</i> Januari-Juni 2014	32
Gambar 4.4 Tampilan S-File pada <i>event</i> 20140324	33
Gambar 4.5 Solusi mekanisme fokus <i>event</i> 20140324.....	38
Gambar 4.6 Solusi mekanisme fokus <i>event</i> 20140405	39

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Lokasi stasiun.....	29
Tabel 4.2 Data event gempa vulkanik Januari-Juni 2014.....	30
Tabel 4.3 Data event erupsi Januari-Juni 2014	31
Tabel 4.4 Hasil perhitungan dan jenis gempa	34
Tabel 4.5 Nilai parameter solusi mekanisme fokus.....	37
Tabel 4.6 Jenis sesar tiap event	40

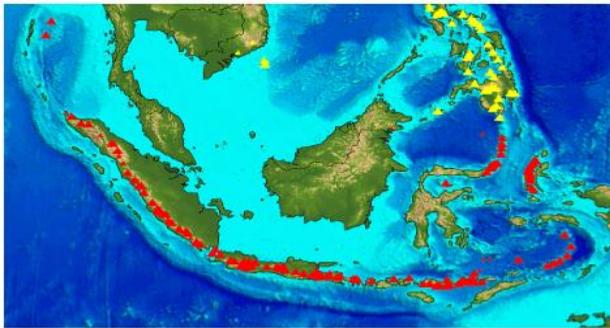
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data seimik event.....	49
Lampiran 2 Picking data seismik	53
Lampiran 3 Hasil diagram bola (<i>beachball</i>).....	56

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia secara geografi didominasi oleh gunung api yang terbentuk akibat zona subduksi antar lempeng. Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasific yang menyebabkan terbentuknya gunung api di Indonesia. Menurut Schieferdecker (1959), mendefinisikan gunung api (*volcano*) adalah “*a place at the surface of the earth where magmatic material from the depth erupts or has erupted in the past, usually forming a mountain, more or less conical in shape with a crater in the top*” (sebuah tempat di permukaan bumi dimana bahan magma dari dalam bumi keluar atau sudah keluar pada masa lampau, biasanya membentuk suatu gunung, kurang lebih berbentuk kerucut yang mempunyai kawah di bagian puncaknya).



▲ Sebaran Gunungapi

Gambar 1.1 Sebaran gunung api di Indonesia(Malik, n.d.)

Hingga tahun 2012, Indonesia memiliki 129 gunung api aktif (Gambar 1.1) yang masih sering terjadi erupsi dan sebanyak 271 titik erupsi yang merupakan interaksi dari tumbukan antar lempeng. Salah satu gunung api aktif tersebut berada di pulau

Jawa, yaitu Gunung Merapi di Daerah Istimewa Yogyakarta (Purnomo, 2014). Gunung Merapi termasuk gunung api yang sering terjadi letusan. Letusan-letusan kecil terjadi 2-3 tahun sekali sedangkan letusan yang lebih besar terjadi sekitar 10-15 tahun sekali (Sholihah, 2010).

Setiap letusan gunung api dimulai dengan gejala-gejala umum seperti aktivitas vulkanik, terjadinya deformasi, perubahan temperatur dan perubahan percepatan gaya berat di daerah gunung api. Aktivitas gunung api memberi pengaruh pada lingkungan sekitar gunung api, sehingga pemantauan aktivitas vulkanik sangat diperlukan. Saat ini metode pemantauan gunung api telah banyak digunakan di Gunung Merapi, kantor BPPTKG menggunakan banyak cara seperti pemantauan seismik, visual dan geokimia (Sholihah, 2010). Pemantauan data seismik dibagi menjadi dua, yaitu data seismik analog dan data seismik digital. Kedua data tersebut selalu dipantau secara kontinu di setiap titik pengamatan dan pada pusat pengamatan yaitu pusat pemrosesan data. Dari data tersebut dapat diketahui informasi tentang gejala aktivitas vulkanik di Gunung Merapi.

Pasca terjadinya erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada tahun 2014, penelitian tentang kegunung apian khususnya tentang mekanisme fokus masih minim, dengan penelitian tentang mekanisme fokus tersebut dapat mengetahui jenis dan karakteristik dari gempa vulkanik yang terjadi. Dari permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya, penulis ingin melakukan penelitian tentang mekanisme fokus dengan judul “Penentuan Mekanisme fokus Gempa Vulkanik Menggunakan Waktu Tiba Gelombang-P Pada Januari-Juni 2014 (Studi Kasus: Gunung Merapi, DIY)”.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui jenis mekanisme fokus pada erupsi yang terjadi di Gunung Merapi pada Januari-Juni 2014?

2. Bagaimana mengetahui karakteristik gempa vulkanik yang terjadi di Gunung Merapi pada Januari-Juni 2014?
3. Bagaimana mengetahui perbedaan mekanisme fokus sebelum dan setelah erupsi?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui jenis mekanisme fokus pada *event* yang terjadi di Gunung Merapi pada Januari-Juni 2014.
2. Mengetahui karakteristik gempa vulkanik yang terjadi di Gunung Merapi pada Januari-Juni 2014.
3. Mengetahui perbedaan mekanisme fokus sebelum dan setelah erupsi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Wilayah penelitian berada pada koordinat $7^{\circ}32.43'$ S dan $110^{\circ}26.81'$ E atau tepatnya di Gunung Merapi, DIY.
2. Datayang digunakan merupakan data seismik pada bulan Januari-Juni 2014 dengan stasiun pengamatan berada di Deles, Klatakan, Plawangan dan Pusunglondon
3. Penelitian dilakukan dengan pengamatan data seismik analog dan data seismik digital secara kontinu dengan mencari data seismik yang merupakan *event*.
4. *Event* yang dicari merupakan gempa vulkanik.
5. Pengolahan data seismik menggunakan *software* SEISAN.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan mekanisme fokus beserta parameter yang dapat digunakan untuk membantu pihak yang menangani bidang Merapi di kantor BPPTKG dan memberikan informasi sebagai bahan pertimbangan dan penelitian lebih lanjut dalam menentukan mekanisme fokus atau pola bidang patahan pada *event* yang terjadi di Gunung Merapi selama Januari-Juni 2014.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian tugas akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi tentang gambaran secara umum dari penelitian yang dilakukan. Bab I yang terdiri dari latar belakang yang berisi tentang landasan dasar dilakukannya penelitian yang menyertakan kekurangan dari penelitian sebelumnya, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat dari penelitian dan sistematika penulisan. Bab II, yang berisi tinjauan pustaka dan menguraikan teori umum yang mendasari masalah yang diteliti. Bab III, yang berisi tentang lokasi penelitian, data dan peralatan yang digunakan, dan tahapan penelitian. Bab IV yang terdiri dari analisa hasil pengolahan data serta pembahasan mengenai penelitian dan hasil pengolahan data. Bab V yang terdiri dari kesimpulan penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gunung Merapi

Gunung Merapi adalah gunung api di bagian tengah Pulau Jawa yang merupakan salah satu gunung api teraktif di Indonesia (Purnomo, 2014). Gunung ini berada pada koordinat $7^{\circ}32.43'$ S dan $110^{\circ}26.81'$ E yang terletak di kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta untuk sisi selatan, sedangkan sisanya berada di provinsi Jawa Tengah yaitu untuk sisi barat gunung Merapi berada di kabupaten Magelang, untuk sisi utara dan timur berada di kabupaten Boyolali dan untuk sisi tenggara berada kabupaten Klaten (Pratomo, 2006). Saat ini ketinggian puncak gunung 2.930 m dpl, per 2010 yang telah mengalami deformasi setelah meletus beberapa kali. Gunung Merapi memiliki rekahan yang semakin besar dan tidak lagi memiliki puncak (Gambar 2.1).

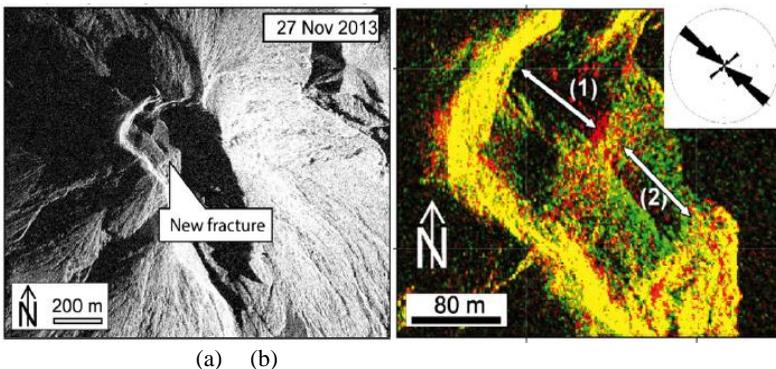


Gambar 2.1 Gunung Merapi tahun 2015 (BPPTKG, 2015)

Gunung Merapi merupakan gunung api muda yang mengarah ke selatan dari Gunung Ungaran. Berdasarkan tektoniknya, terletak di zona subduksi yang mana Lempeng Indo-Australia menujam dibawah lempeng Eurasia atau bergerak relatif

kearah utara sehingga menyebabkan aktivitas vulkanik disekitar Pulau Jawa (Purnomo, 2014).

Setelah erupsi besar tahun 2010, struktur morfologi puncak Merapi mengalami perubahan besar diantaranya hancurnya dinding Geger Boyo disebelah tenggara tubuh gunung yang dapat berfungsi sebagai penahan aliran lavadi puncak Gunung Merapi, selain itu terbentuknya rekahan di kubah Merapi. Kemudian sesaat setelah gempa bumi November 2013 yang bertepatan dengan musim hujan, terjadi erupsi Gunung Merapi sehingga menyebabkan terbentuknya rekahan baru (Gambar 2.2). Menurut data terraSAR-X seperti gambar arah strike dari rekahan di puncak Merapi mengarah ke barat laut-tenggara, sehingga sudut strike nya antara 90° - 180° dan 270° - 360° (Rauzam, 2015).



Gambar 2.2(a) Rekahan baru yang terbentuk setelah kejadian gempa bumi tektonik dan erupsi yang terjadi pada tanggal 18 November 2013 berdasarkan data terraSar-X. (b) Gambar rekahan berdasarkan data terraSar-X dengan RGB band dan diagram rose yang menunjukkan arah strike garis rekahan (Walter et al., 2014).

Gunung api dibagi menjadi empat fasies, yaitu fasies sentral, fasies proksimal, fasies medial dan fasies distal. Fasies adalah suatu ciri litologi dan paleontologi yang ditunjukkan oleh endapan pada suatu lokasi tertentu (Bronto, 2006). Gunung Merapi terdiri dari empat fasies, yaitu pada fasies sentral yang

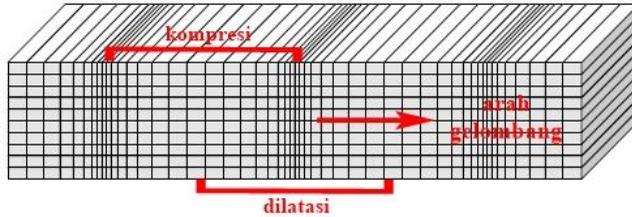
terletak di puncak gunung dengan ketinggian 2000-2848 m dari permukaan laut teridentifikasi penyusunnya terdiri dari batuan beku intrusi dangkal, kubah lava dan batuan ubahan hidrotermal. Fasies proksimal yang berada di lereng gunung bagian selatan dengan ketinggian 270-2000 m dari permukaan laut teridentifikasi pola aliran yang berkembang adalah *subparallel* yang airnya dipasok dari air tanah bebas dan merupakan daerah resapan air tanah (*recharge area*). Fasies Medial berada di lereng gunung sebelah selatan pusat dengan ketinggian antara 150-750 m dari permukaan laut teridentifikasi pola penyaluran *subdendritik* yang mengalir di atas satuan vulkanik Merapi muda dan pengangkutan material hasil erupsi melewati jalur sungai. Fasies Distal terletak di daratan gunung sebelah selatan pusat dengan ketinggian antara 50-250 m dari permukaan laut teridentifikasi pola penyaluran *subdendritik* yang mengalir di atas satuan vulkanik Merapi muda dan material vulkanik mengendap di sungai yang ada (Adam et al., n.d.).

2.2 Gelombang Seismik

Menurut Haris, gelombang seismik adalah gelombang elastis yang menjalar melalui medium bumi, dimana gelombang yang menjalar pada medium bumi mempunyai komponen impedansi (*Z*). Gelombang ini ditimbulkan karena adanya gangguan dari dalam bumi yang dapat menyebabkan pergerakan lempeng dan aktivitas gunung api (Pribadi, 2010).

2.2.1 Gelombang Primer (P)

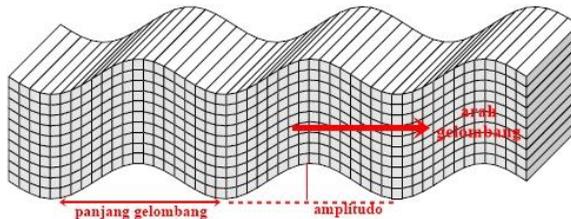
Gelombang primer disebut dengan gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain (6-7 km/detik) dan tiba pertama kali pada setiap stasiun (Pribadi, 2010). Arah pergerakan gelombang tipe ini searah dengan *displacement* nya atau searah dengan arah rambatnya yang dapat menjalar dalam segala medium (padat, cair dan gas) (Gambar 2.3) (Afnimar, 2009).



Gambar 2.3 Arah perambatan gelombang P (Shearer, 2009)

2.2.2 Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder adalah gelombang transversal yang merambat disela-sela batuan dengan kecepatan rambatnya 3,5 km/detik yang merupakan kecepatan rambat yang besar setelah gelombang P (Priyadi, 2010). Gerakan partikel ketika gelombang S melewati suatu medium akan tegak lurus terhadap arah rambat gelombangnya dan dapat menjalar melalui medium padat (Gambar 2.4). Karena banyaknya arah gerak partikel ini, para seismologi membedakan gelombang S dengan gelombang SV (*shear vertikal*) dan SH (*shear horizontal*) (Afnimar, 2009).



Gambar 2.4 Arah perambatan gelombang S (Shearer, 2009)

2.3 Regangan (Strain)

Sebuah gelombang mekanik yang merambat pada sebuah medium menyebabkan partikel pada medium tersebut berosilasi atau berpindah dari keadaan setimbangnya. Perpindahan tersebut disebut *displacement* dengan komponen dalam koordinat

Kartesius disimbolkan dengan u , v , w (Afnimar, 2009). Suatu ukuran lokal dari perubahan relatif merupakan regangan dalam medan *displacement* dan regangan lebih berhubungan pada deformasi atau perubahan bentuk dari perubahan posisi. Misalnya pada seutas tali dengan panjang 100 m yang salah satu ujungnya ditarik, sehingga panjangnya menjadi 101 m. Untuk medan *displacement* bervariasi dari 0 sampai 1 m, tetapi pada medan regangan disetiap titik pada tali konstan 0,01 (Shearer, 2009).

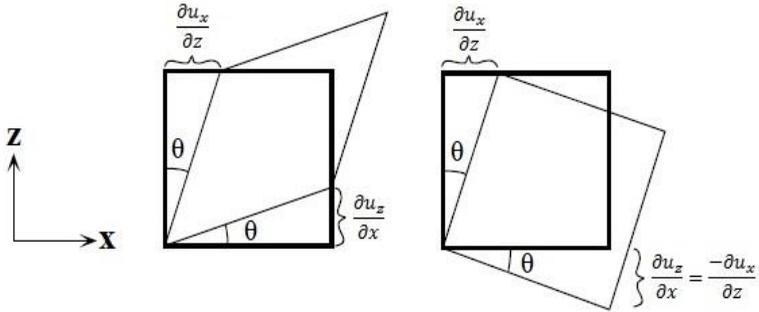
Dalam menganalisa regangan, dapat dilihat dari deformasi tipe tertentu. Jenis regangan ada dua, yaitu regangan positif disebut ekstensi dan regangan negatif disebut kontraksi (Afnimar, 2009). Suatu titik tertentu yang dikenai gelombang akan mengalami perubahan bentuk dan posisi (deformasi), dan ketika gelombang telah melewati titik tersebut maka bentuk akan kembali ke posisi setimbangnya. Batuan yang dilewati gelombang seismik tidak mengalami deformasi permanen, sehingga regangan yang diberi oleh gelombang sangat kecil, biasanya sebesar 10^{-6} (Shearer, 2009). Perubahan panjang suatu volume yang sangat kecil didefinisikan komponen regangan normal yang memiliki tiga buah komponen, karena regangan merupakan kuantitas yang tidak berdimensi. Tiga komponen tersebut adalah

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}; e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}; e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.1)$$

Terdapat jenis deformasi lain yaitu yang disebabkan oleh pergeseran pada Gambar 2.5 untuk sisi kiri menggambarkan pergeseran rotasi dan sisi kanan menggambarkan kombinasinya. Pada volume yang sangat kecil, deformasi angular ξ dan ζ dapat dirumuskan sebagai

$$\xi - \zeta = \frac{\partial w}{\partial x} \quad (2.2a)$$

$$\xi + \zeta = \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.2b)$$



Gambar 2.5 Perubahan bentuk dan posisi suatu bujursangkar yang disebabkan oleh regangan (Shearer, 2009)

Kemudian dengan menjumlahkan Persamaan (2.2a) dan (2.2b) diperoleh θ (Afnimar, 2009).

$$\xi = e_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) = e_{zx} \quad (2.3a)$$

$$e_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) = e_{yx} \quad (2.3b)$$

$$e_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) = e_{zy} \quad (2.3c)$$

Persamaan 2.3 menyatakan deformasi angular atau yang disebut regangan geser, regangan ini menghasilkan perubahan bentuk seperti pada Gambar 2.5 untuk sisi kiri. Sehingga tensor regangan dapat dinyatakan dari Persamaan (2.1) dan (2.3) seperti berikut

$$e_{ij} = \begin{pmatrix} e_{xx} & e_{xy} & e_{xz} \\ e_{yx} & e_{yy} & e_{yz} \\ e_{zx} & e_{zy} & e_{zz} \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Yang tidak lain merupakan tensor simetri dan pada Persamaan (2.1) dan (2.3) secara umum dinyatakan sebagai berikut (Aki and Richards, 2002).

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = \frac{1}{2} (\partial_i u_j + \partial_j u_i) \quad (2.5)$$

Dengan pengurangan Persamaan (2.2a) dan (2.2b) akan menghasilkan persamaan berikut:

$$\zeta = \theta_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) = -\theta_{zx} \quad (2.6a)$$

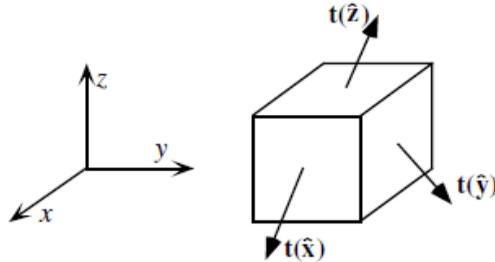
$$\theta_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) = -\theta_{yx} \quad (2.6b)$$

$$\theta_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right) = -\theta_{zy} \quad (2.6c)$$

Persamaan (2.6) berasosiasi dengan rotasi tanpa deformasi yang digambarkan pada Gambar 2.5 sisi kanan dan dengan catatan bahwa $\theta_{xx} = \theta_{yy} = \theta_{zz} = 0$ (Afnimar, 2009).

2.4 Tegangan (*Stress*)

Deformasi yang terjadi ketika dikenai gaya yang bekerja (Gambar 2.5). Torka (T) yang mendefinisikan sebagai gaya persatuan luas. Misalnya pada Gambar 2.6 berikut yang menunjukkan torka yang bekerja pada bidang yang tegak lurus terhadap sumbu x , bagian torka adalah $(\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{xz})$ dengan arah koordinat yang dipilih dan tegangan yang dimaksud melainkan adalah koordinat Kartesian tersebut (Shearer, 2009).



Gambar 2.6 Vektor torka yang bekerja pada bidang (Shearer, 2009)

Tensor tegangan dalam koordinat Kartesian merupakan torka yang bekerja bidang, yang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Tegangan yang paralel dengan sumbu j dan bekerja pada bidang yang tegak lurus terhadap sumbu i , dilambangkan dengan σ_{ij} . Tegangan normal berlaku ketika indeks yang sama ($i=j$) sedangkan tegangan geser berlaku ketika kedua indeks tidak sama (Afnimar, 2009).

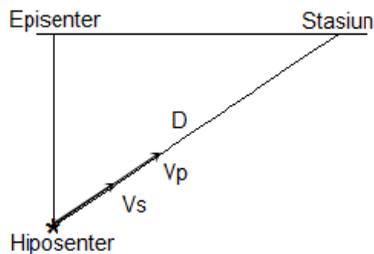
Dalam medium elastis, tegangan dan regangan memiliki hubungan yang umum dalam persamaan berikut

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} e_{kl} = \sum_{k=1,3} \sum_{l=1,3} c_{ijkl} e_{kl} \quad (2.8)$$

Dengan c_{ijkl} adalah tensor elastis yang menjelaskan sifat medium yang tidak bergantung pada tegangan dan regangan, dengan kata lain menganggap suatu medium memiliki sifat elastis yang sempurna (Aki and Richards, 2002).

2.5 Hiposenter dan Episenter

Gempa bumi berkaitan erat dengan adanya pelepasan energi akibat terjadinya patahan baru ataupun bergesernya patahan lama, peristiwa benda jatuh, runtuhnya aktivitas vulkanik dan lain-lain. Hiposenter adalah titik awal terjadinya gempa bumi dimana fokus pada bagian dalam bumi. Kedalaman sumber gempa bumi adalah jarak hiposenter dihitung tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalaman dinyatakan oleh besaran jarak dalam satuan km. Secara seismologis, hiposenter gempa bumi adalah posisi dimana energi regangan yang tersimpan dalam batuan itu pertama dilepaskan, dan merupakan titik dimana patahan/retakan mulai pecah. Ini terjadi pada kedalaman hiposenter di bawah pusat gempa. Pada penentuan hiposenter dibutuhkan hasil rekaman gempa, yaitu waktu tiba gelombang P dan waktu tiba gelombang S pada tiap stasiun. Selisih waktu tiba kedua gelombang (S-P) akan terus bertambah sebanding dengan bertambahnya jarak tempuh (D) kedua gelombang tersebut. Hubungan yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.

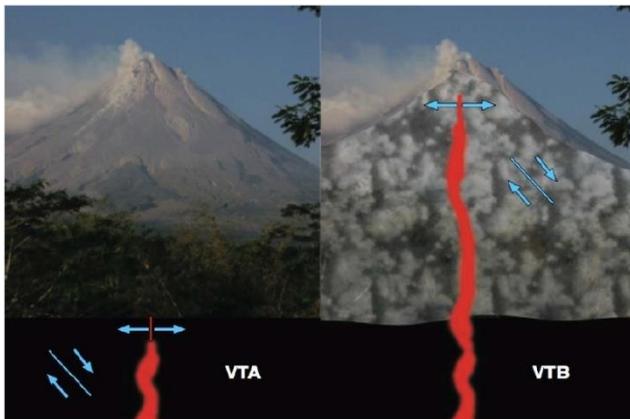


Gambar 2.7 Penjalaran gelombang P dan gelombang S
(Fiandralekha, 2010)

Episenter adalah titik di permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempa bumi. Lokasi Episenter dibuat dalam sistem koordinat Kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur. Untuk menentukan lokasi sumber gempa bumi diperlukan data waktu tiba gelombang seismik dengan sekurang-kurangnya data waktu tiba gelombang P. Selain itu juga diperlukan data posisi stasiun yang digunakan dan model kecepatan gelombang seismik. Episenter gempa dapat ditentukan secara manual maupun digital (Rauzam, 2015).

2.6 Gempa Vulkanik

Gempa vulkanik terjadi karena adanya tekanan gas dan batuan yang telah mencair dan panas atau yang biasa disebut magma berusaha melepaskan energinya sehingga menimbulkan getaran tanah yang hanya dirasakan di lereng atau daerah sekitar gunung (Dawid et al., 2015).



Gambar 2.8 Mekanisme gempa vulkanik (Wassermann, 2011)

Mekanisme terjadinya gempa vulkanik tidak jauh berbeda dengan gempa tektonik, yaitu terjadinya tumbukan kedua lempeng benua, karena setiap tepi lempeng yang tidak rata

menyebabkan getaran ketika bertumbukan. Mekanisme gempa vulkanik (Gambar 2.8) terjadi ketika lempeng samudra bertumbukan dengan lempeng benua yang arahnya berlawanan menyebabkan magma dibawah gunung mendapat tekanan dan melepaskan energinya secara tiba-tiba sehingga menimbulkan getaran tanah (Dawid et al., 2015). Perbedaan gempa tektonik dan gempa vulkanik yaitu efek getaran yang timbul tersebut yang dirasakan saat gempa bumi tektonik terjadi sedangkan pada gempa vulkanik efek getaran yang ditimbulkan karena desakan magma dari perut bumi (Herwanda, 2016).

Gempa vulkanik dibagi berdasarkan data seismik yang terekam, perkiraan hiposenter dan perkiraan proses yang terjadi di dalam tubuh gunung api (Ratdompurbo and Poupinet, 2000).

1. Gempa Vulkanik Dalam (tipe A/VA)
Gempa bumi yang terjadi pada kedalaman lebih dari 1.5 km dibawah puncak gunung dengan frekuensi dominan 5-8 Hz. Ciri utama gempa tipe ini jika dilihat dari data seismik adalah awalan dari gempa yang tajam dan dapat membedakan waktu tiba gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S).
2. Gempa Vulkanik Dangkal (Tipe B/VB)
Gempa bumi yang terjadi pada kedalaman kurang dari 1.5 km dibawah puncak gunung. Ciri utama gempa tipe ini jika dilihat dari data seismik adalah gerakan awalnya cukup jelas tetapi waktu tiba gelombang S kurang jelas, sehingga sulit membedakan gelombang P dan gelombang S.
3. Gempa Fase Banyak (*Multiphase*)
Gempa yang terjadi selama pertumbuhan kubah lava yang dikemukakan oleh Shimozum (1969) dengan frekuensi sekitar 1.5 Hz. Dan klasifikasi ini digunakan sejak tahun 1989, yang sebelumnya belum pernah terjadi
4. Gempa Frekuensi Rendah (LF)
Gempa bumi yang terjadi dengan frekuensi rendah yang bersumber dangkal. Frekuensi sama dengan jenis gempa fase

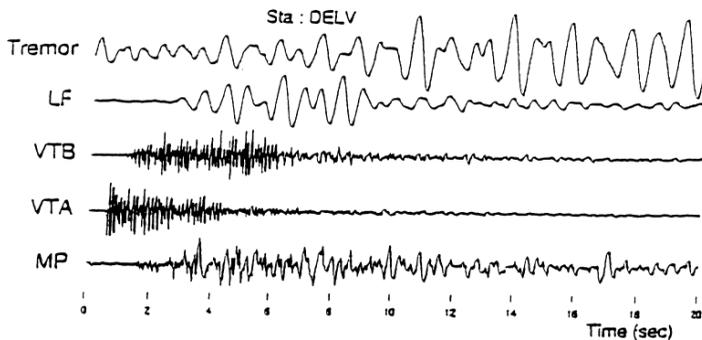
banyak yaitu sekitar 1.5 Hz dan juga digunakan pada tahun 1989, yang sebelumnya juga belum pernah terjadi.

5. Gempa LHF

Gempa bumi jenis ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu gempa yang berfrekuensi rendah dan beberapa titik kemudian disusul dengan gempa yang berfrekuensi tinggi.

6. Tremor

Tremor Gunung Merapi berfrekuensi sekitar 1-2 Hz dengan durasi yang bervariasi dari orde beberapa menit hingga beberapa jam. Sehingga dengan menggunakan seismograf yang berpesarannya mencukupi akan dapat mencatat.



Gambar 2.9 Bentuk gelombang tipe-tipe Gunung Merapi hasil rekaman stasiun Deles (DEL) (Ratdomopurbo and Poupinet, 2000)

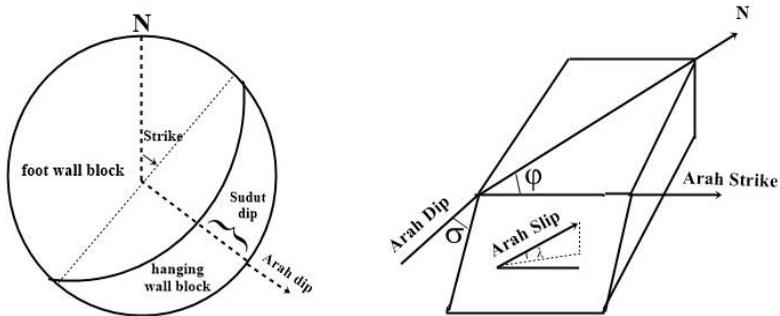
2.7 Mekanisme Fokus

Mekanisme sumber gempa atau *focal mechanism* adalah suatu penggambaran deformasi pada suatu medium yang menimbulkan patahan penyebab gempa bumi. Yang digambarkan dalam bentuk *beachball* yang dibuat berdasarkan pola dari gelombang seismik yang datang pertama kali (gelombang P) (Rauzam, 2015). Hal ini berhubungan dengan peristiwa patahan yang mengacu pada orientasi bidang sesar yang bergeser dan slip vektornya yang dikenal dengan solusi bidang patahan (USGS, 2016).

Sesar adalah gerakan geser lempeng secara horizontal atau

vertikal dengan tidak membentuk kerak baru (Fiandralekha, 2010). Yang menjadi penentu suatu bidang patahan adalah parameter bidang patahan yang berupa:

1. *Strike* (Φ) merupakan sudut yang terbentuk akibat sesar dengan arah utara, yang diukur dari arah utara ke timur searah jarum jam ($0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$).
2. *Dip* (δ) merupakan sudut yang terbentuk akibat bidang sesar dengan bidang horizontal yang diukur pada bidang vertikal dan arahnya tegak lurus patahan atau menggunakan setengah lingkaran bagian kanan ($0^\circ \leq \delta \leq 360^\circ$).



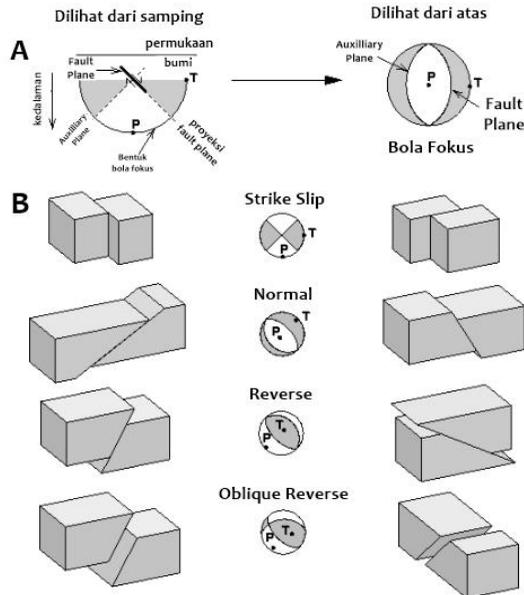
Gambar 2.10 Pengukuran sudut strike dan dip (Aki and Richards, 2002; Fiandralekha, 2010)

3. *Rake* (λ) merupakan sudut yang terbentuk akibat arah *slip* dan patahan. sudut ini akan bernilai positif jika patahan naik dan akan bernilai negatif jika patahan turun ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$) (Ismawati, 2011).

Gempa bumi dipengaruhi oleh pergerakan batuan dan lempeng pada sesar. Terdapat 4 jenis sesar penyebab gempa bumi (Gambar 2.11 bagian B), yaitu sebagai berikut

1. Sesar naik (*reverse fault*), terjadi ketika *hanging wall* relatif naik terhadap *foot wall*, bidang sesarnya mempunyai kemiringan yang besar, dengan nilai $\delta \neq 0$ atau $\delta \neq \pi/2$ dan nilai λ pada rentang $(\pi, 0)$.

2. Sesar turun (*normal fault*), terjadi ketika *hanging wall* relatif turun terhadap *foot wall*, bidang sesarnya mempunyai kemiringan yang besar, dengan nilai $\delta \neq 0$ atau $\delta \neq \pi/2$ dan nilai λ pada rentang $(-\pi, 0)$.
3. Sesar mendatar (*strike slip fault*), terjadi ketika pergerakan sesar secara horizontal/mendatar relatif satu sama lain, dengan nilai $\delta = \pi/2$ dan nilai $\lambda = 0$ atau $\lambda = \pi/2$, sehingga dibagi menjadi 2, yaitu ditentukan berdasarkan pada gerakan yang menghadap bidang sesar, bila *hanging wall* bergerak kekiri dengan $\lambda = 0$ disebut *sinistral*, sedangkan bila ke kanan dengan $\lambda = \pi/2$ disebut *dextral* (Aki and Richards, 2002).
4. Sesar kombinasi (*oblique fault*), pergerakan sesar ini gabungan antara vertikal dan horizontal (Ismawati, 2011).



Gambar 2.11 Diagram *beachball* (USGS, 2016)

Orientasi tegangan tanah sampai mengalami patahan mengatur arah slip pada bidang sesar dan dengan *beachball* dapat menggambarkan orientasi tegangan ini. Bagian A (Gambar 2.11), daerah yang berwarna abu-abu berisi ketegangan (T) yang mencerminkan tegangan tekan dengan arah yang minimum. Sedangkan daerah berwarna putih merupakan sumbu tekanan (P) yang mencerminkan tegangan tekan dengan arah maksimum (USGS, 2016). Mekanisme fokus yang dihitung menggunakan metode arah gerakan P pertama yang teramati pada setiap stasiun dan hanya menggambarkan sumbu P dan T tanpa *shading*. Pada mekanisme sumber *double-couple* gerakan geser pada bidang sesar, kompresi gerakan pertama berada di kuadran yang berisi sumbu ketegangan dan dilatasi gerakan pertama berada di kuadran yang berisi sumbu tekanan. Pengamatan gerakan pertama sering berada di kuadran yang salah, dikarenakan

1. Sinyal yang tidak implusif sehingga algoritma arah gerakan pertama salah.
2. Model kecepatan gempa kurang tepat menyebabkan lokasi gempa yang salah.
3. Terjadi mis-kabel pada seismometer sehingga yang awalnya *up* menjadi *down*, namun penyebab yang ketiga ini jarang terjadi.

Pengamatan pertama gerakan yang salah dapat sangat mempengaruhi parameter mekanisme fokus yang dihitung. Tergantung pada distribusi dan kualitas data pertama gerak (Ismawati, 2011).

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Data dan Peralatan

3.1.1 Data

Penelitian tugas akhir ini menggunakan data sekunder dari kantor BPPTKG Yogyakarta berupa rekaman data seismik yang memantau Gunung Merapi. Data sekunder tersebut terdiri sebagai berikut:

1. Data GCF
data seismik pada bulan Januari-Juni 2014. Data seismik ini berasal dari rekaman gelombang seismik setiap stasiun yang merekam setiap jam dalam tiga komponen berupa komponen *north* (N), komponen *east* (E), dan komponen *horizontal* (Z). Data seismik yang terekam tersebut tersimpan dalam format *gcf*.
2. Data *Instrument Respon*
Data yang berupa informasi tentang alat perekam gelombang seismik. Sehingga setiap alat perekam gelombang seismik (stasiun) memiliki data *instrument respon* yang berbeda.

3.1.2 Peralatan

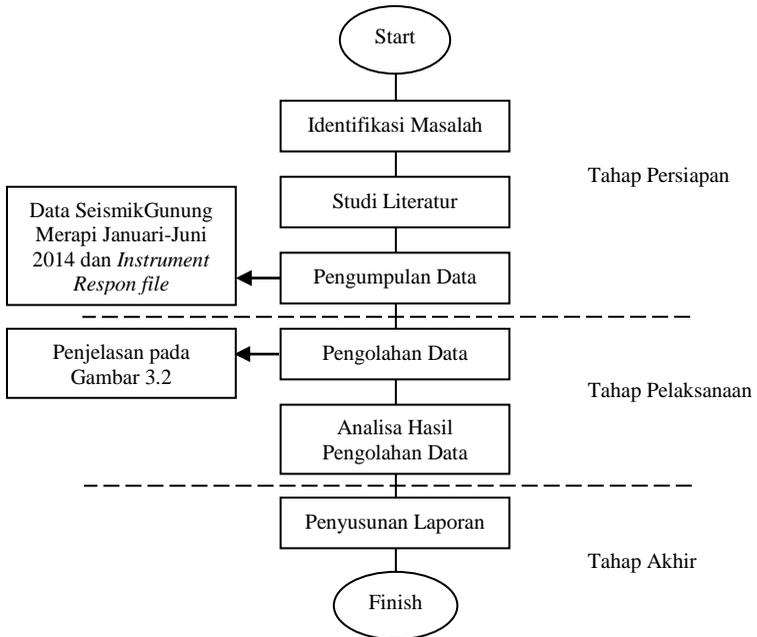
Peralatan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah laptop dan *software*. Terdapat beberapa *software* yang digunakan diantaranya:

1. *Software Oracle VM VirtualBox*, yang digunakan untuk menjalankan sistem *linux*.
2. *Software Ubuntu 14.0*, salah satu jenis sistem *linux*.
3. *Software SEISAN 10.3*, adalah satu set program lengkap dan database sederhana untuk menganalisis gempa bumi dari data seismik analog dan digital. Seisan dapat menggunakan gempa bumi lokal dan global untuk pembacaan fase manual, menemukan *event*, mengedit *event*, menentukan parameter

spektral, mekanisme fokus, *coda*, menentukan waktu tiba dari stasiun tiga komponen dan plot episenter. Pencarian program dapat memungkinkan digunakan untuk kriteria yang berbeda dengan mencari database pada *event* tertentu dan bekerja dengan tanpa *extract event*. Sebagian besar program dapat beroperasi baik dengan cara konvensional (menggunakan satu file dengan banyak peristiwa) (Havskov and Ottemöller, 2010).

3.2 Tahapan Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini, tahapan penelitian digambarkan melalui diagram alir berikut



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Tahapan penelitian tugas akhir ini berdasarkan Gambar 3.1 sebagai berikut

3.3.1 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang dipilih pada penelitian ini adalah bagaimana mengetahui mekanisme fokus dan karakteristik pada gempa vulkanik yang terjadi selama bulan Januari-Juni 2014, serta mengetahui perbedaan mekanisme sebelum dan setelah terjadinya erupsi.

3.3.2 Pengumpulan Data

Data berasal dari rekaman gelombang seismik baik berupa data seismik analog maupun digital. Selain data seismik juga menggunakan *instrument respon file* yang berasal dari alat perekam gelombang seismik.

3.3.3 Pengolahan data

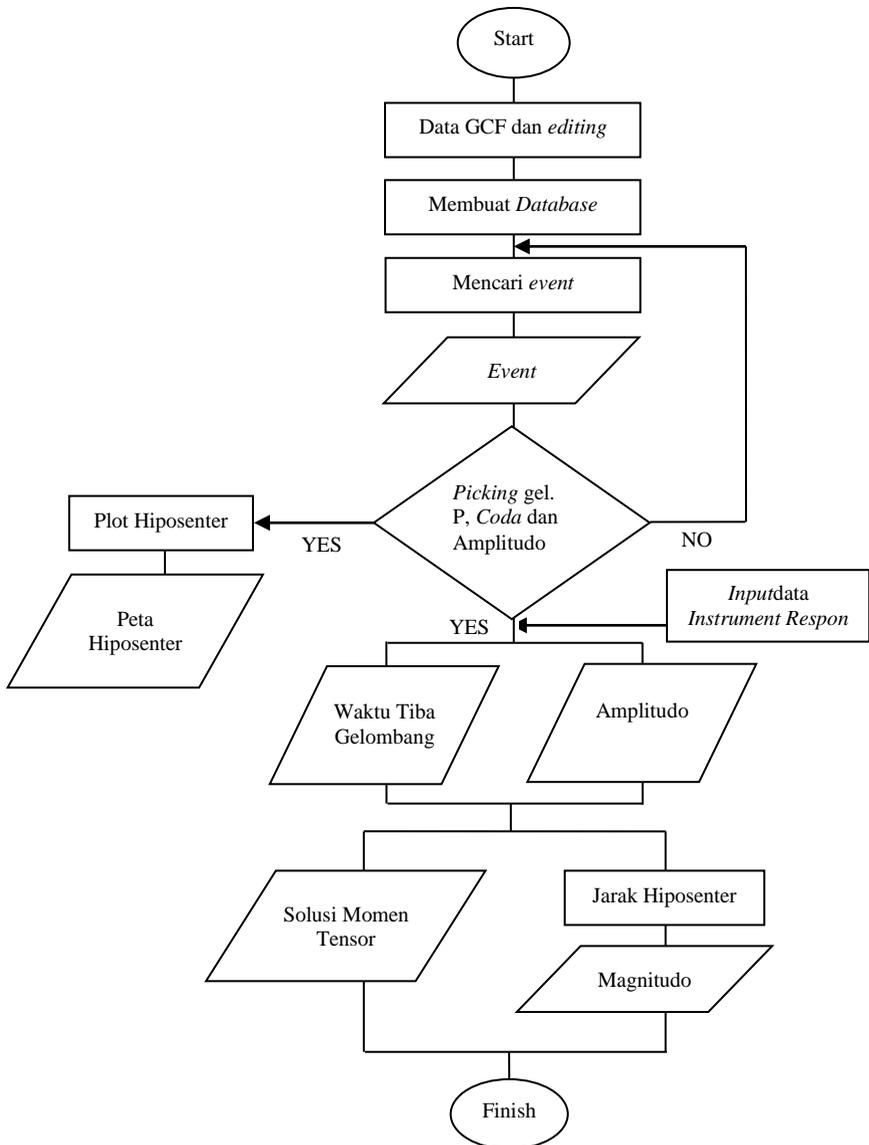
Pengolahan data seismik menggunakan *software* SEISAN, dengan tahapan pada Gambar 3.2. Setiap pengolahan data yang dilakukan pada *software* SEISAN ini dilakukan pada halaman WOR atau work. Penjelasan pada Gambar 3.2 adalah sebagai berikut:

1. Data GCF dan *editing*

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.1.1, bahwa data seismik yang diperoleh dalam format gcf. Data seismik tersebut kemudian *diconvert* menjadi format seisan. *Convert* data tersebut dilakukan pada setiap komponen stasiun dalam 6 bulan (Januari-Juni 2014).

2. Membuat *Database*

Membuat *database* pada folder REA dan WAV berdasarkan stasiun dan komponen yang digunakan, selain itu juga membuat satu *database* untuk menempatkan *event*. Pada tahap ini bertujuan untuk menyimpan gelombang seismik secara



Gambar 3.2 Diagram alir pengolahan data menggunakan *software* SEISAN

sistematik yang dikelompokkan berdasarkan stasiun yang digunakan.

3. Mencari *Event*

Pada tahap ini data seismik diseleksi yang merupakan data gempa khususnya gempa vulkanik, karena pada setiap stasiun tidak hanya merekam gempa vulkanik saja. Gempa vulkanik dicirikan dengan awalan dari gempa yang tajam dan interval waktu yang kecil. Data seismik pada *software* SEISAN ditampilkan dengan interval waktu 10 menit. Interval waktu yang bagus untuk menampilkan gelombang seismik adalah selama 10-20 menit.

4. Data *Event*

Proses sortir data seismik menghasilkan beberapa data *event* yang merupakan gempa vulkanik. Data ini yang digunakan pada pengolahan selanjutnya hingga menemukan mekanisme fokus pada setiap *event*.

5. *Picking* Gelombang P, *Coda* dan Amplitudo

Sebelum melakukan tahap ini terlebih dahulu menginput *instrument respon file* ke dalam folder CAL, dengan tujuan dapat melakukan *picking* amplitudo. Data *event* tersebut dilakukan proses *picking* gelombang P, *coda* dan amplitudo. Setelah *picking* gelombang dilakukan proses *register*, dengan tujuan untuk mendaftarkan *event* pada folder *database*, menentukan jenis *event* (lokal, regional atau *distance*).

6. Waktu Tiba dan Amplitudo

Dari proses *picking* yang telah dilakukan diperoleh data waktu tiba gelombang, *coda* dan amplitudo yang tersimpan pada S-File di folder *database*. Data ini yang digunakan untuk menentukan solusi mekanisme fokus, plot hiposenter dan menghitung magnitudo.

7. Plot Hiposenter

Setelah dilakukan proses *registrasi event*, maka dilakukan plot hiposenter untuk melihat posisi episenter gempa bumi. Tahap ini menghasilkan sebuah peta posisi episenter.

8. Jarak Hiposenter

Hasil proses *picking* digunakan untuk menghitung jarak hiposenter dan magnitudo gempa. Pada perhitungan jarak hiposenter data yang digunakan berupakoordinat stasiun, koordinat episenter dan kedalaman gempa. Untuk menghitung jarak hiposenter menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta = 111 * \left[(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3.1)$$

Dengan (X_1, Y_1) merupakan bujur dan lintang stasiun dan (X_2, Y_2) merupakan bujur dan lintang episenter. Dari hasil perhitungan jarak hiposenter tersebut, digunakan untuk menghitung magnitudo. Selain data perhitungan jarak hiposenter juga menggunakan data amplitudo. Untuk menghitung magnitudo menggunakan persamaan magnitudo lokal sebagai berikut:

$$M = \log A + 3 * \log \Delta - 2.92 \quad (3.2)$$

Sehingga menghasilkan nilai magnitudo pada setiap *event* gempa dan setiap stasiun yang berbeda dalam satuan *Richter*.

9. Solusi Mekanisme fokus

Setelah proses *picking* dilakukan tahap ini untuk menghasilkan Solusi mekanisme fokus berupa *beachball*.

3.3.4 Analisa Hasil Pengolahan Data

Hasil dari solusi mekanisme fokus tersebut berupa nilai parameter mekanisme fokus dan *beachball* yang digunakan untuk menganalisa mekanisme fokus. Pada tahap ini setiap *event* akan

diketahui pola jenis patahan dan pergerakan yang terjadi seperti apa dan analisa ini didasarkan pada teori Subbab 2.5. Selain itu analisa kedalaman setiap *event* untuk mengetahui karakteristik dari gempa.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan mengolah data rekaman seismik yang terjadi pada bulan Januari-Juni 2014 di Gunung Merapi. Digunakan tujuh stasiun sebagai sumber data seismik yang ditampilkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Lokasi stasiun

Nama Stasiun	Koordinat		Sensor
	Latitude	Longitude	
Deles (DEL)	7 33.61'	110 27.68'	L4C
Plawangan (PLA)	7 35.14'	110 25.89'	L4C
Klatakan (KLA)	7 32.08'	110 25.68'	Guralp 40TD
Pusunglondon (PUS)	7 32.30'	110 27.24'	L22
Pasarbubur (PAS)	7 31.80'	110 27.33'	Guralp 40TD
Labuhan (LAB)	7 32.65'	110 24.85'	Guralp 40TD
Gunung Ijo (IJO)	7 34.08'	110 26.47'	Guralp 40TD
Gerawah (GRA)	7 31.39'	110 27.07'	Guralp 40TD

Data seismik yang digunakan adalah data seismik analog dari stasiun DEL, PLA, PUS dan data seismik digital dari stasiun KLA, IJO, LAB, PAS, GRA.



Gambar 4.1 Lokasi stasiun di Gunung Merapi

Sebanyak 8 stasiun yang digunakan sebagai sumber data yang terletak di sekitar Gunung Merapi seperti pada Gambar 4.1. Data seismik yang terekam per hari sebanyak 24 data yang kemudian dilakukan sortir *event* pada bulan Januari-Juni 2014. Setiap data seismik yang terekam tidak hanya berupa gempa vulkanik saja melainkan dapat berupa gempa tektonik, *multiphase*, gempa LF, tremor dll. Ditemukan sebanyak 8 event yang merupakan gempa vulkanik (Tabel 4.2) dan 2 *event* yang merupakan erupsi (Tabel 4.3). *Event* yang merupakan erupsi ini digunakan untuk memenuhi tujuan ketiga pada penelitian ini, yaitu membandingkan mekanisme fokus sebelum dan setelah terjadinya erupsi.

Tabel 4.2 Data event gempa vulkanik Januari-Juni 2014

Nama <i>Event</i>	Tanggal	Pukul (WIB)
20140307	7 Maret 2014	02:26
20140308	8 Maret 2014	20:40
20140311	11 Maret 2014	12:10
20140317	17 Maret 2014	18:53
20140324	24 Maret 2014	04:48
20140328	28 Maret 2014	11:19
20140405	5 April 2014	14:02
20140507	7 Mei 2014	15:33

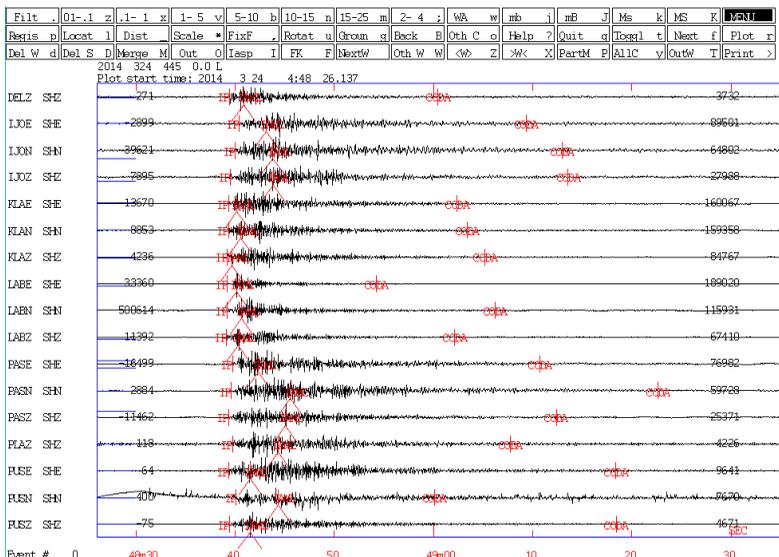
Tabel 4.3 Data event erupsi Januari-Juni 2014

Nama Event	Tanggal	Pukul (WIB)
20140327	27 Maret 2014	06:12
20140419	19 April 2014	21:24

4.2 Hasil Pengolahan Data

4.2.1 Hiposenter

Untuk mengetahui posisi sumber gempa yang terjadi, dilakukan plot episenter. 8 event yang ditemukan dapat diketahui posisi hiposenter setelah dilakukan *picking* gelombang seismik seperti Gambar 4.2.

Gambar 4.2 Tampilan data seismik dalam proses *picking*

Tampilan pada proses *picking* (Gambar 4.2) merupakan data *event* pada tanggal 24 Maret 2014 pukul 04:48. Data *picking* akan tersimpan dalam S-File pada folder REA. Kemudian S-File diupdate akan menghasilkan koordinat dan kedalaman hiposenter.

Untuk dapat melihat plot episenter, dapat dibuka menggunakan *google earth* atau *google map* (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Hasil plot hiposenter pada *event* Januari-Juni 2014

8 titik merah menunjukkan posisi episenter setiap *event* (Gambar 4.3). Karena *event* merupakan gempa vulkanik maka posisi episenter yang dihasilkan seharusnya berada di sekitar Gunung Merapi. Namun, pada penelitian ini posisi episenter setiap *event* tidak semuanya berada di sekitar Gunung Merapi. Pada gambar tersebut, lingkaran putih menunjukkan lokasi Gunung Merapi yang ketika diperbesar lokasi episenter dapat terlihat jelas pada kotak putih di sisi kiri gambar tersebut. Terdapat 2 *event* yaitu *event* 28 maret dan *event* 5 april yang berada di luar lingkaran putih yang berarti kedua *event* tersebut berada jauh di luar lokasi Gunung Merapi. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya *picking* gelombang P yang kurang tepat, karena hasil plot episenter dapat dipengaruhi oleh *picking* gelombang P. Selain itu juga dapat dipengaruhi oleh banyaknya data seismik yang digunakan, semakin banyak data seismik yang digunakan maka semakin mudah menentukan posisi

episenter. Pada *event* yang diolah, jumlah data seismik yang digunakan tidak sama, ada yang menggunakan 17 data seismik dan ada juga yang hanya menggunakan 12 data seismik.

Setelah proses *picking*, setiap *event* ditentukan jenis *event*nya. Pada 8 *event*, ditentukan jenis *event* nya adalah jenis lokal, karena secara umum gempa vulkanik merupakan gempa lokal. Namun terkadang jenis regional juga bisa terjadi dikarenakan adanya faktor eksternal. Penentuan jenis *event* ini bertujuan untuk menentukan persamaan magnitudo yang digunakan, yaitu menggunakan Persamaan 3.2.

4.2.2 Magnitudo

Magnitudo merupakan parameter yang memberi gambaran seberapa besar kekuatan gempa yang terjadi. Untuk menghitung jarak antara stasiun dan episenter (D) dan magnitudo (M) menggunakan beberapa parameter gempa, diantaranya kedalaman gempa dan koordinat episenter setiap *event*, serta koordinat stasiun. Untuk data kedalaman gempa dan koordinat episenter dapat diketahui dari S-File pada baris pertama (Gambar 4.4).

```

2014 324 0448 38.6 L -7.543 110.416 2.5 TES 17 0.4 2.0L TES 0.6CTES 1
GAP=256 0.89 6.0 7.6 0.0 0.3111E+02 0.2502E+02 -0.2538E+02E
ACTION:UP 17-06-16 23:45 OP:oci STATUS: ID:20140324044500 I
OLDACT:REG 17-06-16 23:40 OP:oci STATUS: ID:20140324044500 3
2014-03-24-0445-00S.NSN 017 6
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO AIN AR TRES W DIS CAZ7
IJON SN IP 448 39.99 30
PASN SN IP 448 40.31 31
PASZ SZ IP 448 39.41 24
IJOE SE IP 448 40.39 29

```

koordinat episenter kedalaman gempa

Gambar 4.4 Tampilan S-File pada *event* 20140324

Penentuan kedalaman dan koordinat episenter yang dihasilkan *software* SEISAN ini menggunakan prinsip *hypoinverse* dengan metode lingkaran. Kedalaman dihitung dari *sealevel* dengan satuan kilometer (km). Dari kedalaman ini dapat membedakan jenis gempa vulkanik tipe A atau tipe B. Namun, pembagian jenis gempa tersebut tidak hanya berdasarkan

kedalaman saja, melainkan juga dari bentuk gelombang seismik yang terekam, seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.5.

Dari S-File yang dihasilkan pada masing-masing *event* diketahui bahwa *event* yang merupakan gempa vulkanik tipe A adalah 20140307 dengan kedalaman 2,1 km, 20140324 dengan kedalaman 2,7 km, 20140328 dengan kedalaman 12,2 km, 20140405 dengan kedalaman 4 km dan 20140507 dengan kedalaman 15 km. Sedangkan *event* yang merupakan gempa vulkanik tipe B adalah 20140308 dengan kedalaman 1,4 km, 20140311 dengan kedalaman 1,1 km dan 20140317 dengan kedalaman 0,6 km. Sehingga menunjukkan kedalaman terbesar pada *event* 20140507 dan kedalaman terkecil pada *event* 20140311.

Perhitungan jarak hiposenter dan magnitudo gempa serta jenis gempa ditampilkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil perhitungan dan jenis gempa

Event	Jenis Gempa	Kedalaman (Km)	Stasiun	Jarak Hiposenter (Km)	Magnitudo Gempa (SR)
7-Mar	VA	2.1	DEL	5.9558	3
			PLA	10.1150	
			PUS	5.4105	
			KLA	8.0189	
			IJO	8.9339	
			PAS	5.1324	
			LAB	9.6818	
			GRA	5.5388	
8-Mar	VB	1.4	DEL	6.4409	1.6
			PLA	7.7415	
			PUS	4.3277	
			KLA	2.4143	
			IJO	5.6861	
			PAS	4.0084	
			LAB	3.3596	
			GRA	3.4250	

11-Mar	VB	1.1	DEL	4.4721	1.5
			PLA	3.0885	
			PUS	4.5742	
			KLA	3.2612	
			IJO	1.5862	
			PAS	5.2958	
			LAB	2.4476	
			GRA	5.6819	
17-Mar	VB	0.6	DEL	2.3864	1.8
			PLA	4.6978	
			PUS	4.8526	
			KLA	6.8589	
			IJO	4.8297	
			PAS	6.8589	
			LAB	6.8589	
			GRA	6.8589	
24-Mar	VA	2.7	DEL	4.8798	1.3
			PLA	6.8350	
			PUS	3.2394	
			KLA	3.0614	
			IJO	6.4558	
			PAS	6.9857	
			LAB	3.5462	
28-Mar	VA	12.2	DEL	28.1627	4.1
			PLA	31.0411	
			PUS	26.0148	
			KLA	26.0552	
			IJO	38.6812	
			PAS	38.6784	
			LAB	34.7740	
5-Apr	VA	4	DEL	15.5731	2.8
			PLA	16.2995	
			PUS	13.3304	
			KLA	11.3500	

			PAS	11.3500	
			LAB	11.3500	
			GRA	11.3500	
7-Mei	VA	15	DEL	17.2656	3.6
			PLA	16.2187	
			PUS	17.0382	
			KLA	15.9803	
			IJO	18.0642	
			PAS	17.1295	
			LAB	17.9073	

Setiap *event* memiliki kedalaman, magnitudo dan jarak hiposenter yang berbeda-beda. Setiap *event* jarak hiposenter terhadap masing-masing stasiun berbeda-beda, sehingga menghasilkan nilai magnitudo gempa yang berbeda pula. Penelitian ini jarak stasiun terhadap hiposenter yang paling jauh adalah pada *event* 20140328 dengan nilai magnitudo sebesar 4.3 SR. Selain itu juga dapat dilihat pada Gambar 4.3, plot episenter pada *event* 20140328 berada diluar wilayah Gunung Merapi, sehingga juga menyebabkan nilai magnitudo besar. Sedangkan nilai magnitudo terkecil pada *event* 20140311 sebesar 1.5 SR.

4.2.3 Mekanisme fokus

Mekanisme fokus merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui jenis sesar dengan menentukan parameter-parameter sesar. Parameter tersebut berupa waktu kejadian gempa bumi, koordinat episenter, serta kedalaman gempa. Selain itu juga diperlukan data koordinat stasiun yang merekam gelombang.

Terdapat beberapa prinsip untuk menganalisa bidang patahan pada *software* SEISAN, namun pada penelitian ini hanya menggunakan prinsip *focmec*. Analisa bidang patahan menghasilkan nilai parameter berupa *strike*, *dip* dan *rake* pada setiap *event*. Solusi mekanisme fokus ini dapat menentukan orientasi bidang sesar dan pergerakannya, selain itu juga dapat membedakan sesar yang mencirikan gempa tersebut. Nilai

parameter yang dihasilkan pada solusi mekanisme fokus tiap *event* ditampilkan dalam Tabel 4.5.

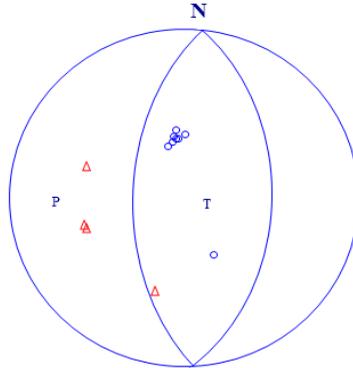
Tabel 4.5 Nilai parameter solusi mekanisme fokus

No	Event	Latitude	Longitude	Strike	Dip	Rake
1.	20140307	-7.525	110.497	64	45	-82
2.	20140308	-7.518	110.423	224	21	-44
3.	20140311	-7.562	110.422	356	55	83
4.	20140317	-7.577	110.473	333	11	63
5.	20140324	-7.530	110.440	353	35	81
6.	20140328	-7.331	110.468	107	21	76
7.	20140405	-7.451	110.363	181	80	-84
8.	20140507	-7.558	110.384	357	55	84

Identifikasi sesar juga dapat menggunakan perbedaan nilai *rake*. Berdasarkan titik pusat gempa bumi dari *beachball* juga dapat menentukan orientasi sesar yang terjadi. Apabila posisi pusat *beachball* berada pada daerah kompresi maka dapat dipastikan merupakan sesar naik, sedangkan jika dilatasi maka sesar turun. Namun jika pusat *beachball* berada pada atau dekat dengan diantara 2 nodal (kompresi dan dilatasi) maka sesar mendatar.

Prinsip *focmec* ini menggunakan metode polaritas gerakan awal gelombang P, maka informasi yang didapatkan hanya berupa polaritas kompresi atau dilatasi, sehingga informasi yang didapatkan juga sedikit. Penentuan polaritas gerak awal gelombang seismik dilakukan saat dilakukannya proses *picking*.

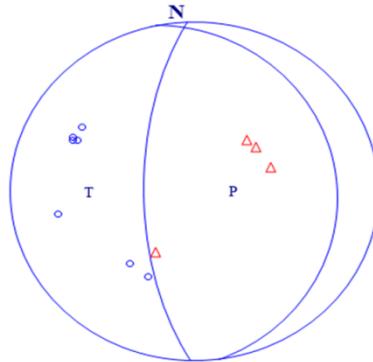
Dari Tabel 4.4 nilai *rake* yang dihasilkan tiap *event* bernilai positif dan negatif sehingga dapat disimpulkan bahwa solusi mekanisme fokus *event* tersebut merupakan sesar naik, sesar turun atau sesar oblique.



Gambar 4.5 Solusi mekanisme fokusevent 20140324

Bidang patahan ditandai dengan huruf P dan T. Huruf T menunjukkan area *tension* atau tarikan sedangkan huruf P menunjukkan area *pressure* atau tekanan. Dan terlihat terdapat beberapa tanda berupa lingkaran berwarna biru (○) dan segitiga berwarna merah (△). Tanda tersebut memiliki arti, untuk tanda lingkaran berwarna biru menunjukkan data polaritas awal gelombang P pada masing-masing stasiun gempa, yang berarti kompresi (up). Sedangkan tanda segitiga berwarna merah berarti dilatasi (down). Dari nilai parameter solusi mekanisme fokus yang dihasilkan pada Tabel 4.5, nilai *rake* pada event 20140324 bernilai positif. Kemudian untuk menentukan sesar yang sebenarnya juga dapat dilihat dari bentuk *beachball* yang dihasilkan pada Gambar 4.5. Pada Gambar 4.5, menghasilkan area tarikan yang berada ditengah *beachball*. Sesuai dengan teori mekanisme fokus pada Subbab 2.7, ketika posisi tarikan berada di tengah *beachball* maka dapat disimpulkan solusi mekanisme fokus pada event 20140324 adalah sesar naik. Event 20140324 merupakan event sebelum terjadinya erupsi yang terjadi pada tanggal 27 April 2014 yang menghasilkan sesar naik yang terjadi pada koordinat -7.530 LS dan 110.440 BT dengan kedalaman 2.7 km dan magnitudo sebesar 2.1 SR. Kemudian pada event 20140311, 20140317, 20140328, 20140607 juga menghasilkan jenis sesar yang sama, yaitu sesar naik. Yang memiliki nilai *rake*

positif, dengan gambar diagram bola (*beachball*) yang ditampilkan pada lampiran 3.



Gambar 4.6 Solusi mekanisme fokus event 20140405

Dari nilai parameter solusi mekanisme fokus yang dihasilkan pada Tabel 4.4, nilai *rake* pada *event* 20140405 bernilai negatif. Kemudian untuk menentukan sesar yang sebenarnya dilihat dari bentuk *beachball* yang dihasilkan pada Gambar 4.6 yang menghasilkan area tekanan yang berada ditengah *beachball*. Sesuai dengan teori mekanisme fokus padaSubbab 2.7, ketika posisi area tekanan berada di tengah *beachball* maka dapat disimpulkan solusi mekanisme fokus pada *event* 20140324 adalah sesar turun. *Event* 20140324 merupakan *event* setelah terjadinya erupsi yang terjadi pada tanggal 27 April 2014 yang menghasilkan sesar turun yang terjadi pada koordinat - 7.451 LS dan 110.363 BT dengan kedalaman 4 km dan magnitude sebesar 2.7 SR. Kemudian pada *event* 20140307, 20140308, juga menghasilkan jenis sesar yang sama, yaitu sesar turun. Yang memiliki nilai *rake* negatif, dengan gambar diagram bola (*beachball*) yang ditampilkan pada lampiran 3.

Selama proses menuju letusan/erupsi Gunung Merapi terjadi beberapa aktivitas seismik lainnya dan dapat diartikan bahwa di bawah permukaan gunung terdapat pengumpulan energi yang besar. Beberapa aktivitas seismik tidak hanya terjadi di

bagian gunungapi yang dangkal saja, tetapi juga di dalam. Proses tersebut sebagai akibat dari tekanan yang besar dalam gunungapi yang melaju ke permukaan atau bisa dikaitkan dengan pergerakan magma dari perut gunung menuju kubah. Pergerakan magma ini yang menyebabkan retakan hingga pecahnya batuan. Retakan atau pecahnya batuan ini yang akan menjadi sumber gempa. Sehingga sumber gempa pada setiap *event* pada penelitian ini berbeda-beda sama halnya seperti terjadinya gempa tektonik.

Suplai magma ke permukaan mengakibatkan variasi mekanisme fokus. Parameter *strike*, *dip* pada aktivitas gempa vulkanik selama masa erupsi menunjukkan bahwa rekahan-rekahan akibat tekanan dari magma yang akan membentuk sesar tersebut.

Tabel 4.6 Jenis sesar tiap event

Event	Jenis Sesar
20140307	Sesar turun
20140308	Sesar turun
20140311	Sesar naik
20140317	Sesar naik
20140324	Sesar naik
Erupsi 20140327	
20140328	Sesar naik
20140405	Sesar turun
Erupsi 20140419	
20140507	Sesar naik

Pada tanggal 27 Maret 2014 dan 19 April 2014 terjadi erupsi di Gunung Merapi. Sesuai dengan tujuan ketiga pada penelitian ini, membedakan mekanisme fokus sebelum maupun setelah erupsi (Tabel 4.6). Sebelum erupsi pada tanggal 27 Maret 2014 yang merupakan *event* 20140307, 20140308, 20140311, 20140317 dan 20140324 menghasilkan jenis sesar yang berbeda, yaitu 2 *event* menghasilkan sesar turun dan 3 *event* menghasilkan sesar naik. Pada *event* 20140328 dan 20140405 yang merupakan *event* setelah erupsi 27 Maret 2014 dan sebelum erupsi 19 April 2014 menghasilkan sesar berbeda, yaitu 1 *event* menghasilkan

sesar naik dan 1 *event* menghasilkan sesar turun. Setelah erupsi 19 april 2014 yang merupakan *event* 20140607 menghasilkan sesar naik. Sehingga dapat diketahui bahwa secara umum gempa vulkanik yang terjadi di Gunung Merapi sebelum dan setelah terjadi erupsi mengalami perubahan sesar.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengolahan data seismik yang terekam pada Januari-Juni 2014, maka disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada *event* 20140311, 20140317, 20140324, 20140328, 20140607 sesar naik. Pada *event* 20140307, 20140308, 20140405 menghasilkan sesar turun.
2. Karakteristik gempa vulkanik pada *event* 20140307, 20140324, 20140328, 20140405, 20140507 merupakan vulkanit tipe A (VTA). Pada *event* 20140308, 20140311, 20140317 merupakan vulkanik tipe B (VTB)
3. Sebelum erupsi pada tanggal 27 Maret 2014 menghasilkan sesar naik. Pada *event* setelah erupsi 27 Maret 2014 dan sebelum erupsi 19 april 2014 menghasilkan sesar naik dan sesar turun. Setelah erupsi 19 april 2014 menghasilkan sesar naik.

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan dalam penelitian yang akan lebih lanjut, di antara lain sebagai berikut :

1. Setiap *event* menggunakan data seismik minimal 10 stasiun.
2. Lebih berhati-hati dan teliti dalam *picking* gelombang P.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M., Irfan, U.R., Nur, I., n.d. Identifikasi dan Rekonstruksi Fasies Gunung Merapi Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Afnimar, 2009. Seismologi. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Aki, K., Richards, G., 2002. Quantitative Seismology. University Science Books, Sausalito, California.
- BPPTKG, 2015. Gunung Merapi Alami Guguran Material Vulkanik [WWW Document]. URL <http://sp.beritasatu.com/home/bbptkg-gunung-merapi-alami-guguran-material-vulkanik/93434> (accessed 2.18.17).
- Bronto, S., 2006. Fasies Gunungapi dan Aplikasinya. J. Geol. Indones. 1 No.2, 59–71.
- Dawid, S., Ferdy, Guntur Pasau, 2015. Penentuan Lokasi Pergerakan Magma Gunung Api Soputan Berdasarkan Studi Sebaran Hiposenter Gempa Vulkanik Periode Mei 2013-Mei 2014 15 No.2, 88–93.
- Fiandralekha, 2010. Studi Mekanisme Sumber Gempa di Selat Sunda Berdasarkan Gerak Awal Gelombang P dan Bentuk Gelombang. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Havskov, J., Ottemöller, L., 2010. Software [WWW Document]. URL <http://www.uib.no/en/rg/geodyn/54592/software> (accessed 2.15.17).
- Herwanda, M., 2016. Analisis Spektral dan Parameter Sumber Gempa Vulkanik di Gunung Api Sinabung Sumatra Utara. Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Universitas Lampung, Lampung.
- Ismawati, T., 2011. Mekanisme Fokus Gempa Bumi Mentawai. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Malik, Y., n.d. Handout Gunungapi [WWW Document]. URL http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOG

RAFI/195901011989011-
YAKUB_MALIK/HANDOUT_GUNUNGAPI.pdf
(accessed 2.11.17).

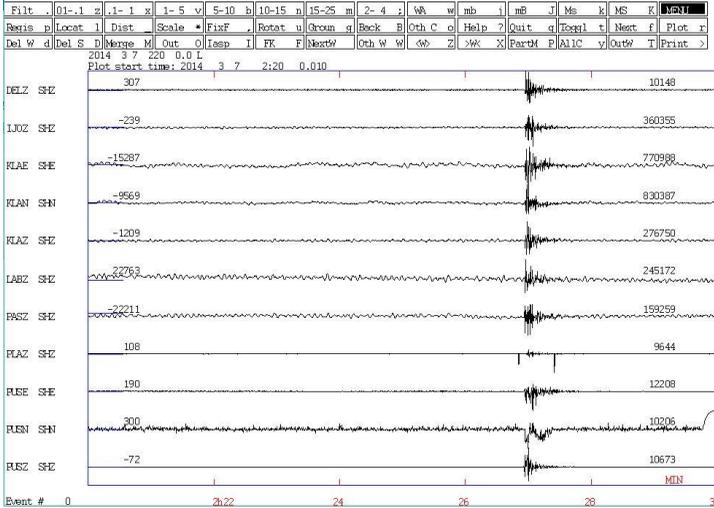
- Pratomo, I., 2006. Klasifikasi Gunung Api Aktif Indonesia , Studi Kasus dari beberapa Letusan Gunung Api dalam Sejarah. *J. Geol. Indones.* 1 No.4, 209–227. doi:0.17014/ijog
- Pribadi, E., 2010. Delineasi Zona Rekahan pada Reservoir Geothermal melalui Pengamatan Mikroseismik. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Purnomo, B.J., 2014. Analisa Deformasi Kawasan Vulkanik Aktif dengan menggunakan Data GPS September 2012-Maret 2014 (Studi Kasus: Gunung Merapi, DIY). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ratdomopurbo, A., Poupinet, G., 2000. An Overview of The Seismicity of Merapi Vulcano (Java, Indonesia) 1983-1994. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 193–214.
- Rauzam, M., 2015. Estimasi Jenis Sesar Sumber Gempa Jepang 11 Maret 2011 Dengan Menggunakan Solusi Bidang Sesar. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Shearer, P.M., 2009. *Introduction to Seismology*. Cambridge University Press, United States of America, New York.
- Sholihah, F.M., 2010. Analisis Energi Kumulatif Gempa Gunung Api Merapi Berdasarkan Data Real-Time Seismic Amplitude Measurement (RSAM) dan Perbandingannya terhadap Data Seismik Periode Mei-Juni 2006. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- USGS, 2016. Focal Mechanisms [WWW Document]. URL <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/beachball.php> (accessed 2.20.17).
- Walter, T.R., Subandriyo, J., Kirbani, S., Bathke, H., Suryanto, W., Aisyah, N., Darmawan, H., Jousset, P., Luehr, B.G., Dahm, T., 2014. Volcano-tectonic control of Merapi's lava dome splitting: The November 2013 fracture observed from high resolution TerraSAR-X data. *Elsevier* 23–33.

Wassermann, J., 2011. Volcano Seismology. Geophysikalisches
Observatorium der Ludwig-Maximilians Universität
München, Fürstenfeldbruck, Germany,.

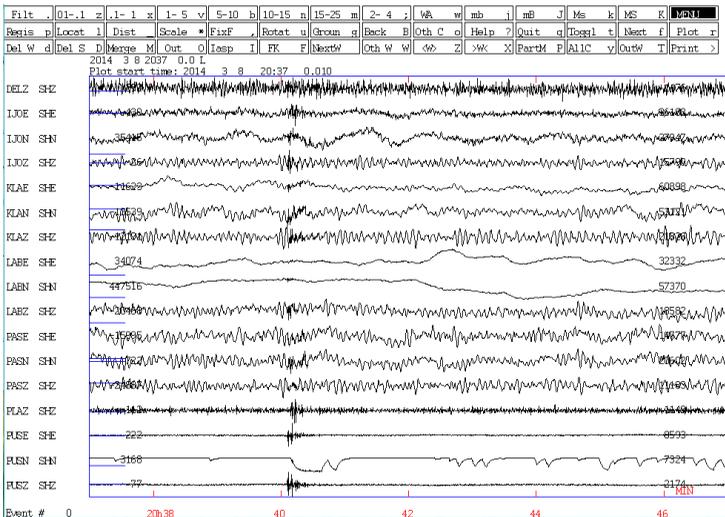
“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

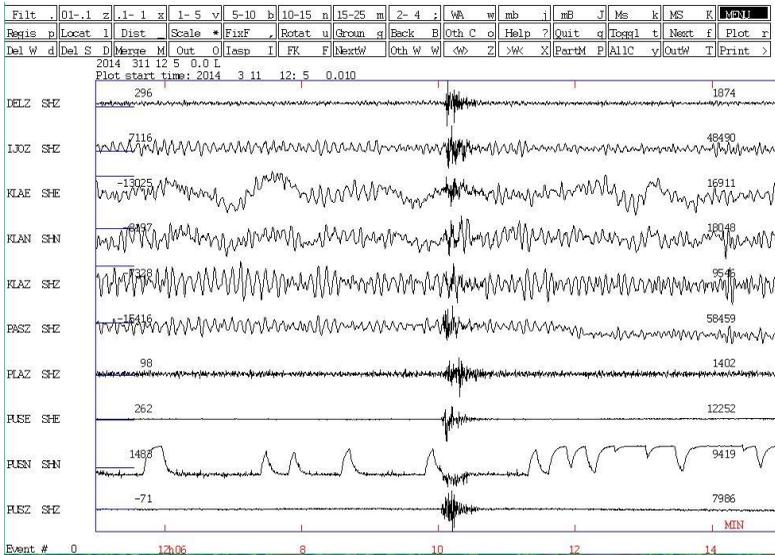
Lampiran 1 Data seismik event



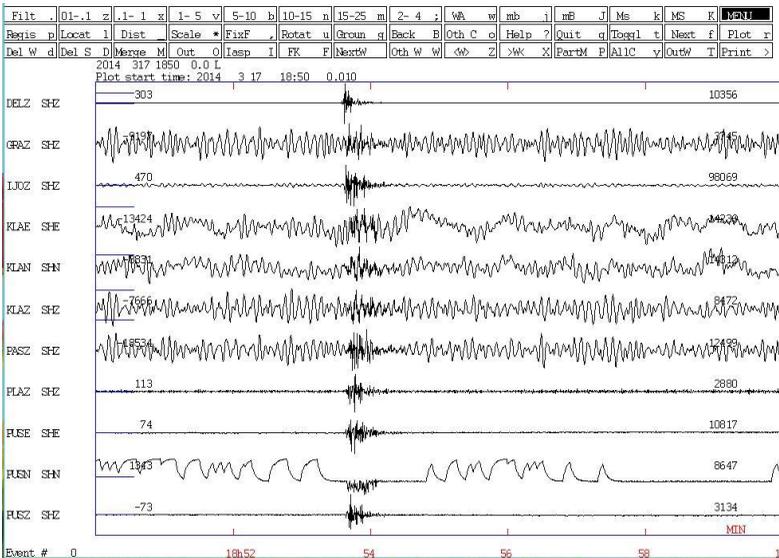
Gambar 1. Data seismik event 20140307



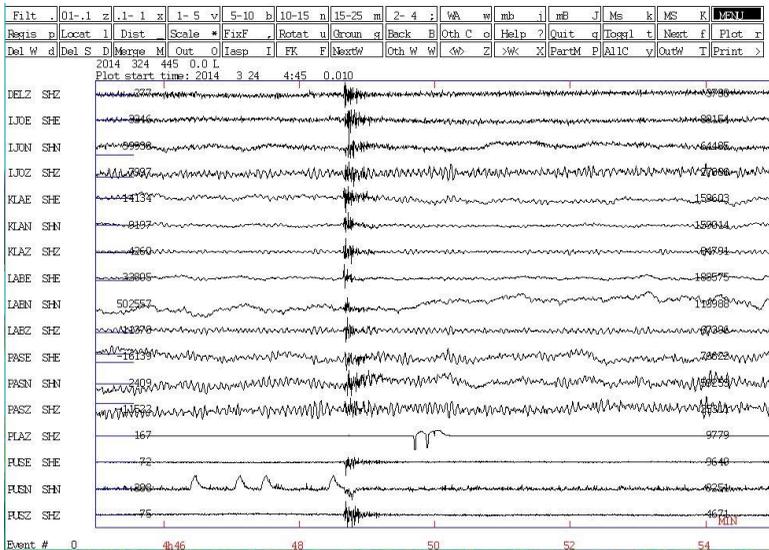
Gambar 2. Data seismik event 20140308



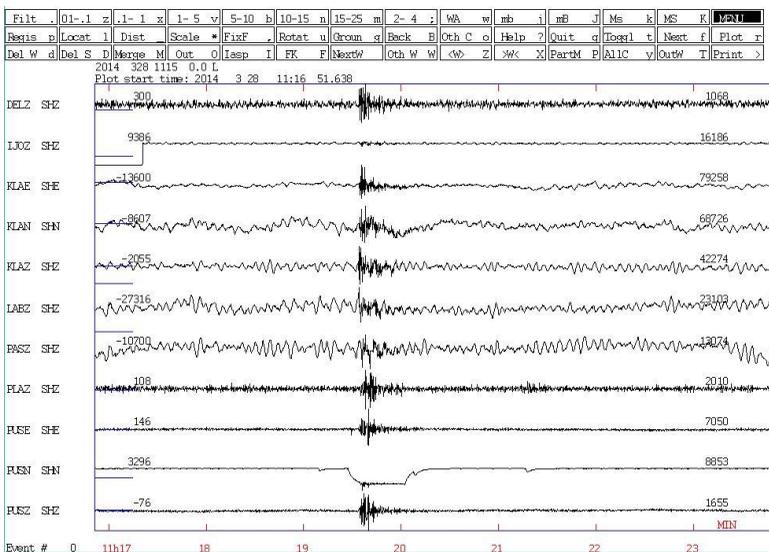
Gambar 3. Data seismik event 20140311



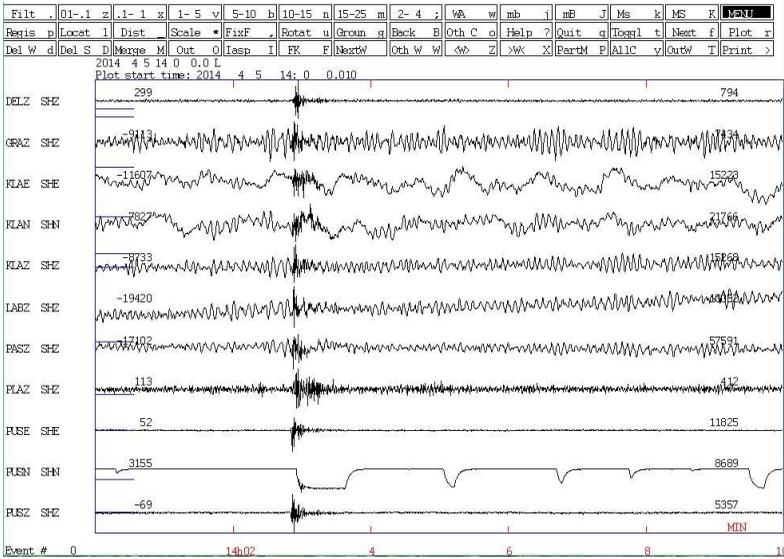
Gambar 4. Data seismik event 20140317



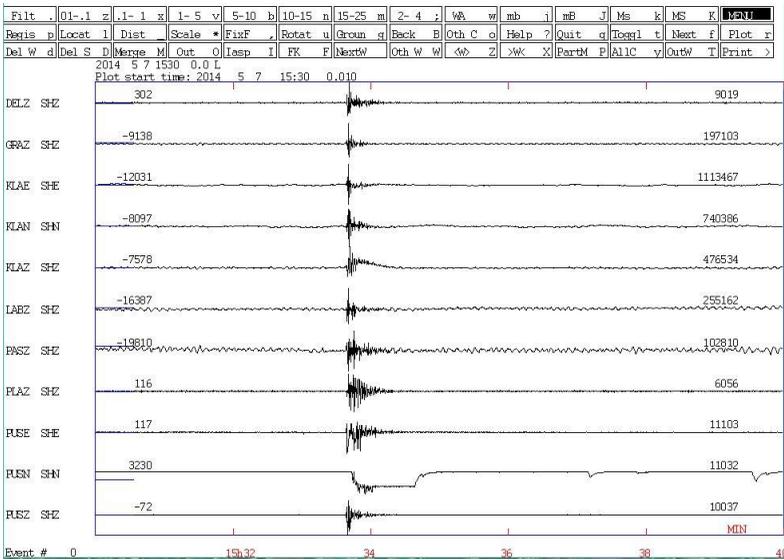
Gambar 5. Data seismik event 20140324



Gambar 6. Data seismik event 20140428

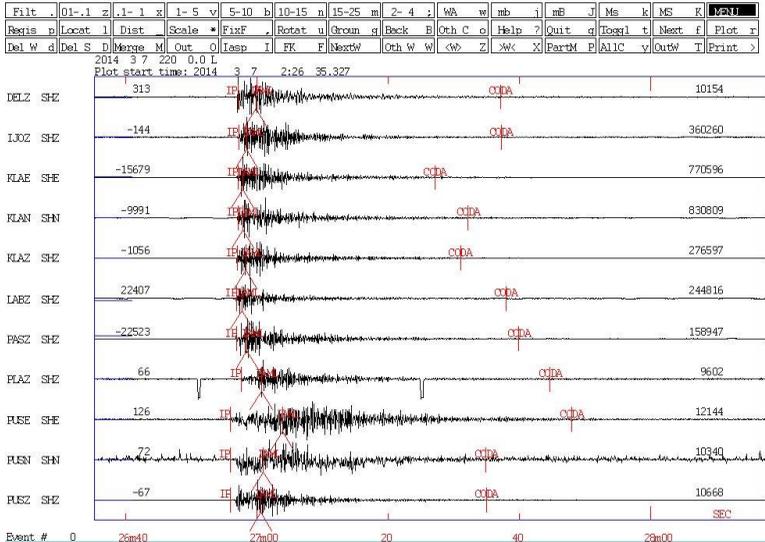


Gambar 7. Data seismik event 20140405

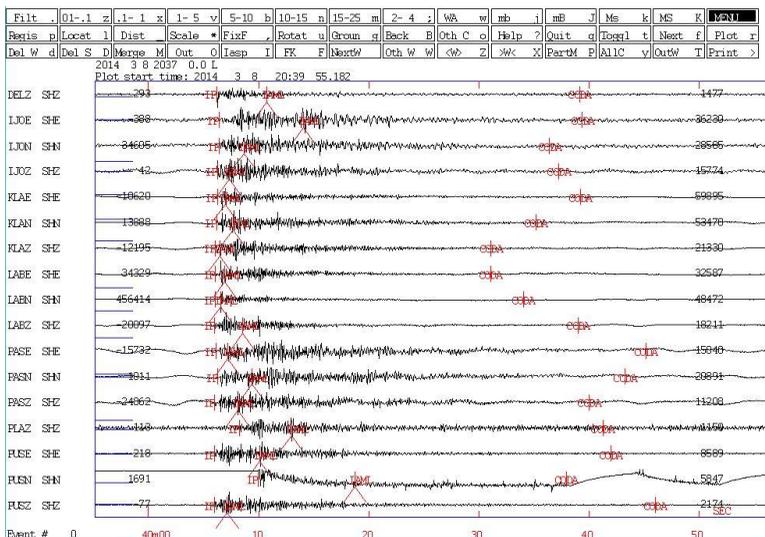


Gambar 8. Data seismik event 20140507

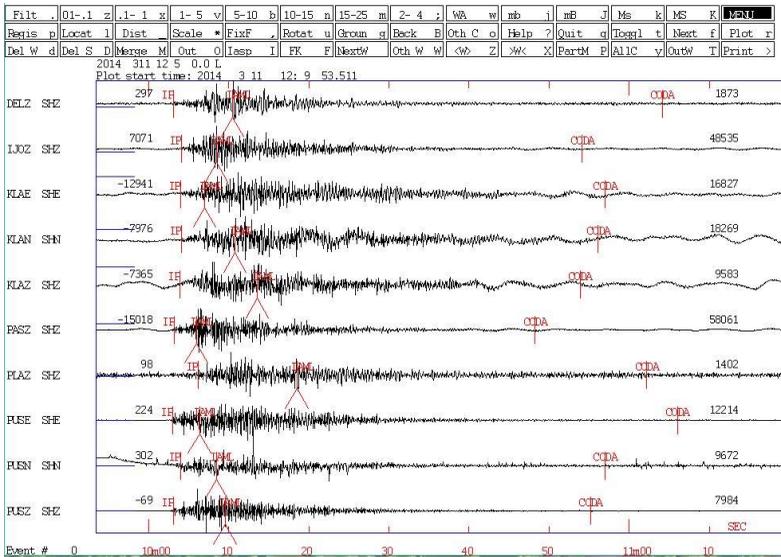
Lampiran 2 Picking data seismik



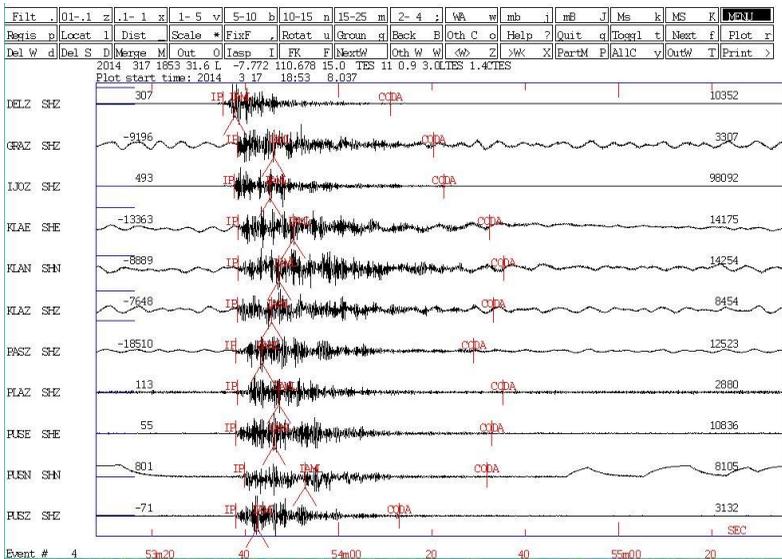
Gambar 9. Picking data seismik pada event 20140307



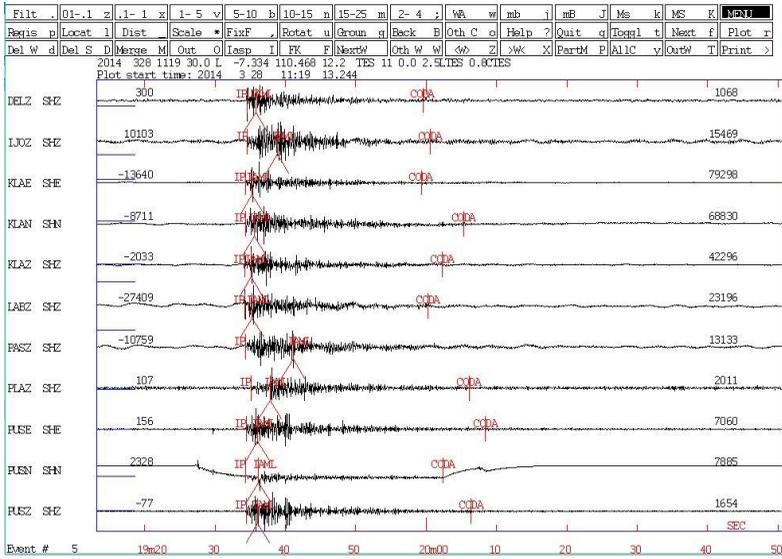
Gambar 10. Picking data seismik pada event 20140308



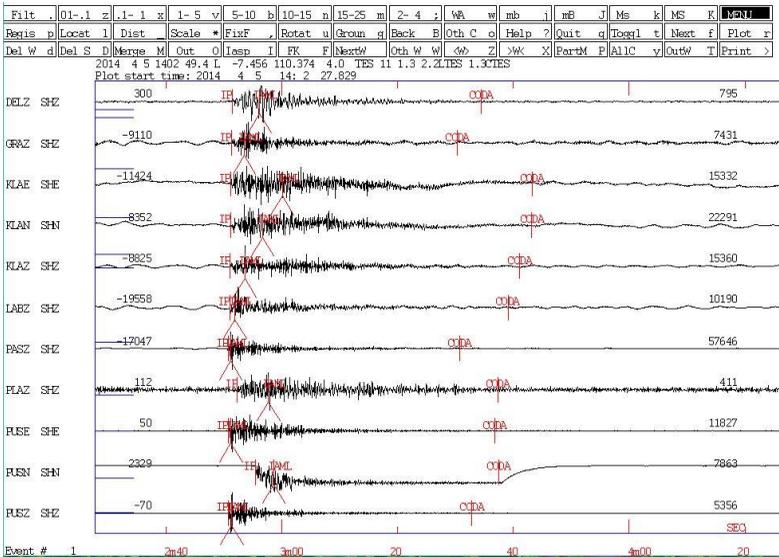
Gambar 1. Picking data seismik pada event 20140311



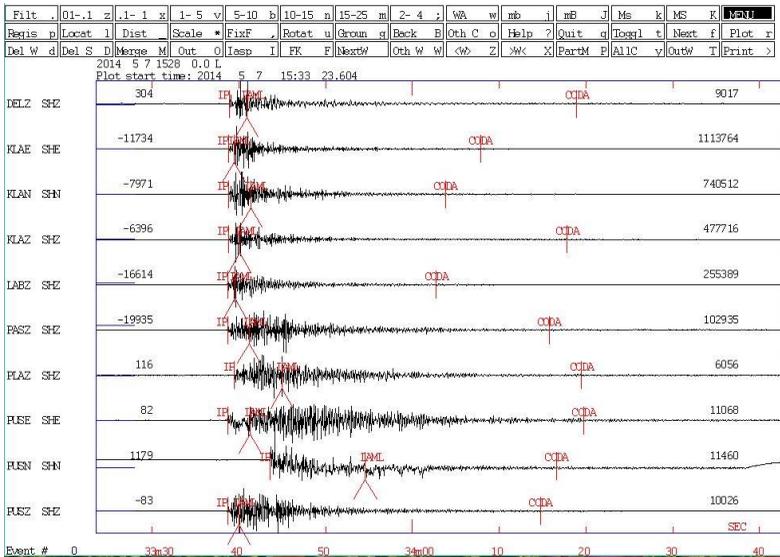
Gambar 12. Picking data seismik pada event 20140317



Gambar 13. Picking data seismik pada event 20140328

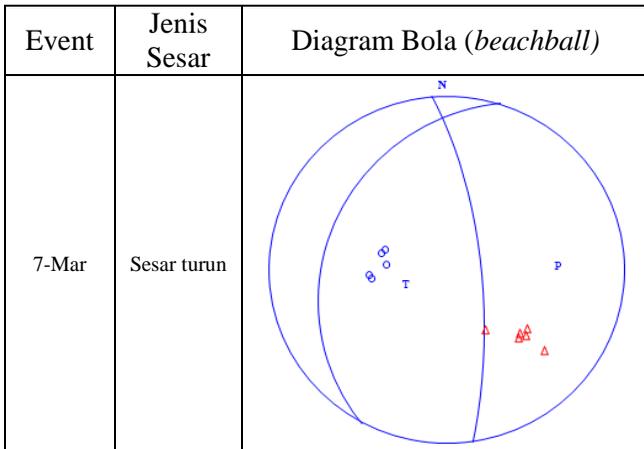


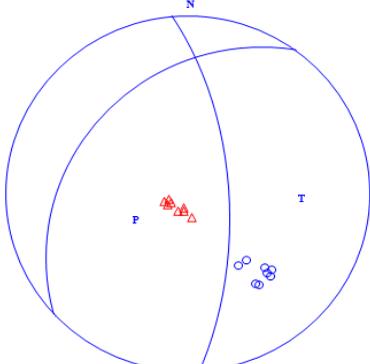
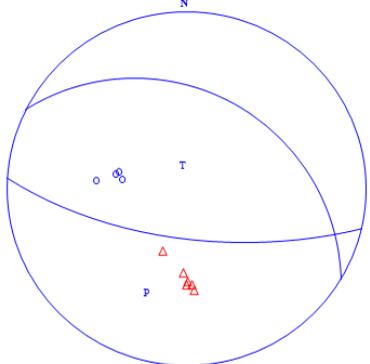
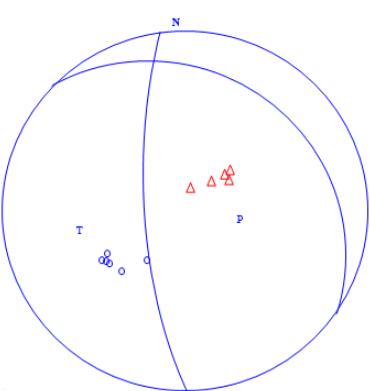
Gambar 14. Picking data seismik pada event 20140405

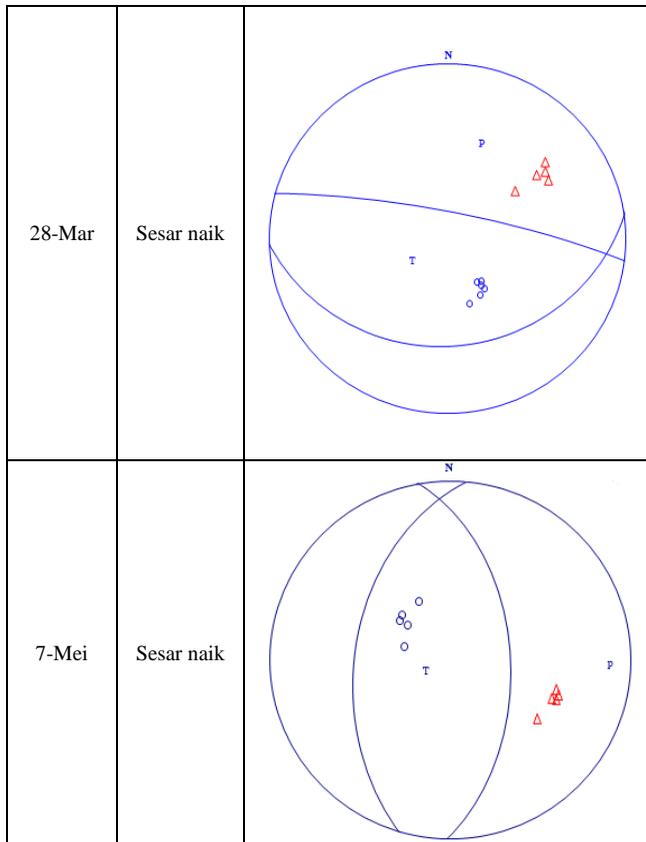


Gambar 15. Picking data seismik pada event 20140507

Lampiran 3 Hasil diagram bola (*beachball*)



8-Mar	Sesar turun	
11-Mar	Sesar naik	
17-Mar	Sesar naik	



Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Bangkalan, 9 April 1995, yang merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Telang 02, SMP Negeri1 Bangkalan dan SMA Negeri 1 Bangkalan. Setelah lulus dari SMAN tahun 2013, Penulis mengikuti pendaftaran kuliah jalur SNMPTN dan diterima pada pilihan keduanya di jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2013 dan terdaftar

dengan NRP. 1113100018. Penulis sempat aktif di kegiatan organisasi seperti Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) di departemen Sosial Masyarakat (SOSMAS) pada periode 2014/2015 dan 2015/2016, aktif sebagai asisten dosen Fisika Dasar I tahun ajaran 2015/2016 dan 2016/2017. Selain itu penulis juga mengikuti kegiatan kepelatihan dalam lingkup Jurusan seperti pelatihan LKMM pra-TD tahun 2013 dan dalam lingkup fakultas seperti pelatihan Sosdev Community School (SCS) IV. Di jurusan Fisika FMIPA-ITS ini Penulis mengambil Bidang Fisika Bumi, yang telah menyelesaikan mata kuliah coop penelitian dan tugas akhir di kantor Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta dengan bimbingan Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, S.U dan Sulistiyani, S.Si