

**STUDI ANALISIS PENENTUAN JENIS SESAR PENYEBAB
GEMPA KEBUMEN 25 JANUARI 2014 DENGAN METODE
PERGERAKAN AWAL GELOMBANG P**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

oleh:

RIZKA RAHMATIE AGUSTA PUTRI
105090301111012



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
2014

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI ANALISIS PENENTUAN JENIS SESAR PENYEBAB
GEMPA KEBUMEN 25 JANUARI 2014 DENGAN METODE
PERGERAKAN AWAL GELOMBANG P**

oleh:

**RIZKA RAHMATIE AGUSTA PUTRI
105090301111012**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal ...
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

**Drs. A. M. Juwono, M.Sc.
NIP. 196004211988021001**

**Tri Deni Rachman, S.Si
NIP. 198312262006041003**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Drs. Adi Susilo, Ph.D
NIP. 196312271991031002**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizka Rahmatie Agusta Putri
NIM : 105090301111012
Jurusan : Fisika
Penulis Skripsi berjudul :
Studi Analisis Penentuan Jenis Sesar Penyebab Gempa
Kebumen 25 Januari 2014 Dengan Metode Pergerakan Awal
Gelombang P

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, sedangkan karya-karya yang tersebut dalam isi Skripsi ini dan tertulis dalam Daftar Pustaka digunakan semata-mata sebagai referensi.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran

Malang, Juni 2014
Yang menyatakan,

(Rizka Rahmatie Agusta Putri)
NIM.105090301111012

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



STUDI ANALISIS PENENTUAN JENIS SESAR PENYEBAB GEMPA KEBUMEN 25 JANUARI 2014 DENGAN METODE PERGERAKAN AWAL GELOMBANG P

ABSTRAK

Gempa Kebumen merupakan salah satu gempa yang memiliki episenter di daerah selatan Jawa dengan tingkat seismisitas tinggi yang memungkinkan terjadi gempa lagi pada daerah penelitian. Gempabumi ini dapat disebabkan oleh sesar normal, sesar naik, atau sesar mendatar. Salah satu metode untuk menentukan jenis sesar dari pemodelan bola fokus adalah dengan meneliti pergerakan awal gelombang P di mana ditentukan gerakan *up* dan *down* pada gelombang seismik yang terbaca dalam seismogram. Proses pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan *software* Focal yang terdiri atas program Azmtak, Pman, dan PinV. Hasil dari pengolahan data menampilkan gempa Kebumen yang terjadi pada 25 Januari 2014 disebabkan oleh sesar turun yang memiliki *strike* = 283° , *dip* = 14° , dan *rake* = -105° . Sesar yang dianalisa dalam penelitian ini adalah gempa utama pada 25 Januari 2014 dan gempa susulannya yang memiliki magnitudo lebih dari 4,5 SR. Sesar yang terjadi akibat dari aktivitas subduksi selatan Jawa.

Kata kunci: Gempa Kebumen, sesar, *focal mechanism*, Azmtak

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**AN ANALYSIS STUDY ON THE FAULT TYPE
DETERMINATION OF KEBUMEN EARTHQUAKE ON 25
JANUARY 2014 USING FIRST MOTION OF P-WAVE
METHOD**

ABSTRACT

Kebumen earthquake was one of the earthquakes that had epicenters in the south of Java which have high seismicity, and, hence, high possibilities to create other earthquakes in the research area. This earthquake can be caused by normal fault, thrust fault, or strike-slip fault. One of the methods to determine the fault type from focal sphere modeling is by investigating the first motion of P wave by determining its up and down motions which was recorded by seismogram. The data processing uses Focal software that consists of Azmtak, Pman, and PinV program. The results of the data processing indicate that Kebumen earthquake occurred in 25 January 2014 was caused by the normal fault with strike = 283° , dip = 14° , and rake = -105° . This research analyzed fault types in mainshock which occurred in 25 Januari 2014, and aftershocks which had magnitudes of more than 4,5 SR. Those faults were caused by the subduction activities in south Java.

Keyword: Kebumen earthquake, fault, focal mechanism, Azmtak

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Analisis Penentuan Jenis Sesar Penyebab Gempa Kebumen 25 Januari 2014 dengan Metode Pergerakan Awal Gelombang P” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Fisika.

Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Adi Susilo selaku Ketua Jurusan Fisika atas izin pelaksanaan skripsi yang telah diberikan.
2. Bapak Dadang Permana selaku Kepala BMKG Tretes atas kesempatan yang diberikan pada penulis untuk melaksanakan penelitian di kantor pengamatan BMKG Tretes.
3. Bapak Alamsyah Juwono selaku Dosen Pembimbing 1 atas segala arahan, masukan, ketelatenan, dan kesabaran yang telah diberikan kepada penulis selama pengerjaan dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Nugraha Priyalaksmama atas izin yang diberikan dalam proses pengolahan data serta izin menginap di rumah dinas kantor BMKG Tretes.
5. Mas Tri Deni Rachman selaku pembimbing selama penelitian di kantor BMKG Tretes atas segala perhatian dan ilmu baru yang diberikan selama proses pengolahan dan analisa data.
6. Bapak Abdurrouf selaku Dosen Penasehat Akademik atas arahan dan bimbingannya selama kuliah
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya atas didikannya selama kuliah.
8. Mas Muhajir Anshori yang bersedia penulis repotkan pada saat proses pengolahan data dan atas bimbingan ilmu tambahan seismologi.
9. Orang tua penulis atas motivasi yang tiada terkira sehingga skripsi ini dapat selesai tepat waktu.

10. Athika Diena sebagai kakak penulis yang bersedia mengedit abstrak dan mengajarkan penulis untuk bertutur kata yang baik dan benar sebagai penyaji.
11. Aulia Romadhona sebagai adik penulis yang bersedia penulis reportkan dalam hal penulisan serta pengeditan *slide powerpoint*
12. Teman-teman seperjuangan Intan, Kuni, dan Nisak yang selalu berbagi ilmu, semangat, canda-tawa, dan kegalauan atas proses pengolahan data dan penulisan yang tak kunjung selesai.
13. Teman-teman *Fast Track* Cinantya dan Fina atas motivasi dan dukungannya yang mendorong penulis untuk menyelesaikan skripsi ini tepat waktu.
14. Teman-teman gokil Ajeng, Ully, Umy, Aam, dan Dewi atas canda-tawa, kebersamaan, dan gosip-gosip gak jelas yang tertuju entah ke mana, serta video-video Korea yang menuh-menuhin hardisk yang membuat kuliah fisika lebih berwarna.
15. Seluruh teman-teman Fisika 2010 serta keluarga besar fisika atas kebersamaannya selama penulis kuliah S1 fisika di Universitas Brawijaya.
16. Seluruh teman-teman Fisika S2 atas canda-tawanya yang sempat membuat penulis lupa akan kegalauan skripsi.
17. Seluruh pihak yang penulis reportkan dalam hal penginstallan windows di antaranya Pak Kating, Mas Nanang, dan teknisi Acer di Summersari.

Serta banyak pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Semoga Allah memberikan balasan atas kebaikan kalian semua.

Penulis menyadari bahwa pada skripsi ini masih terdapat kekurangan mengingat keterbatasan kemampuan penulis. Saran dan kritik sangat penulis harapkan guna melengkapi skripsi ini dan menjadikannya lebih baik.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi kita semua.

Malang, Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	v
ABSTRAK / ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gelombang Seismik	5
2.1.1 Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>)	5
2.1.2 Gelombang permukaan.....	7
2.2 Teori Lempeng Tektonik.....	8
2.2.1 Batas Divergen.....	8
2.2.2 Batas Konvergen	9
2.2.3 Batas Transform	10
2.3 Gempabumi	10
2.4 Bidang Sesar	12
2.4.1 Jenis-Jenis Sesar.....	12
2.4.2 Geometri Bidang Sesar	13
2.5 Mekanisme fokus Gempabumi	14
2.5.1 Bola Fokus dan Diagram Mekanisme Fokus Gempabumi	14
2.5.2 Teori Kopel Ganda	21
2.6 Metode Gerakan Pertama Gelombang P.....	23
2.7 Seismotektonik Selatan Jawa	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27

3.2	Data Penelitian	27
3.3	Perangkat yang Digunakan.....	28
3.4	Langkah Penelitian	28
3.4.1	Pengumpulan Data	28
3.4.2	Pengolahan Data.....	28
3.4.2.1	Penentuan Pergerakan Awal Gelombang P	29
3.4.2.3	Pemetaan	30
3.4.3	Interpretasi Data	30
3.4.4	Diagram Alir	31
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Hasil Analisis Bidang Sesar	35
4.1.1	Analisis Bola Fokus.....	35
4.1.2	Hasil Analisis <i>Software Focal</i>	36
4.1.3	Perbandingan Parameter Bidang Sesar Gempa Kebumen 25 Januari 2014.....	38
4.2	Analisis Gempabumi dengan Kondisi Tektonik.....	40
BAB V	PENUTUP	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....		49
LAMPIRAN.....		53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Pergerakan partikel pada gelombang P	6
Gambar 2. 2 Pergerakan partikel pada gelombang S	6
Gambar 2. 3 Pergerakan partikel pada gelombang Rayleigh	7
Gambar 2. 4 Pergerakan partikel pada gelombang Love	7
Gambar 2. 5 Batas divergen	8
Gambar 2. 7 Batas konvergen membentuk zona subduksi	9
Gambar 2. 8 Batas konvergen membentuk zona tumbukan	9
Gambar 2. 9 Batas transform	10
Gambar 2. 10 Proses deformasi batuan yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi	11
Gambar 2. 11 Sesar naik (<i>thrust fault</i>)	12
Gambar 2. 12 Sesar normal	13
Gambar 2. 13 Sesar mendatar	13
Gambar 2. 14 Geometri sesar	14
Gambar 2. 15 Ortogonalitas dua bidang	15
Gambar 2. 16 Bola pusat yang menggambarkan hiposenter	16
Gambar 2. 17 Proyeksi bidang secara stereografi	17
Gambar 2. 18 Proyeksi fault <i>strike</i> dan <i>dip</i> pada stereonet	18
Gambar 2. 19 Penentuan <i>strike</i> dan <i>dip</i>	19
Gambar 2. 20 Mekanisme fokus untuk penentuan bidang sesar	20
Gambar 2. 21 Model kopel tunggal dan model kopel ganda	22
Gambar 2. 22 Pergerakan pertama gelombang P	23
Gambar 2. 23 Penentuan diagram bola fokus menggunakan pergerakan awal gelombang P	24
Gambar 3. 1 Penentuan <i>up</i> atau <i>down</i> pada gerakan awal gelombang P	29
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian	31
Gambar 3. 3 Diagram alir pengolahan data pada <i>software</i> Dimas	32
Gambar 3. 4 Diagram alir pengolahan data pada <i>software</i> Focal	33
Gambar 3. 5 Diagram alir pemetaan	34
Gambar 4. 1 <i>Focal Mechanism</i> pada gempa 25 Januari 2014	37
Gambar 4. 2 Perbandingan analisis <i>Focal Mechanism</i> dengan data global	39

Gambar 4. 3 Mekanisme fokus gempa Kebumen 2014 dari *software* Focal41

Gambar 4. 4 Peta seismisitas daerah selatan Jawa (atas) dan hasil *Cross Section* yang menggambarkan zona subduksi (bawah).....43

Gambar 4. 5 Penampang zona subduksi44

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. <i>Screenshot</i> Pengolahan Data.....	53
Lampiran 2. Data Penelitian	56
Lampiran 3. Data Koordinat Stasiun (BMKG).....	58
Lampiran 4. Data Pergerakan Awal Gelombang P	64
Lampiran 5. Data nilai azimuth dan take off angle dari program Azmtak	66



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki struktur geologi unik. Indonesia merupakan jalur pertemuan tiga lempeng yaitu, lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif ke utara, lempeng Eurasia yang bergerak relatif tenggara, dan lempeng Pasifik yang bergerak relatif ke barat. Selain itu, terdapat pula lempeng mikro Filipina yang bergerak ke arah selatan di sebelah utara Sulawesi (USGS). Pergerakan lempeng-lempeng ini menimbulkan gesekan di sepanjang bidang batas pertemuan lempeng dan menimbulkan akumulasi energi yang besar. Selanjutnya, pada suatu kondisi di mana batuan tidak mampu menahan lagi tekanan yang ditimbulkan oleh gerakan lempeng, energi akan dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gelombang yang menjalar ke segala arah dan disebut gempa bumi.

Pertemuan tiga lempeng besar Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik, serta aktifitas lempeng-lempeng mikro mengakibatkan terbentuknya sesar-sesar. Hal ini menyebabkan kompleksnya tektonik Indonesia dan tingginya tingkat seismisitas. Salah satu daerah dengan seismisitas yang tinggi adalah selatan Jawa. Selatan Jawa memiliki tingkat seismisitas tinggi karena adanya proses subduksi antar lempeng. Subduksi ini merupakan penunjaman lempeng samudra Indo-Australia ke lempeng benua Eurasia yang terjadi pada wilayah selatan Jawa.

Gempa Kebumen merupakan salah satu gempa yang memiliki episenter di daerah selatan Jawa dengan tingkat seismisitas tinggi yang memungkinkan terjadinya gempa lagi pada daerah penelitian, sehingga perlu adanya tinjauan lebih dalam mengenai mekanisme penyebab gempa bumi tersebut. Untuk mengetahui sebab timbulnya gempa bumi, maka diperlukan studi, yang antara lain, dapat dilakukan melalui

analisis mekanisme fokus gempa bumi. Berdasarkan data GFZ, mekanisme fokus dari gempa Kebumen menampilkan sesar turun di mana gempa bumi yang terjadi pada selatan Jawa biasanya memiliki sesar naik akibat proses subduksi. Oleh karena itu, perlu adanya tinjauan ulang mengenai pola sesar yang terbentuk pada gempa Kebumen. Selain itu, alasan penulis memilih gempa Kebumen adalah gempa ini cukup signifikan karena getarannya dirasakan sampai, misalnya, di kota Malang dan Jakarta (BMKG).

Studi mengenai analisis penentuan orientasi sesar penyebab timbulnya gempa bumi sangat penting karena berguna untuk pengembangan lebih lanjut mengenai pemahaman terhadap potensi dan kekuatan gempa bumi yang terjadi di daerah penelitian. Selain itu, mekanisme fokus dapat digunakan untuk menentukan potensi terjadinya tsunami di daerah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana cara menganalisis mekanisme fokus suatu gempa bumi?
- b. Bagaimana mempelajari karakteristik penyebab gempa bumi Kebumen berdasarkan hubungan bidang sesar dari gempa tersebut?
- c. Bagaimana menganalisis perbedaan hasil mekanisme fokus gempa bumi Kebumen berdasarkan analisis data dari Inatews, GFZ, GlobalCMT, dan *software* Focal?
- d. Bagaimana mempelajari karakteristik gempa bumi Kebumen yang dikaitkan dengan kondisi tektonik Indonesia?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian dilakukan dengan membatasi permasalahan pada:

- a. Mekanisme sumber gempa bumi yang dipelajari dengan pemodelan bola fokus berdasarkan metode pergerakan awal gelombang P.
- b. Pola sesar yang dianalisis adalah gempa pada 25 Januari 2014 pukul 05:14 UTC.
- c. Daerah penelitian yang terkait dengan karakteristik gempa bumi Kebumen berada pada koordinat 103.5^0 BT - 115^0 BT dan 5.5^0 LS - 13^0 LS.
- d. Stasiun yang dianalisis berdasar pada stasiun yang mencatat gelombang seismik gempa Kebumen.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mempelajari mekanisme terbentuknya sumber gempa berdasarkan metode pergerakan awal gelombang P.
- b. Mempelajari karakteristik penyebab gempa bumi Kebumen berdasarkan hubungan bidang sesar dari gempa tersebut, antara lain tentang arah sesar (*strike*), besar sudut kemiringan (*dip*), dan besar sudut pergeserannya (*rake*).
- c. Menganalisis perbedaan hasil analisis mekanisme fokus gempa bumi Kebumen berdasarkan analisis data dari Inatews, GFZ, GlobalCMT, dan *software* Focal
- d. Mempelajari karakteristik gempa bumi Kebumen yang dikaitkan dengan kondisi tektonik Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan untuk:

- a. Menentukan arah pergerakan patahan penyebab gempa bumi.
- b. Menentukan potensi dan kekuatan gempa bumi yang terjadi di daerah penelitian, sebagai langkah awal untuk pengembangan lebih lanjut.
- c. Mitigasi terhadap bencana gempa bumi di daerah penelitian.
- d. Perencanaan pembangunan daerah penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

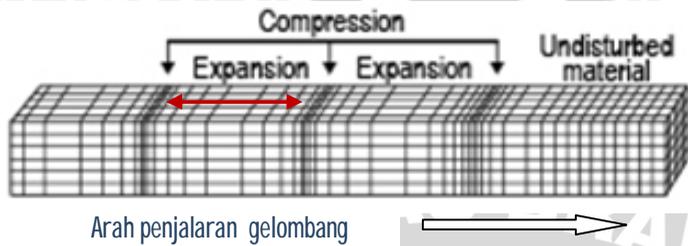
2.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat di dalam maupun di permukaan Bumi, yang berasal dari sumber seismik seperti sumber gempa, erupsi gunung api, longsor, badai, dsb. Gelombang seismik termasuk gelombang mekanik di mana medium dibutuhkan dalam perambatannya. Gelombang ini akan tercatat oleh seismogram sebagai osilasi partikel di titik stasiun seismik tersebut. Gelombang merambatkan energi dari sumber ke seluruh bagian Bumi dan membawa informasi dari sumber seismik serta medium yang dilaluinya (Afnimar, 2009).

Secara garis besar gelombang seismik dibagi menjadi dua macam, yaitu gelombang badan dan gelombang permukaan. Masing-masing dari kedua jenis gelombang ini dijelaskan sebagai berikut.

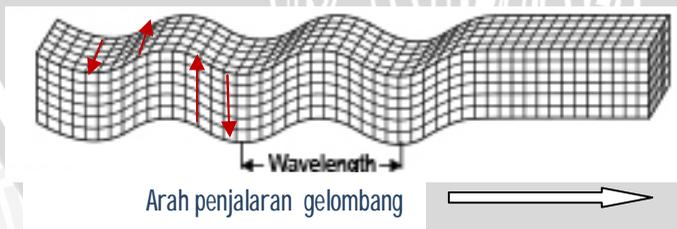
2.1.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan adalah gelombang yang merambat di dalam Bumi. Berdasarkan cara perambatannya, gelombang badan terdiri atas dua tipe, yaitu gelombang primer (P) dan sekunder (S). Gelombang P adalah gelombang yang bersifat kompresional karena pada umumnya energi lebih banyak ditransfer melalui proses kompresi, dan merupakan gelombang longitudinal di mana arah pergerakan partikel medium adalah searah dengan arah rambat gelombang. Arah pergerakan partikel dan penjalaran gelombang P dapat dilihat pada Gambar 2.1. Gelombang P dapat dicirikan sebagai gelombang yang mempunyai waktu tiba paling awal di lokasi seismograf, sehingga seismograf merekam gelombang P sebagai gelombang seismik pertama tercatat.



Gambar 2.1 Pergerakan partikel pada gelombang P (Geohazards, 2013).

Gelombang S adalah gelombang transversal di mana arah pergerakan partikelnya tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombang. Arah pergerakan partikel dan penjalaran gelombang S dapat dilihat pada Gambar 2.2. Gelombang S dibagi menjadi dua, yaitu gelombang S vertikal (SV) dan gelombang S horisontal (SH). Gerak partikel gelombang SV tegak lurus terhadap *ray* dan bergerak pada bidang vertikal. Sedangkan gerak partikel gelombang SH juga tegak lurus terhadap *ray* tapi terletak pada bidang horizontal atau sejajar dengan permukaan Bumi. Gelombang S hanya dapat merambat pada medium padat saja. Kecepatan gelombang S lebih lambat dari gelombang P, yaitu sekitar $\frac{2}{3}$ kecepatan gelombang P atau 4-6 km/sekon. Oleh karena itu, gelombang S terekam setelah gelombang P (Shearer, 2009).



Gambar 2.2 Pergerakan partikel pada gelombang S (Geohazards, 2013).

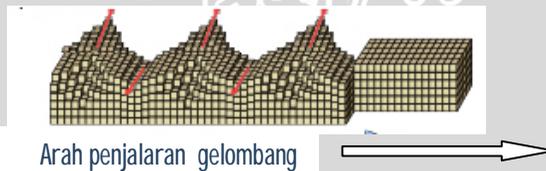
2.1.2 Gelombang permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang kompleks dengan frekuensi rendah dan amplitudo besar yang menjalar pada *free surface*. Kecepatan penjarangan gelombang ini sekitar 500-600 m/s. Gelombang ini terdiri atas dua tipe, yaitu gelombang Rayleigh dan Love.

Gelombang Rayleigh merupakan gelombang permukaan yang gerakan partikel mediumnya merupakan kombinasi gerakan partikel gelombang P dan gelombang S. Gerakan partikel dari gelombang Rayleigh dapat dilihat pada Gambar 2.3. Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gambar 2.4 menampilkan gerakan partikel akibat penjarangan gelombang Love yang mirip dengan gelombang S. Kecepatan penjarangan gelombang Love tergantung dengan panjang gelombangnya dan bervariasi sepanjang penjarannya. Rambatan gelombang Love lebih cepat daripada gelombang Rayleigh sehingga lebih dahulu sampai pada seismograf dibanding gelombang Rayleigh (Shearer, 2009).



Gambar 2.3 Pergerakan partikel pada gelombang Rayleigh (Geohazards, 2013).



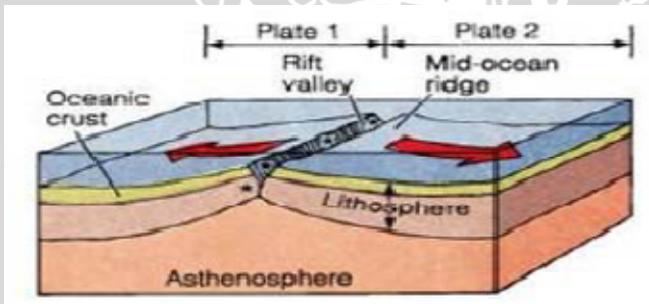
Gambar 2.4 Pergerakan partikel pada gelombang Love (Geohazards, 2013).

2.2 Teori Lempeng Tektonik

Teori lempeng tektonik adalah teori yang memberikan penjelasan terhadap adanya bukti-bukti pergerakan skala besar yang terjadi pada litosfer Bumi. Bagian terluar pada struktur Bumi adalah kerak Bumi. Kerak Bumi merupakan bagian terluar dari litosfer. Di bawah lapisan kerak Bumi terdapat selubung yang juga bagian dari litosfer. Di bawah lapisan litosfer terdapat astenosfer yang berupa material cair dan kental. Pergerakan lempeng yang menimbulkan pergeseran benua terjadi pada lapisan litosfer.

Di Bumi terdapat tujuh lempeng utama, dan beberapa lempeng yang lebih kecil lainnya. Lempeng-lempeng litosfer ini berada di atas astenosfer. Lempeng-lempeng tersebut bergerak relatif dengan yang lainnya di batas-batas lempeng. Berdasarkan arah pergerakan lempeng, perbatasan lempeng satu dengan yang lainnya dibedakan menjadi tiga, yaitu divergen, konvergen, dan transform (Ismawati, 2011).

2.2.1 Batas Divergen

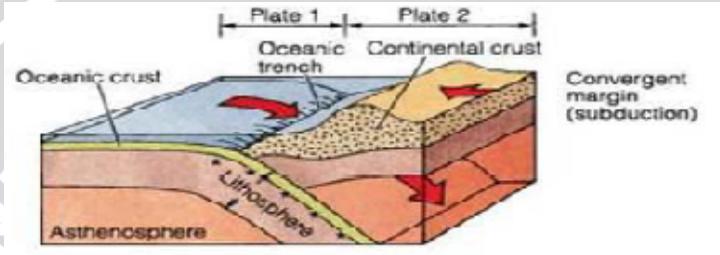


Gambar 2.5 Batas divergen (Karyadi, 2008).

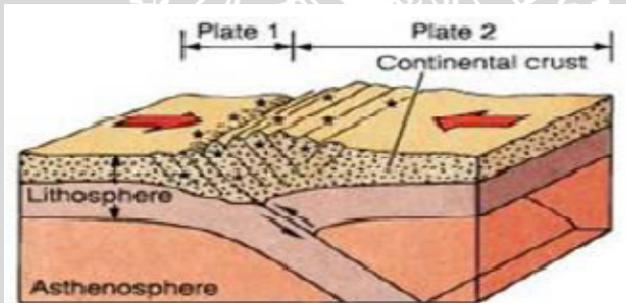
Terbentuknya batas divergen seperti pada Gambar 2.5 terjadi pada lempeng yang bergerak saling *break apart*. Ketika lempeng tektonik pecah, lapisan litosfer akan menipis dan terbelah dan membentuk batas divergen. Pada lempeng samudra proses ini menyebabkan pemekaran dasar laut,

sedangkan pada lempeng benua proses ini menyebabkan terjadinya lembah retakan.

2.2.2 Batas Konvergen



Gambar 2.6 Batas konvergen membentuk zona subduksi (Karyadi, 2008).

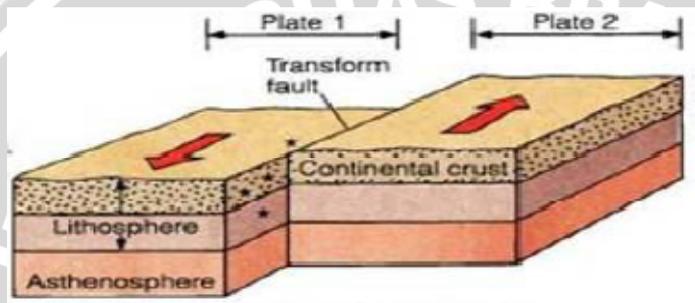


Gambar 2.7 Batas konvergen membentuk zona tumbukan (Karyadi, 2008).

Batas konvergen ditandai dengan adanya dua lempeng yang bergerak dengan arah saling mendekati. Gambar 2.6 menggambarkan zona subduksi di mana lempeng samudra menunjam ke lempeng benua atau lempeng samudra yang lain. Pergerakan antar lempeng ini juga dapat menyebabkan lempeng-lempeng saling bertumbukan ke atas dan membentuk zona tumbukan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.7. Pada zona subduksi dengan kedalaman sekitar 150 – 200 km,

terjadi perubahan komposisi susunan kimia dalam magma yang menyebabkan magma dapat naik ke permukaan Bumi menjadi gunung api karena gesekan dan tekanan yang tinggi.

2.2.3 Batas Transform



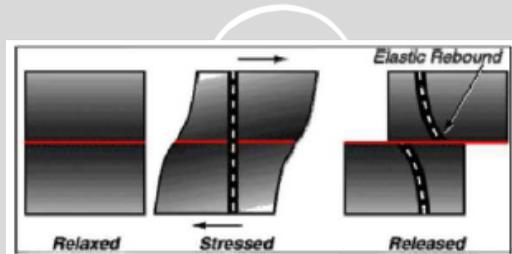
Gambar 2.8 Batas transform (Karyadi, 2008).

Batas transform (*transform boundaries*) terjadi jika lempeng bergerak dan mengalami gesekan satu sama lain secara menyamping. Gambar 2.8 memperlihatkan pergerakan lempeng yang saling bergesekan, tidak saling memberai atau menumpuk. Gerakan relatif kedua lempeng bisa sinistral (ke kiri di sisi yang berlawanan dengan pengamat) ataupun dekstral (ke kanan di sisi yang berlawanan dengan pengamat). Contoh sesar jenis ini adalah Sesar San Andreas di California (Chasanah, 2013).

2.3 Gempabumi

Gempabumi adalah getaran yang terjadi di permukaan Bumi karena adanya pergerakan kerak Bumi (lempeng Bumi) secara tiba-tiba yang disebabkan oleh patahan atau vulkanisme (Munir, 2003). Proses terjadinya gempabumi tektonik dapat didefinisikan sebagai berikut. Misalkan terdapat dua lempeng yang saling bergerak relatif terhadap sesamanya. Pergerakan

ini menimbulkan gesekan di sepanjang bidang batas kedua lempeng tersebut. Gesekan kedua lempeng tersebut diasumsikan bersifat elastis dan dapat menimbulkan energi yang disebut energi elastis. Kalau hal ini terjadi terus menerus, maka terjadi akumulasi energi yang besar. Pada kondisi tertentu di mana batuan tersebut tidak mampu menahan lagi *stress*/tekanan/gaya yang ditimbulkan oleh gerakan relatif tersebut, energi elastis yang terakumulasi akan dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gelombang elastis yang menjalar ke segala arah. Proses ini dinamakan gempa bumi (Chasanah, 2013).



Gambar 2.9 Proses deformasi batuan yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi (Chasanah, 2013).

Bagian sebelah kiri Gambar 2.9 menunjukkan suatu lapisan yang belum mengalami perubahan bentuk geologis. Adanya gerakan yang terus-menerus di dalam Bumi menyebabkan terbentuknya *stress* yang lama kelamaan akan terakumulasi dan mampu mengubah bentuk geologi dari lapisan batuan. Keadaan selanjutnya ditampilkan pada Gambar 2.9 bagian tengah, yang menerangkan suatu lapisan batuan telah mendapat *stress* dan mengalami perubahan bentuk geologis. Proses ini berjalan terus-menerus sampai *stress* yang terjadi di daerah ini cukup besar untuk berubah menjadi gesekan antar daerah. Lama-kelamaan lapisan batuan sudah tidak mampu lagi untuk menahan *stress*, sehingga terjadi suatu pergerakan atau perpindahan yang tiba-tiba dan terjadilah patahan. Gambar 2.9 bagian kanan menampilkan keadaan akhir, di mana lapisan batuan sudah patah karena adanya pergerakan yang tiba-tiba dari batuan tersebut. Gerakan

perlahan-lahan sesar ini akan berjalan terus-menerus dan berulang, sehingga seluruh proses di atas akan terulang. Hal ini menyebabkan sebuah gempa akan terjadi lagi setelah beberapa waktu lamanya (Harmadhoni, 2011).

2.4 Bidang Sesar

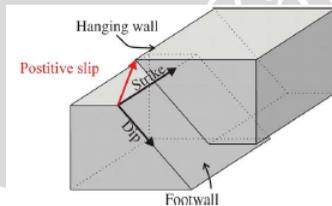
2.4.1 Jenis-Jenis Sesar

Sesar atau patahan (*fault*) adalah suatu bentuk rekahan pada lapisan batuan Bumi yang menyebabkan satu blok batuan bergerak relatif terhadap blok yang lain. Terdapat tiga jenis sesar, yaitu sesar turun, sesar naik, dan sesar geser. Selain ketiga jenis sesar tersebut, dikenal pula sesar yang merupakan kombinasi antara sesar mendatar dan sesar naik/turun yang disebut *oblique fault*. Orientasi bidang sesar ditentukan oleh parameter bidang sesar yang terdiri atas *strike*, *dip*, dan *rake* (Reid, 1982).

Jika parameter-parameter *strike*, *dip*, dan *rake* diketahui maka dapat ditentukan jenis sesarnya. Berdasarkan gaya yang bekerja, sesar dibagi menjadi (Ginancar, 2007):

- **Sesar naik (*reverse fault* atau *Thrust fault*)**

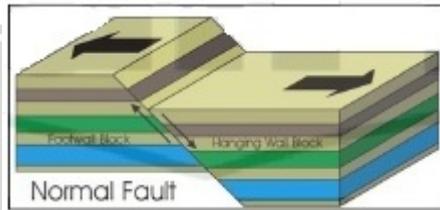
Dalam mempelajari sesar, terdapat dua unsur yaitu *hanging wall* dan *foot wall*. *Hanging wall* merupakan atap sesar dan *foot wall* merupakan alas sesar. Gambar 2.10 menampilkan daerah *hanging wall* dan *foot wall* pada sesar. Sesar naik terjadi bila *hanging wall* pada sesar tersebut bergerak relatif naik terhadap *foot wall*.



Gambar 2.10 Sesar naik (*thrust fault*)(USGS).

- **Sesar turun (*normal fault*)**

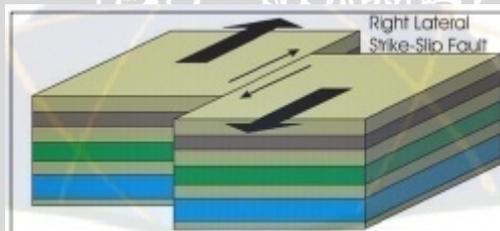
Sesar turun terjadi karena *hanging wall* pada sesar tersebut bergerak relatif turun terhadap *foot wall*. Bila batuan yang menumpu merosot ke bawah akibat batuan penumpu di kedua sisinya bergerak saling menjauh, sesarnya dinamakan sesar turun/normal.



Gambar 2.11 Sesar normal (Ismawati, 2011).

- **Sesar mendatar (*strike slip fault*)**

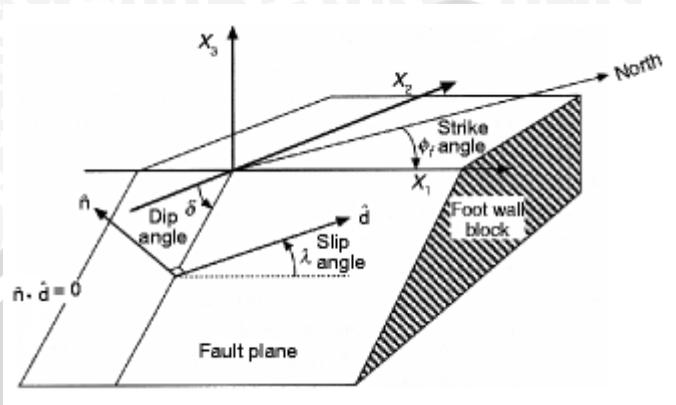
Sesar mendatar yaitu sesar dengan arah gerakan bergerak mendatar relatif satu sama lain. Sesar mendatar terjadi bila kedua batuan pada sesar bergerak saling bergeser horizontal.



Gambar 2.12 Sesar mendatar (Ismawati, 2011).

2.4.2 Geometri Bidang Sesar

Bidang sesar kemiringan dapat didiskripsikan dengan ilustrasi bidang sesar sebagai berikut.



Gambar 2.13 Geometri sesar (Okal, 2011).

Gambar 2.13 menampilkan orientasi bidang sesar yang terdiri atas *strike*, *dip* dan *rake* dalam sistem koordinat $(x,y,z) = (\textit{north}, \textit{east}, \textit{down})$, yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Jurusan sesar (*strike*) (ϕ) yaitu sudut yang dihitung searah jarum jam dari arah utara ke arah bidang sesar.
2. Sudut kemiringan sesar (*dip*) (δ) yaitu sudut yang dibentuk antara permukaan atau bidang horisontal dengan bidang sesar. Besar *dip* antara 0^0 sampai 90^0 .
3. *Rake* (λ) merupakan besar sudut antara *strike* dengan pergeseran relatif (*slip*).
4. Pergeseran relatif (*slip*) adalah pergeseran relatif pada sesar yang diukur dari satu blok ke blok lain pada bidang sesar. *Slip* merupakan pergeseran titik yang sebelumnya berimpit.

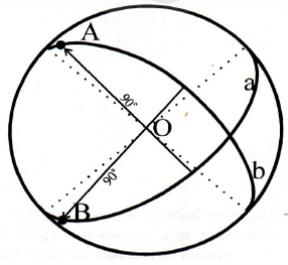
2.5 Mekanisme fokus Gempabumi

2.5.1 Bola Fokus dan Diagram Mekanisme Fokus Gempabumi

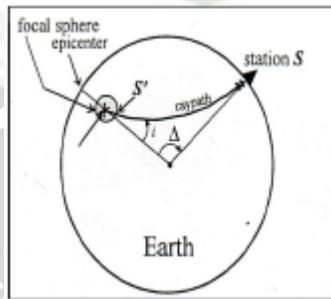
Bola fokus adalah bola satuan (jari-jari 1 satuan) yang fiktif, yang berpusat pada fokus gempa. Studi mekanisme fokus gempa bertujuan untuk menentukan model sesar gempa

berdasarkan pemodelan bola fokus. Dasar dari metode ini adalah konsep bola fokus yang diartikan sebagai lingkaran kutub yang mengelilingi fokus gempa. Pada permukaan bola fokus dibuat skema posisi dari stasiun dan pergerakan tanah yang diasosiasikan dengan kedatangan gelombang seismik pada stasiun tersebut. Salah satu metode penentuan orientasi bidang sesar dengan pemodelan bola fokus adalah metode pergerakan awal gelombang P. Penggambaran distribusi pergerakan pertama gelombang P secara global dapat digunakan dengan prosedur grafik untuk menentukan dua bidang nodal. Dua bidang nodal inilah yang akan menginterpretasikan bidang sesar.

Dua bidang nodal dinyatakan pada diagram sebagai dua garis. Dua bidang tersebut tegak lurus satu sama lain sehingga masing-masing bidang saling berpotongan melalui pusatnya. Gambar 2. 14 menunjukkan titik potong tersebut sebagai titik A dan B pada garis nodal b dan a. Bola fokus merupakan ilustrasi belahan Bumi *stereographic projection* yang menampilkan dua kuadran arsiran dan dua kuadran putih, dan keduanya dipisahkan dengan bidang nodal. Dua bidang nodal membagi daerah pola kompresi dan dilatasi pada bola. Pola kompresi dan dilatasi dipetakan pada bola sebagai daerah kuadran putih dan kuadran arsiran. Setengah bola bawah dari bola fokus dapat diplot pada suatu bidang horisontal yang disebut *stereonet*, melalui suatu proyeksi stereografi seperti pada Gambar 2. 16.



Gambar 2. 14 Ortogonalitas dua bidang
(Harmadhoni, 2011).



Gambar 2.15 Bola pusat yang menggambarkan hiposenter (USGS).

Gambar 2.15 menggambarkan gelombang gempabumi mencapai stasiun S meninggalkan bola fokus gempa dengan koordinat sudut elevasi i dan sudut Δ . Koordinat i menyatakan sudut kepergian sinar atau *take off angle*. Sudut ini dibentuk dari arah vertikal sampai arah sinar. *Take off angle* secara matematis dapat diselesaikan dengan Persamaan 2.1. Sedangkan Δ menyatakan sudut yang dibentuk dari episenter searah jarum jam hingga stasiun penerima. Nilai dari Δ dapat diperoleh dari Persamaan 2.2. S' ditentukan pada bola fokus gempabumi dengan pergerakan awal gelombang P yang diamati di stasiun S. Skema pada bola fokus merupakan koordinat antara *take off angle* dan *azimuth*, di mana *azimuth* adalah sudut antara titik stasiun dan pusat gempa dari arah utara. Secara matematis *azimuth* dapat diperoleh dari Persamaan 2.3. Prosedur ini dilakukan pada semua stasiun yang merekam getaran gempabumi sehingga diperoleh pergerakan awal gelombang P secara global. Metode ini didasarkan pada kenyataan bahwa gerakan pertama gelombang P tidak berubah selama penjarannya, sehingga gerakan awal gelombang P pada bola pusat gempabumi masih sama dengan gerakan awal gelombang P pada hiposenter (Bormann, 2012).

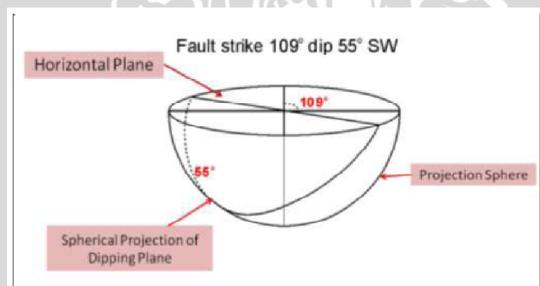
$$i = \sin^{-1}\left[\left(\frac{180}{\pi}\right) \times \left(\frac{v_p}{r_h}\right) \times p(\Delta, h)\right] \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 merupakan persamaan untuk menentukan nilai *take off angle*, di mana i adalah *take off angle*, v_p merupakan kecepatan gelombang P pada kedalaman tertentu dalam km/s. Sedangkan r_h adalah jari-jari Bumi dikurangi kedalaman gempa. Jari-jari Bumi adalah ± 6371 km. $p(\Delta, h)$ merupakan *ray parameter* yang nilainya dapat dilihat pada tabel fungsi Δ dan h , dengan h merupakan kedalaman gempabumi. Δ adalah sudut antara sumber gempa dengan titik stasiun. Nilai Δ juga digunakan untuk menentukan besar *azimuth* yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3 (Rawlinson, 2007).

$$\cos\Delta = \sin\lambda_r \sin\lambda_s + \cos\lambda_r \cos\lambda_s \cos(\phi_r - \phi_s) \quad (2.2)$$

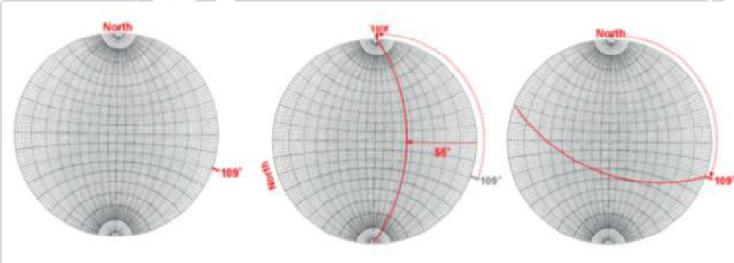
$$\cos A = \frac{\sin\lambda_r \sin\lambda_s + \cos\lambda_r \cos\lambda_s \cos(\phi_r - \phi_s)}{\sin\Delta} \quad (2.3)$$

di mana λ_r dan ϕ_r adalah lintang dan bujur stasiun. Sedangkan λ_s dan ϕ_s adalah lintang dan bujur pusat gempa.



Gambar 2. 16 Proyeksi bidang secara stereografi (Fajariyanti, 2011).

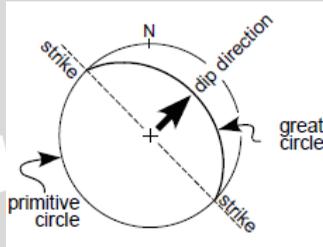
Gambar 2. 16 memperlihatkan proyeksi *strike of fault* dan *dip* diproyeksikan sebagai garis pada *stereonet*. *Strike of fault* diplot 109° dari arah utara dan *dip* sebesar 55° diplot dari arah barat daya. Sudut *azimuth* dihitung searah jarum jam dari arah utara, sedangkan sudut *dip* dihitung sepanjang garis equator yang dihitung mulai dari luar lingkaran menuju pusat. Gambar 2.17 menampilkan contoh bagaimana *strike of fault* sebesar 109° dan *dip* 55° SW diproyeksikan pada stereonet.



Gambar 2.17 Proyeksi fault *strike* dan *dip* pada stereonet (USGS).

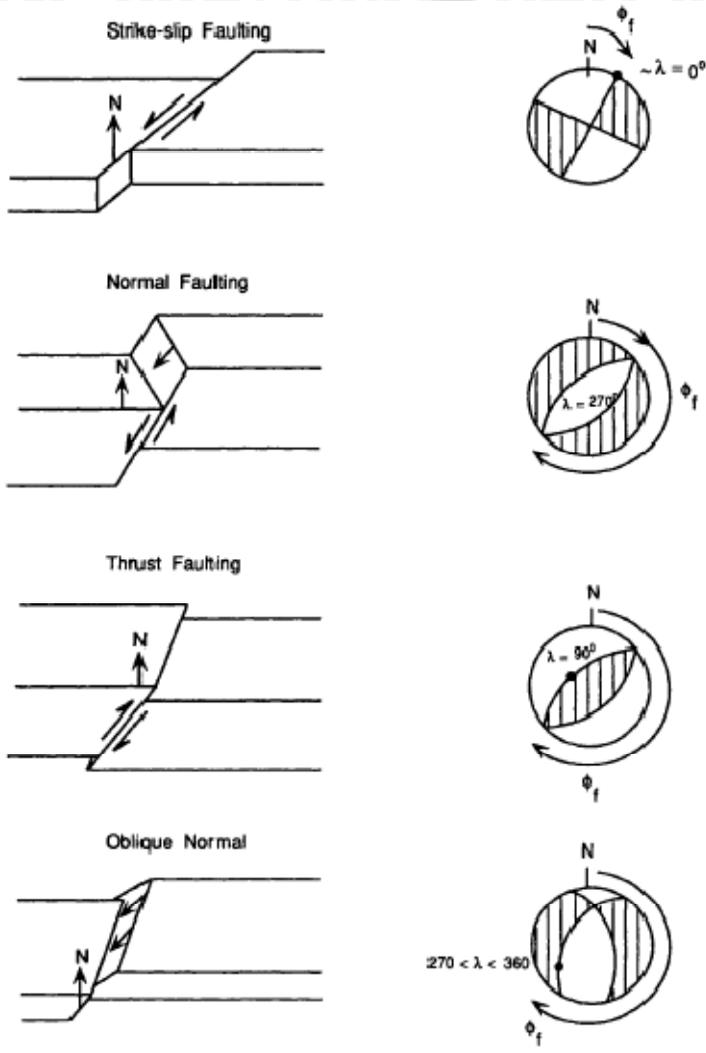
Tahapan awal diperlihatkan pada gambar paling kiri, yakni membuat sudut *azimuth* sebesar 109° yang dihitung dari arah utara searah jarum jam. Langkah selanjutnya diperlihatkan pada gambar tengah. Stereonet dirotasi sehingga sudut *azimuth* sebesar 109° berada pada posisi 0° (arah utara). Sedangkan arah *dip* didapatkan dengan menggunakan aturan tangan kiri, di mana jari telunjuk menunjukkan arah *strike* dan ibu jari menunjukkan arah *dip*. Seperti yang diperlihatkan pada gambar paling kiri, arah *dip* dihitung dari arah timur. Sudut *dip* sebesar 55° dihitung dari arah luar lingkaran. Sudut *dip* 0° terdapat pada titik lingkaran terluar, sedangkan sudut 90° terdapat pada titik tengah lingkaran. Hal ini juga berlaku pada sisi sebaliknya. Langkah selanjutnya adalah membuat garis nodal dari sudut *strike* yang menyinggung sudut *dip*. Setelah membuat garis yang memproyeksikan *strike of fault* dan *dip*, maka bola dirotasikan kembali ke arah nol derajat (arah utara). Perlakuan yang sama juga dilakukan untuk membuat garis

nodal kedua. Gambar 2.18 menampilkan penggambaran *strike* dan *dip* dari bola fokus.



Gambar 2.18 Penentuan *strike* dan *dip* (Cronin, 2004).

Dari diagram bola fokus dapat dibaca orientasi bidang nodal yaitu *strike*, *dip* dan *rake/slip*. Hal penting untuk menentukan orientasi diagram tersebut adalah memilih salah satu dari bidang nodal sebagai arah sesar gempa. Gambar 2.19 menampilkan diagram bola fokus yang mengindikasikan jenis sesar. Sesar naik (*reverse fault*) memiliki *rake* ($\pi, 0$) dan pusat bola berada pada daerah kompresi atau daerah arsiran. Sesar turun (*normal fault*) memiliki *rake* ($-\pi, 0$) dan pusat bola berada pada daerah dilatasi atau daerah warna putih. Sedangkan pada *strike slip fault* memiliki nilai δ (*dip*) = $\pi/2$, serta nilai $\lambda = 0$ atau $\lambda = \pi/2$.

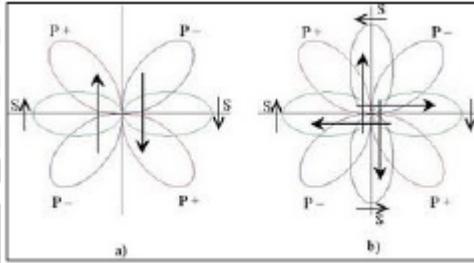


Gambar 2.19 Mekanisme fokus untuk penentuan bidang sesar (Lay dan Wallace, 1995).

2.5.2 Teori Kopel Ganda

Teori kopel ganda diperkenalkan oleh Honda pada tahun 1957. Honda mengusulkan adanya dua tipe gaya yang mungkin untuk sumber berupa titik (diasumsikan sumber gempa berupa titik), yaitu sistem gaya tipe I yang disebut dengan *single couple* (kopel tunggal), dan sistem gaya tipe II yang disebut dengan *double couple* (kopel ganda). Sistem gaya tipe I dan sistem gaya tipe II ditampilkan pada Gambar 2.20. Sistem gaya tipe I terdiri atas sepasang gaya dengan arah berlawanan tetapi sejajar dan bergerak sepanjang sumbu Y. Pergerakan ini ditransmisikan ke permukaan sebagai gelombang P, menjadi gerakan kompresi (*upward*) dan dilatasi (*downward*) dari tanah. Sistem gaya tipe II terdiri atas dua pasang gaya yang masing-masing memiliki besar yang sama dan tegak lurus satu sama lainnya. Gempabumi pada dasarnya disebabkan oleh sistem gaya tipe II (Snoke, 2003).

Analisis terhadap gerakan pertama gelombang P dilakukan untuk mengetahui orientasi sesar gempa, seperti *strike*, *dip* dan arah pergerakan sesar. Sedangkan ukuran gempabumi, seperti panjang dan lebarnya, dapat diketahui dengan menganalisis amplitudo dan bentuk gelombang seismiknya, perubahan bentuk kerak Bumi, serta distribusi gempa susulan. Metode pergerakan awal gelombang P dibuat berdasarkan model kopel ganda. Metode ini didasarkan pada amplitudo gerakan awal gelombang P, di mana apabila amplitudo bernilai positif maka daerah bersifat kompresional sedangkan bila amplitudo memiliki nilai negatif maka daerah bersifat dilatasi. Amplitudo bernilai nol di sepanjang dua bidang yang memisahkan daerah dengan bentuk pergerakan yang berbeda (bidang nodal).



Gambar 2.20 Model kopel tunggal dan model kopel ganda (Snoke, 2003).

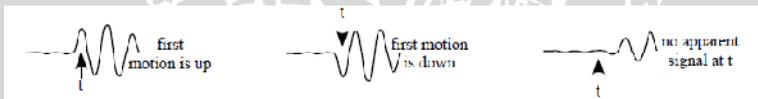
Sistem gaya kopel ganda menyatakan sumber gempa bekerja empat gaya sama besar dan berlawanan arah yang berlaku sebagai sepasang momen gaya yang saling tegak lurus. Gaya ini selanjutnya disebut sebagai sistem gaya type II. Sistem ini dapat menerangkan posisi gaya yang bekerja pada akhir proses patahnya atau bergesernya suatu lapisan sesuai teori pegas elastis (*Elastic Rebound Theory*). Teori ini dapat juga menerangkan pergerakan awal gelombang P dari tempat gempabumi alami. Karakteristik model kopel ganda adalah:

- Asumsi sumber titik: Asumsi yang mengandaikan sumber gempa adalah sebuah titik, di mana memiliki jarak hiposenter dengan stasiun lebih besar dari ukuran sesar.
- Konfigurasi sistem gaya kopel ganda: Konfigurasi yang mempunyai dua pasang gaya yang masing-masing mempunyai gaya yang masing-masing mempunyai magnitudo yang sama dan berlawanan arah.
- Ekuivalen sistem gaya kopel ganda dengan dislokasi geser (gerak sesar).

Sistem gaya kopel ganda menghasilkan medan perpindahan yang sama terhadap sumber gempa seperti yang sama berkenaan dengan dislokasi geser (*shear dislocation*) di sepanjang sesar. Salah satu dari dua orientasi kopel ganda merupakan orientasi dari sesar, sehingga kopel ganda menghasilkan dua orientasi bidang sesar yang mungkin terjadi.

2.6 Metode Gerakan Pertama Gelombang P

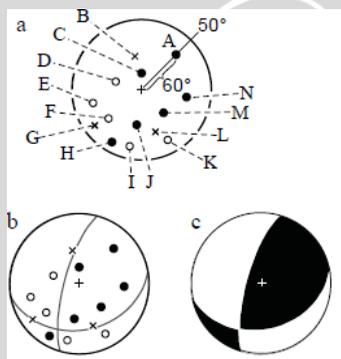
Mekanisme fokus gempa bumi dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan menggunakan gerakan pertama gelombang P. Berdasarkan sifat radiasi gelombang P, gerakan pertama gelombang P dibedakan dalam bentuk gerakan kompresi dan dilatasi. Gerakan kompresi ditandai arah gerakan pertama naik, sedangkan gerakan dilatasi ditandai arah gerakan pertama turun (dapat dilihat pada Gambar 2. 21). Arah gerakan pertama gelombang P tersebut dapat dilihat pada seismogram dari masing-masing stasiun seismograf. Secara sistematis gerakan tersebut ditentukan oleh *azimuth* dan jarak dari hiposenter ke stasiun seismograf. Arah gerakan pertama impuls dari gelombang P inilah yang kemudian diamati untuk mempelajari mekanisme fokus. Hal ini disebabkan karena gelombang P lebih diamati daripada gelombang seismik lainnya.



Gambar 2. 21 Pergerakan pertama gelombang P (Cronin, 2004).

Penyelesaian bola fokus diperoleh dari distribusi gerakan kompresi dan dilatasi di permukaan Bumi yang diproyeksikan melalui lintasan yang sama dengan penjalaran gelombangnya ke permukaan bola fokus. Jika stasiun seismograf yang melingkupi pusat gempa cukup banyak maka dapat dipisahkan antara kelompok stasiun yang merekam kompresi dan kelompok stasiun yang merekam dilatasi. Perpotongan antara dua garis nodal disebut sumbu N (null) yang merupakan arah *stress* nol. Sumbu *P*, *T*, dan *N* ditentukan oleh *azimuth* (diukur searah jarum jam dari arah utara) dan *plunge* (diukur ke arah bawah dari horizontal). Kedua sudut tersebut diukur dengan menggunakan kertas

stereografis. Tekanan dan tarikan menunjukkan arah gaya yang bekerja pada hiposenter, sedangkan kompresi dan dilatasi merupakan arah gerakan awal gelombang P seismogram. Gambar 2.22 a menampilkan pergerakan pertama gelombang P yang terdeteksi pada tiap stasiun. Tanda silang mengindikasikan *stress* null, tanda bulat putih mengindikasikan dilatasi sedangkan tanda bulat hitam mengindikasikan kompresi. Pada Gambar 2.22 b digambarkan dua bidang nodal yang melalui *stress* null. Sedangkan pada Gambar 2.22 c digambarkan bola fokus dengan kuadran hitam dan putih berdasar dilatasi dan kompresi.



Gambar 2.22 Penentuan diagram bola fokus menggunakan pergerakan awal gelombang P (Cronin, 2004).

2.7 Seismotektonik Selatan Jawa

Tektonik selatan Jawa didominasi oleh tunjaman ke utara lempeng Indo-Australia dibawah lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia menunjam sepanjang Sumatra dan Jawa hingga laut Banda. Konsekuensi tunjaman lempeng tersebut, mengakibatkan kegempaan yang tinggi dan lebih dari 20 gunung api aktif di zona ini. Gempabumi pada selatan Jawa memiliki kedalaman maksimum hingga 650 km (Astiz *et al.* 1988).

Subduksi pada selatan Jawa berbeda dengan subduksi pada Sumatra. Subduksi Jawa dibentuk oleh subduksi lempeng samudra di bawah lempeng benua. Subduksi merupakan proses pada batas konvergen di mana satu lempeng tektonik bergerak di bawah lempeng lain. Zona subduksi adalah area di Bumi di mana dua lempeng tektonik bergerak ke arah satu sama lain. Zona subduksi terjadi ketika lempeng samudra menunjam ke bawah lempeng benua. Subduksi pada selatan Jawa berbeda dari subduksi pada Sumatra. Lempeng Indo-Australia menunjam agak serong ke bawah Pulau Sumatra. Sedangkan arah subduksi lempeng Indo-Australia ke Pulau Jawa adalah hampir tegak lurus. Laju penunjaman lempeng dari barat laut (40-50 mm/tahun untuk penunjaman ke Pulau Sumatra) menuju tenggara (~70 mm/tahun untuk penunjaman ke Pulau Jawa dan Bali) (Krabbenhoef *et al.* 2010).

Elemen paling penting pada kenampakan tektonik di Jawa adalah adanya *Java Trench*. *Java Trench* merepresentasikan batas pertemuan lempeng yang berhubungan dengan zona Benioff. Zona Benioff termasuk pada zona subduksi namun memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi dan penyusupan landai. Kedalaman dan sudut zona Benioff berubah dari Sumatra menuju Jawa. Sudut penunjaman zona Benioff bergantung pada kecepatan penunjaman lempeng (Indriana, 2008). Berdasarkan distribusi episenter, *Java Trench* terletak sepanjang selatan Jawa dengan koordinat $8,60^{\circ}\text{S} - 11,60^{\circ}\text{S}$ dan $105^{\circ}\text{BT} - 114,50^{\circ}\text{BT}$. Aktivitas kegempaan di selatan Jawa dekade ini lebih aktif dibandingkan dekade sebelumnya berdasarkan katalog kegempaan. Berdasarkan data, gempa bumi dengan kedalaman 15 km – 100 km yang terjadi pada selatan Jawa memiliki solusi bidang sesar kemiringan ke arah timur laut dengan sudut $3^{\circ}-52^{\circ}$ (Thant *et al.* 2008). Subduksi di selatan Jawa masih aktif, yang diindikasikan oleh aktifitas gempa yang terjadi di Jawa. Sebagai contoh, gempa yang menunjukkan bahwa subduksi di selatan Jawa masih aktif adalah gempa yang terjadi di sesar Opak Yogyakarta pada 2006 (Rahmawan, 2012).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 10 Februari 2014 – 30 April 2014. Tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah di Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kelas II di Jalan Sedap Malam, Mlaten, Kecamatan Pandaan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur.

3.2 Data Penelitian

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder, yang merupakan data sinyal gempabumi dari hasil pencatatan stasiun gempabumi di Indonesia dan negara sekitar Indonesia. Sedangkan data gempabumi yang digunakan pada penelitian ini adalah data dari gempabumi Kebumen tanggal 25 Januari 2014, dan data dari gempa susulannya sampai dengan 15 Februari 2014. Pusat gempabumi Kebumen tersebut berada pada 8° LS – $8,5^{\circ}$ LS dan 109° - $109,5^{\circ}$ BT. Tidak semua data gempabumi ditentukan bola fokusnya. Hanya data gempabumi dengan magnitudo di atas 4,5 SR yang akan dianalisis bola fokusnya. Data gempabumi dengan magnitudo $< 4,5$ SR kurang dapat menghasilkan plot bola fokus yang baik karena kurangnya data sinyal gempabumi dari stasiun pencatat. Dengan kata lain, pada skala magnitudo yang tidak terlalu besar, hanya beberapa stasiun yang dapat merekam sinyal dengan baik, khususnya stasiun yang berjarak dekat dengan gempa.

Data yang diperlukan berupa parameter-parameter gempabumi yang terdiri atas waktu terjadinya gempabumi (*origin time*), koordinat episenter gempa, kedalaman gempa, magnitudo gempa, serta data sinyal gempabumi. Adapun data stasiun yang diperlukan berupa data koordinat masing-masing

stasiun serta elevasinya. Selain itu, juga diperlukan data gempabumi di wilayah Pulau Jawa dalam kurun waktu 30 tahun terakhir untuk membuat peta seismisitas dan penampang subduksi yang diperlukan untuk proses interpretasi.

3.3 Perangkat yang Digunakan

Perangkat yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras berupa sebuah laptop/komputer yang memiliki sistem operasi windows XP. Sedangkan perangkat lunak berupa *software* Dimas, Azmtak, PINV, PMAN, GsView, Notepad++, dan GMT.

3.4 Langkah Penelitian

3.4.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan merupakan jenis data sekunder dari gempabumi Kebumen serta koordinat stasiun geofisika. Data ini diperoleh dari Webdc, database BMKG, dan monitoring gempabumi JisView BMKG Tretes. Selanjutnya, data tersebut diolah dengan *software* dan ditentukan jenis patahan penyebab gempabumi yang diteliti.

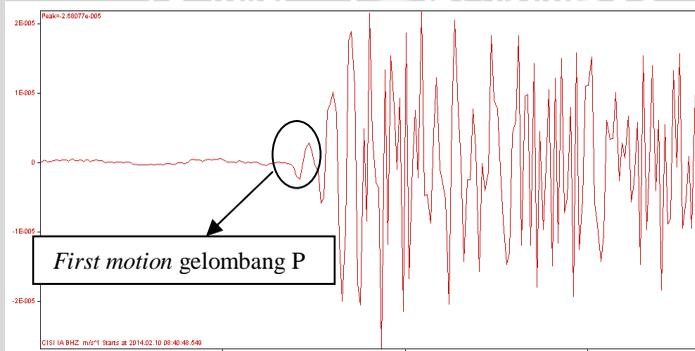
3.4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini meliputi dua tahap, yakni pengolahan mekanisme fokus dan proses pemetaan. Pengolahan mekanisme fokus bertujuan untuk menentukan jenis dan arah patahan yang menyebabkan gempabumi. Sedangkan proses pemetaan bertujuan untuk memetakan bola fokus hasil dari pengolahan yang akan berkelanjutan pada proses interpretasi.

3.4.2.1 Penentuan Pergerakan Awal Gelombang P

Pengolahan data mekanisme fokus menggunakan dua *software* yaitu *software* Dimas dan *software* Focal. *Software* Dimas digunakan untuk melihat sinyal gelombang gempabumi dari setiap stasiun yang merekam sinyal tersebut. Sinyal gelombang tersebut menampilkan data gerakan awal gelombang P dari masing-masing stasiun pencatat. Gambar 3.1 menampilkan sinyal gelombang P dari salah satu stasiun. Istilah *up* digunakan untuk gelombang awal P yang naik, sedangkan *down* merupakan gelombang awal P yang turun. Pada gelombang awal P arah *down* dicatat sebagai nilai -1, sedangkan pada *first motion*, arah *up* dicatat sebagai nilai 1.

Data gerakan awal gelombang P akan dianalisis dan disimpan dalam ekstensi .dat. Sedangkan data koordinat stasiun disimpan dalam ekstensi .sta.



Gambar 3.1 Penentuan *up* atau *down* pada gerakan awal gelombang P.

3.4.2.2 Pembentukan Bola Fokus

Software Focal merupakan *software* untuk menentukan bola fokus yang beroperasi dengan bahasa pemrograman Fortran. Pengolahan data dilakukan dengan

perantara Command Prompt. *Software Focal* terdiri atas tiga program, yakni:

1. Azmtak, yang merupakan program untuk menghitung *Azimuth* dan *Take of Angle* stasiun pencatat.
2. PinV, yang merupakan program untuk melakukan *inversion* terhadap data masukan sehingga diperoleh bola fokus dengan dua bidang nodal yang membatasi daerah kompresi dan dilatasi secara otomatis
3. Pman, yang merupakan program untuk memplot data masukan dalam bola fokus serta membentuk dua bidang nodal secara manual

Gambar hasil pengolahan *software Focal* dapat dilihat dalam *software GsView*. *Screenshot* pengolahan data dapat dilihat pada lampiran 1.

3.4.2.3 Pemetaan

Data mekanisme fokus yang didapat dari *software Focal*, dipetakan dengan *software GMT*. Selain peta data mekanisme fokus, juga dibuat peta seismisitas Pulau Jawa serta *cross section* dari peta seismisitas tersebut untuk mengetahui penampang subduksi selatan Kebumen. Pemetaan dilakukan dengan membuat *script* terlebih dahulu sesuai dengan peta yang dikehendaki. Setelah itu, data hasil pengolahan *software Focal* dimasukkan sesuai dengan format yang dapat terbaca pada *software*. Peta dibuat dengan batasan lintang-bujur 103.5° BT – 115° BT dan 5.5° LS – 13° LS.

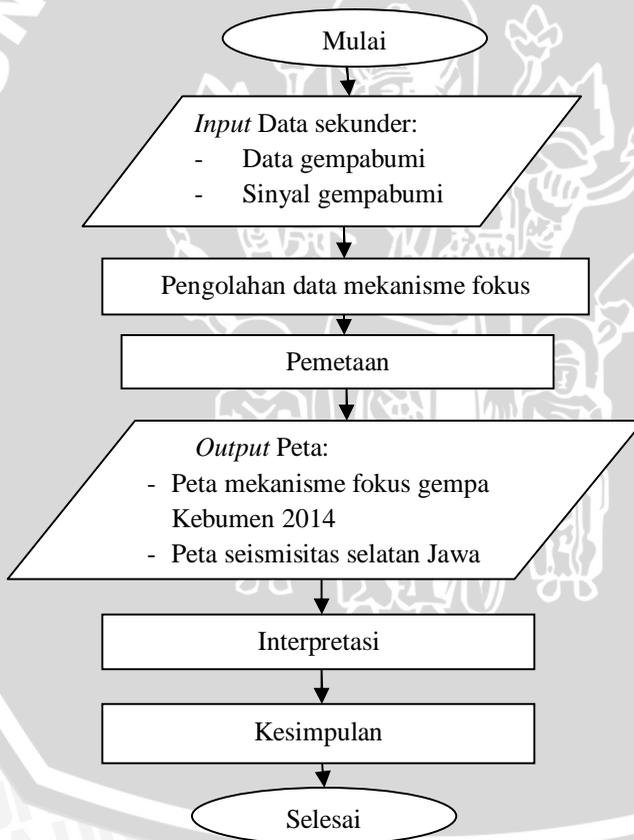
3.4.3 Interpretasi Data

Hasil yang diperoleh dari *software Focal* berupa bola fokus dan menunjukkan adanya orientasi sesar dari gempa bumi. Dalam menentukan orientasi sesar, perlu dilihat posisi titik pusat lingkaran terhadap daerah kompresi dan dilatasi, serta posisi bidang nodal yang melingkupi bola fokus tersebut. *Strike*, *dip*, dan *rake* yang telah ditentukan dalam *software Focal* dipetakan dan dibandingkan hasilnya dengan

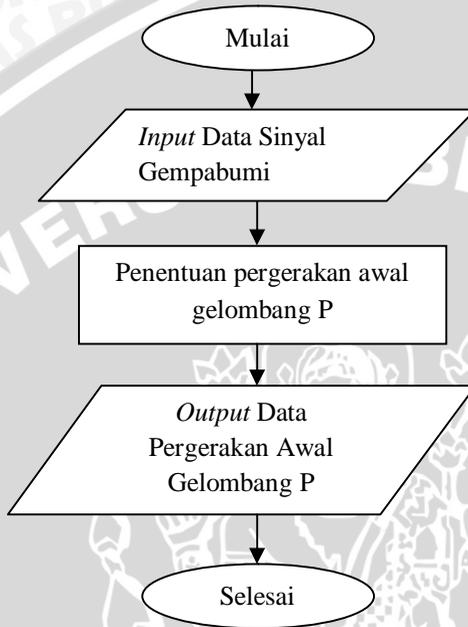
data mekanisme fokus dari hasil analisis GFZ, Global CMT, dan Inatews. Selain itu, hasil pengolahan *software* Focal ini dipetakan dan diinterpretasi serta dibandingkan dengan kondisi geologi yang ada.

3.4.4 Diagram Alir

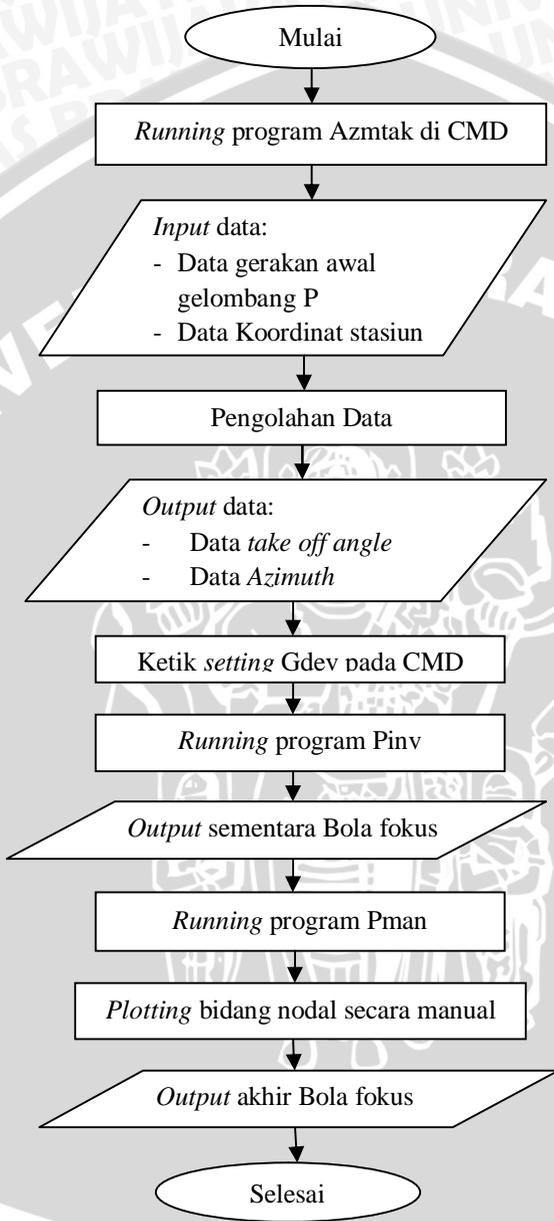
Keseluruhan prosedur penelitian disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3. 2. Sedangkan prosedur pengolahan data disajikan pada Gambar 3. 3, Gambar 3. 4, dan Gambar 3. 5.



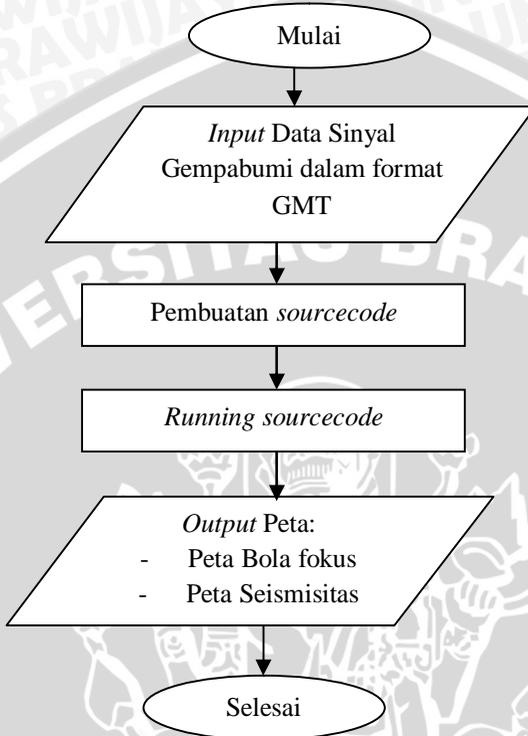
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data pada Software Dimas



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan Data pada *Software Focal*



Gambar 3. 5 Diagram Alir Pemetaan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Bidang Sesar

4.1.1 Analisis Bola Fokus

Solusi bidang sesar didapatkan dengan sebuah pemodelan bola fokus dari hasil pengolahan *software* Focal. Dalam menginterpretasikan bola fokus, terdapat daerah *pressure* dan *tension* yang menyatakan gaya yang bekerja di hiposenter. *Pressure* terletak pada suatu kuadran dilatasi (daerah yang tidak diarsir/putih) dan *tension* terletak pada suatu kuadran kompresi (daerah yang diarsir/berwarna). Sementara kompresi dan dilatasi diinterpretasikan sebagai arah dan gerakan pertama gelombang P menuju stasiun pencatat.

Cara untuk menganalisis suatu gempabumi berpola sesar turun, sesar naik atau sesar mendatar dengan bola fokus adalah sebagai berikut:

1. Jika pusat diagram (hiposenter) berada di dalam kuadran kompresi (daerah yang diarsir) maka gempabumi diinterpretasikan memiliki pola sesar naik (*thrust fault*).
2. Jika pusat diagram (hiposenter) berada di dalam kuadran dilatasi (daerah yang tidak diarsir/putih), maka gempabumi diinterpretasikan memiliki pola sesar turun (*normal fault*).
3. Jika pusat diagram (hiposenter) berada atau dekat dua garis nodal, maka gempabumi memiliki pola sesar mendatar (*strike-slip fault*).

Pola sesar turun, naik, ataupun mendatar, juga dapat diketahui dari nilai *rake*. *Rake* (λ) merupakan besar sudut antara bidang sesar dengan garis horisontal yang diukur pada bidang di mana garis tersebut berada. Hasil pengolahan *rake* (λ) bernilai negatif (-) untuk sesar turun yang menandakan bahwa blok *hanging wall* bergerak ke bawah terhadap *foot wall*. *Rake* (λ) bernilai positif (+) untuk sesar naik/*thrust fault* yang menandakan bahwa blok *hanging wall* bergerak ke atas

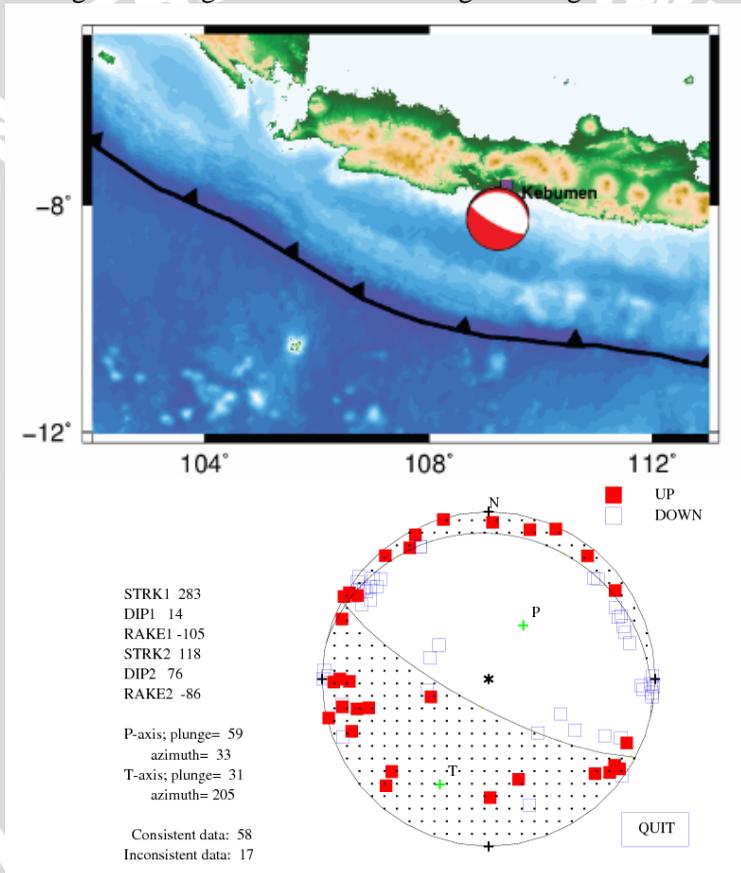
terhadap *foot wall*. Sedangkan nilai *rake* yang mendekati atau sama dengan 0° , atau 180° , menandakan bahwa gempa bumi tersebut berpola sesar mendatar/*strike slip*.

4.1.2 Hasil Analisis Software Focal

Gempabumi Kebumen yang terjadi pada 25 Januari 2014 memiliki pusat gempa pada $8,23^\circ\text{LS}$ dan $109,2^\circ\text{BT}$. Berdasarkan kedalaman gempa, yakni 87 km, gempa ini termasuk kategori gempa dengan kedalaman menengah (*intermediate earthquake*). Menurut data BMKG, gempa ini berskala 6,2 SR.

Analisis bidang sesar dengan *software* Focal menghasilkan nilai *strike*, *dip*, dan *rake*. Gempa utama yang terjadi pada 25 Januari 2014 pukul 05:14:20,7 UTC, atau 12:14:20 WIB, diperoleh solusi bidang sesar turun (*normal fault*) yang ditampilkan pada Gambar 4.1, di mana *hanging wall* bergerak relatif turun terhadap *foot wall*. Orientasi bidang sesar pada nodal pertama adalah *strike* = 283° , *dip* = 14° dan *rake* = -105° . Sedangkan pada bidang nodal kedua adalah *strike* = 118° , *dip* = 76° dan *rake* = -86° . Salah satu bidang dari kedua bidang nodal tersebut diinterpretasikan sebagai bidang sesar dan bidang nodal lain sebagai *auxiliary plane* (bidang bantu). Untuk menentukan bidang nodal yang akan digunakan sebagai bidang sesar, maka perlu ditinjau posisi gempa dari kondisi geologisnya. Pada hasil pemetaan, bidang sesar merupakan garis pembatas antara bidang berwarna merah dan bidang warna putih pada bola fokus yang memiliki kesejajaran dengan garis batas warna hitam pada peta. Garis warna hitam dalam Gambar 4.1 mengindikasikan *trench* Jawa atau batas pertemuan lempeng. *Trench* Jawa pada peta *Bathymetri* ditampilkan dari arah timur ke arah barat laut. Berdasar peta *Bathymetri*, lempeng Indo-Australia menunjam ke arah timur laut di bawah lempeng benua Eurasia. Pada solusi bidang sesar di bawah ini, bidang patahan yang terbentuk terletak pada arah tenggara hingga barat laut. Sedangkan arah kemiringan sesar untuk bidang nodal I

cenderung ke arah timur laut. Dengan kata lain, bidang nodal I cenderung sebagai bidang sesar, karena kemiringannya searah dengan arah penunjaman lempeng samudra. Berdasarkan peta *Bathymetri*, zona subduksi di selatan Jawa tidak begitu curam. Selain itu, berdasar kedalaman gempa bumi yang termasuk kategori *intermediate earthquake*, gempa bumi berada pada zona subduksi yang landai. Dengan demikian dipilih bidang nodal I karena memiliki nilai *dip* yang kecil, yaitu sebesar 14° . Sedangkan bidang nodal II adalah sebagai bidang bantu.



Gambar 4.1 *Focal Mechanism* pada gempa 25 Januari 2014.

4.1.3 Perbandingan Parameter Bidang Sesar Gempa Kebumen 25 Januari 2014

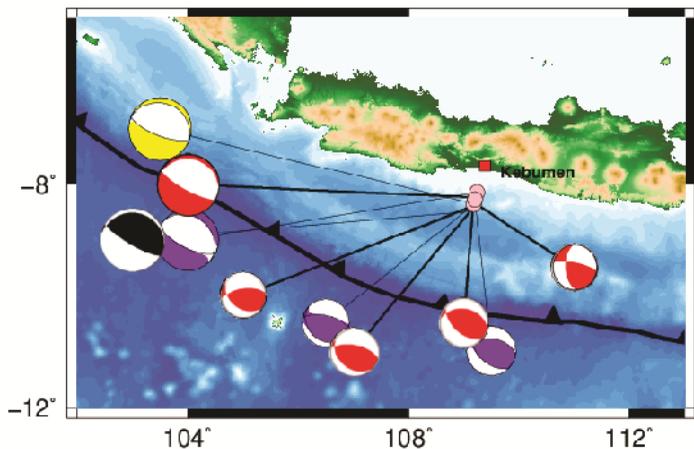
Pada penelitian ini, penulis membandingkan data parameter bidang sesar atau mekanisme fokus gempa bumi dengan analisis dari beberapa instansi pengolah mekanisme fokus gempa Kebumen. Data parameter yang didapat dari *software* focal ini dibandingkan dengan data Global CMT, Inatews, dan GFZ. Perbandingan parameter-parameter tersebut ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Tabel perbandingan parameter bidang sesar gempa utama (*Mainshock*) Kebumen 25 Januari 2014

Data	Nodal Plane 1			Nodal Plane 2		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
Software Focal	283	14	-105	118	76	-86
Inatews	270	15	60	121	77	98
GFZ	312	23	-75	117	68	-95
Global CMT	290	19	-90	111	71	-90

Dari keempat hasil solusi parameter bidang sesar, terlihat perbedaan pada data Inatews. Sedangkan pada data GFZ dan global CMT, Solusi parameter bidang sesar terlihat tidak jauh berbeda. Pada data dari *software* Focal, data GFZ dan data global CMT pola sesar terlihat bertipe sesar turun. Hal ini ditandai dengan nilai *rake* yang bernilai negatif. Namun, untuk data dari Inatews pola sesar adalah naik (ditandai dengan nilai *rake* positif). Dalam penggunaan gelombang seismik yang berbeda pada setiap metode dapat terjadi perbedaan. Gelombang seismik yang digunakan pada penelitian ini adalah gelombang P. Gelombang P dipilih karena memiliki cepat rambat paling besar sehingga terdeteksi lebih awal dari gelombang lainnya, karena hal tersebut gelombang ini mudah ditentukan dan dibedakan dari gelombang lainnya. Sedangkan analisa pada data GFZ digunakan polaritas dan amplitudo gelombang P dan S. Pada

global CMT digunakan analisa rangkaian gelombang badan hingga terbentuknya gelombang permukaan. Perbedaan parameter bidang sesar juga dapat disebabkan oleh gelombang seismik yang merambat dalam tanah mengalami peredaman atau berubah polaritasnya pada saat sampai di stasiun pencatat. Data yang dimiliki Indonesia dari Inatews, kemungkinan, hanya menganalisis stasiun pencatat di Indonesia saja. Sedangkan untuk membuat plot bola fokus yang lebih baik harus digunakan juga data dari stasiun yang berjarak jauh dengan sumber gempa. Semakin banyak data yang digunakan, plot bola fokus yang didapatkan akan semakin baik. Hasil tipe sesar dari keempat data tersebut ditampilkan dalam Gambar 4.2



Keterangan	
● Data Software Focal	● Data Global CMT
● Data GFZ	● Data Inatews

Gambar 4.2 Perbandingan analisis *Focal Mechanism* dengan data global.

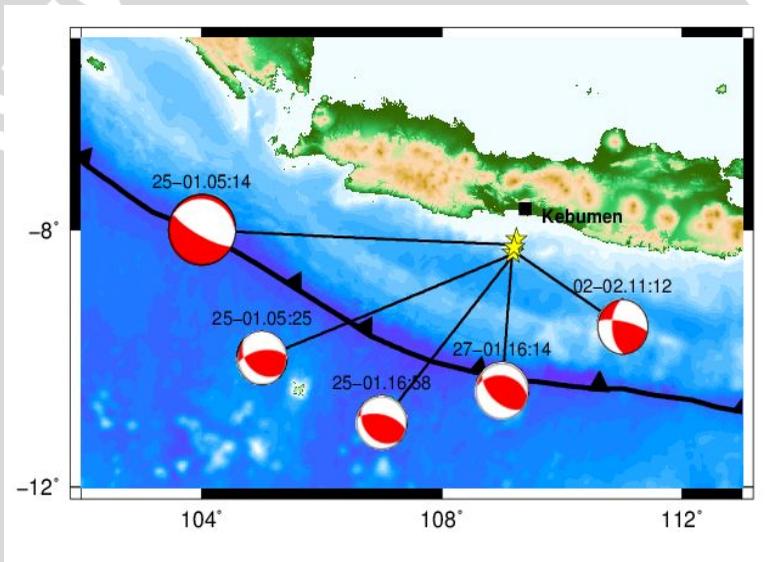
Selain membuat plot bola fokus pada gempa utama (*mainshock*) Kebumen 25 Januari 2014, penulis juga membuat

plot bola fokus gempa susulan (*aftershock*). Gempa utama ditandai dengan ukuran bola yang agak besar dengan posisi paling kiri, di mana gempa utama dianalisis oleh empat *software*, yaitu Focal, GFZ, Global CMT, dan Inatews. Inatews merupakan sistem *early warning* sehingga biasanya fokus pada gempa utama dengan skala magnitudo yang besar. Begitu pula dengan Global CMT yang hanya menganalisis gempa yang signifikan, yaitu sebagai contoh gempa yang memiliki magnitudo besar. Analisis *focal mechanism* yang lebih lengkap dapat dilihat pada katalog yang dimiliki oleh GFZ. Gempa susulan memiliki magnitudo < 6 SR. Dengan demikian, analisis *focal mechanism* gempa susulan hanya terdapat pada data katalog GFZ. Pada Gambar 4.2 ditampilkan hasil analisis dari GFZ terhadap gempa susulan pada 25 Januari 2014 pukul 16:58 UTC dan 27 Januari 2014 pukul 16:14 UTC. Sedangkan pada penelitian ini, dihasilkan empat plot bola fokus gempa susulan. Hasil yang ditampilkan oleh *software* Focal dengan data GFZ tidak jauh berbeda. Dari hasil mekanisme fokus, keduanya sama-sama menghasilkan tipe sesar naik. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa gempa susulan Kebumen 25 Januari 2014 memiliki sesar naik.

4.2 Analisis Gempabumi dengan Kondisi Tektonik

Gempa Kebumen yang dianalisis pada penelitian ini merupakan gempa laut karena posisi hiposentrum berada di laut. Gempabumi tersebut memiliki episentrum $8,23^0$ LS dan $109,2^0$ BT. Pusat gempabumi memiliki kedalaman 87 km dan magnitudo 6,2 SR. Oleh karena kedalaman gempa dalam kategori menengah (*intermediate*), gempabumi ini terasa sampai di kota Jakarta dan kota Malang. Apabila kedalaman hiposenternya dangkal, maka hanya kota-kota yang berdekatan saja yang merasakan gempabumi. Namun, hal ini juga tidak lepas dari besar magnitudo yang dimiliki gempabumi tersebut. Gempa susulan terjadi pada pukul 05:25:15,2 UTC. Gempa susulan berkelanjutan hingga 15 Februari 2014. Mekanisme

fokus gempa utama dan susulan Kebumen ditampilkan pada Gambar 4. 3. Gempa utama ditampilkan dengan bola yang lebih besar sedangkan gempa susulan ditampilkan dengan bola yang lebih kecil. Hanya lima gempa yang dapat dianalisis dengan *software* Focal. Hal ini disebabkan gempa susulan yang lain memiliki magnitudo $< 4,5$ SR. Oleh karena magnitudo yang kecil, banyak stasiun yang tidak dapat merekam gelombang seismik dengan baik. Sehingga data yang didapatkan kurang dan bola fokus tidak dapat tampil dengan baik.

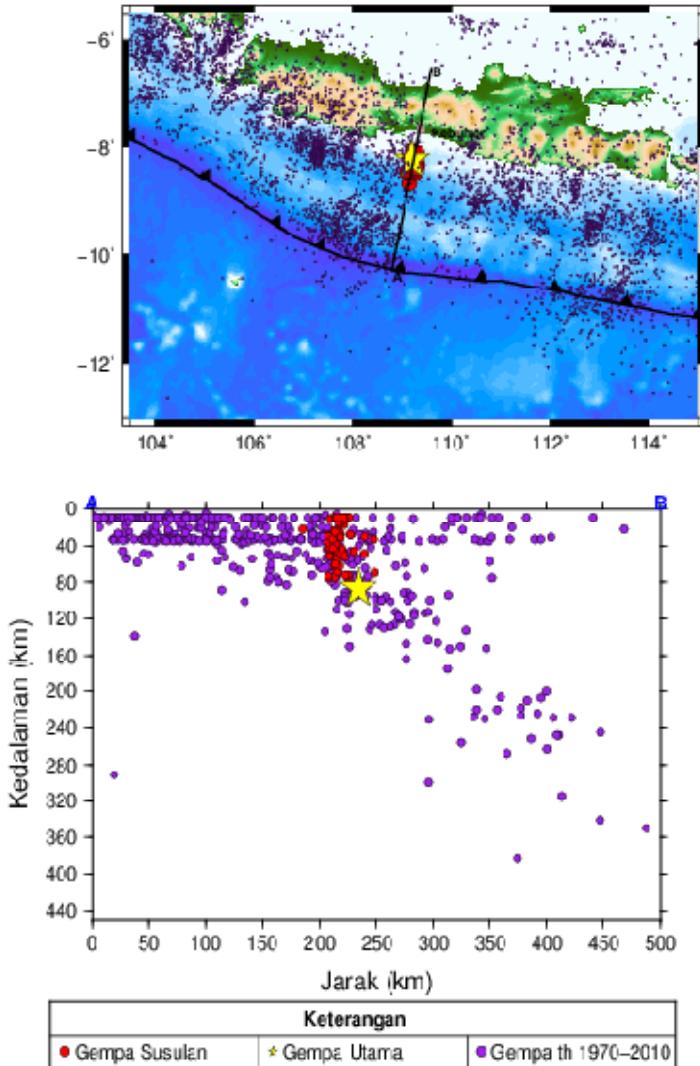


Gambar 4. 3 Mekanisme fokus gempa Kebumen 2014 dari *software* Focal.

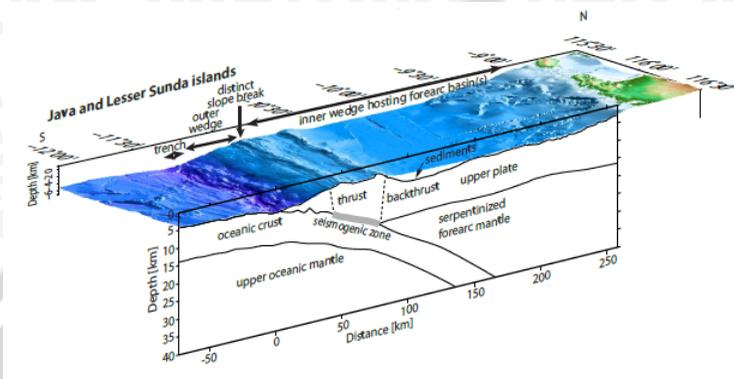
Patahan ditandai dengan garis yang memisahkan daerah warna merah dan warna putih yang terdapat pada bola fokus. Garis ini menjadi penanda adanya kesejajaran dengan batas lempeng (garis warna hitam) dan arah penunjaman lempeng. Gempa utama terjadi pada kedalaman 87 km dengan tipe sesar turun (*normal fault*). Bila dikaitkan dengan kondisi tektonik selatan Jawa, gempa ini disebabkan oleh aktivitas

subduksi selatan Jawa. Pada daerah selatan Jawa, subduksi yang terjadi merupakan lempeng samudra Indo-Australia yang menyusup ke bawah lempeng Eurasia. Kecepatan penyusupan lempeng ini sekitar 50-70 mm/tahun (USGS). Batas antar kedua lempeng diperlihatkan dengan garis hitam pada Gambar 4. 3. Pada garis hitam terdapat tanda panah dengan arah ke utara, yang mengindikasikan arah lempeng samudra yang menunjam ke bawah lempeng benua. Adanya pergerakan lempeng tersebut mengakibatkan daerah selatan Jawa memiliki tingkat seismisitas yang tinggi. Peta seismisitas Pulau Jawa dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Gempa yang terjadi pada tahun 1970 - 2010 dipetakan untuk membuat *cross section* yang mengindikasikan penampang subduksi. Pemodelan penampang zona subduksi dibuat berdasarkan *cross section* dari peta seismisitas. *Cross section* dalam gambar tersebut merupakan garis AB. Garis AB ditarik dari selatan ke utara melalui pusat gempa yang diteliti. Sebaran gempa yang terlingkup dalam garis AB ditampilkan dalam Gambar 4.4 bagian sebelah bawah. Sebaran gempa tersebut menampilkan penampang subduksi selatan Jawa. Gambar 4.4 sebelah bawah merupakan *plotting* sebaran gempa di mana sumbu x sebagai jarak sebenarnya dalam satuan km yang digambarkan dalam garis AB, sedangkan sumbu y merupakan kedalaman dalam satuan km. Titik A dalam Gambar 4.4 bagian sebelah atas, merupakan titik nol pada sumbu x. Titik A terletak pada titik pertemuan lempeng, sehingga titik nol pada gambar sebelah bawah merupakan titik pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Sedangkan titik B tergambar dalam gambar sebelah atas berada pada utara Pulau Jawa, di mana titik tersebut merupakan titik 500 km pada sumbu x. Sebaran gempa yang tergambar dalam Gambar 4.4 terindikasi sebagai zona penunjaman yang terjadi pada selatan Kebumen. Di mana penunjamannya terjadi dari arah selatan ke arah utara.



Gambar 4.4 Peta seismisitas daerah selatan Jawa (atas) dan hasil *cross section* yang menggambarkan zona subduksi (bawah).



Gambar 4.5 Penampang zona subduksi (Krabbenhoef *et al.* 2010).

Penampang subduksi ini dibuat untuk melihat keterkaitan gempa Kebumen dengan subduksi selatan Jawa. Hasil dari *software* Focal menampilkan sesar turun pada gempa utama yang ditampilkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.3. Telah dibahas pada sub bab 4.1.1, sesar turun dimodelkan dengan bola fokus di mana daerah dilatasi (daerah warna putih) dominan terhadap pusat gempa. Posisi gempa utama yang ditampilkan dalam Gambar 4.4 sebelah bawah terduga terletak pada lempeng samudra. Gempa utama memiliki sesar turun karena terduga berada pada daerah setelah bidang pertemuan dua lempeng (*intercept*), sehingga gempa tersebut berada pada lempeng samudra. Hal ini disebabkan posisi gempa utama yang berada pada 235 km dari *trench* Jawa dengan kedalaman 87 km. Sedangkan gempabumi yang berada pada zona *intercept* memiliki sesar naik. Faktor kompresi banyak ditemukan dari zona *intercept* karena adanya tekanan dari lempeng samudra ke arah bawah menunjam ke dalam lempeng benua yang mengakibatkan lempeng benua terdesak sehingga timbul patahan-patahan dengan jenis sesar naik. Gambar 4.5 menampilkan zona *intercept* di mana daerah *thrust* merupakan bagiannya. Dalam hal ini, zona *intercept* memiliki kedalaman kurang dari 40 km. merujuk pada hal tersebut, gempa utama berada pada daerah setelah zona

intercept, di mana gempa yang berpusat pada daerah setelah zona *intercept* didominasi *tension stress* akibat pergerakan lempeng samudra. Pergerakan lempeng tersebut disebabkan oleh berat lempeng yang dingin dan padat yang turun ke arah mantel Bumi. Akibat adanya pergerakan lempeng ini menimbulkan sesar-sesar di sekitarnya. Salah satunya terbentuk sesar turun pada gempa 25 Januari 2014 ini.

Gempa utama pada 25 Januari 2014 mengganggu kestabilan lempeng dan memicu terjadinya patahan pada bidang kontak di sisi atasnya. Faktor kompresi lebih dominan karena adanya tekanan dari bawah, sehingga mekanisme patahan pada gempa susulan menjadi sesar naik. Hasil analisis mekanisme fokus pada gempa susulan dapat dilihat pada Gambar 4. 3.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Gempa Kebumen yang terjadi pada 25 Januari 2014 disebabkan oleh sesar turun yang memiliki $strike = 283^{\circ}$, $dip = 14^{\circ}$ dan $rake = -105^{\circ}$ dan diakibatkan oleh pergerakan lempeng samudra yang turun ke arah mantel bumi.
2. Mekanisme fokus dari hasil pengolahan data pada penelitian ini memiliki hasil yang hampir sama dengan analisis GFZ dan Global CMT di mana data-data tersebut dipercaya memiliki data yang lebih akurat.

5.2 Saran

Sebagai bagian dari peringatan dini (*early warning*) untuk bencana, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang potensi terjadinya tsunami pada daerah penelitian berdasar pada pola sesar yang terbentuk.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. *Seismologi*. ITB Press. Bandung.
- Astiz, L. dan T. Lay. 1988. Large Intermediate-depth Earthquakes and The Subduction Process. *Physics of The Earth and Planetary Interior*. 53:80–166.
- Bormann, P. 2012. *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)*. Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. Potsdam.
- Chasanah, U. 2013. Analisis Tingkat Seismisitas dan Periode Ulang Gempabumi di Sumatera Barat Periode 1961-2010. *Jurnal Fisika*. 02:1-5.
- Cronin, V. 2004. *A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists*. Baylor University. USA.
- Fajariyanti, I. W. 2011. *Penentuan Parameter Gempabumi dan Analisis Tektonik Papua*. Skripsi, Institut Teknologi Bandung, Jurusan Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Bandung.
- Geohazards, 2013, Alberta Geological Survey, http://www.ags.gov.ab.ca/geohazards/earthquakes_about.html, tanggal akses 22 Juni 2014.
- Ginanjari. 2007. *Memahami Konsep Tektonik dan Mekanisme Gempa*. BMKG. Jakarta.
- Harmadhoni, D. 2011. *Analisis Mekanisme Fokus Gempa di Blitar-Jawa-Timur 17 Mei 2011*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jakarta.
- Indriana, R. D. 2008. Analisis Sudut Kemiringan Lempeng Subduksi di Selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur Berdasarkan Anomali Gravitasi dan Implikasi Tektonik Vulkanik. *Berkala Fisika*. 11:89-96.
- Ismawati, T. 2011. *Focal Mechanism Gempa Mentawai*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Jakarta.

- Karyadi, D. 2008. *Menentukan Mekanisme Fokal Berdasarkan Polarisasi Gelombang P*. Tugas Akhir, Akademi Meteorologi dan Geofisika, Geofisika, Jakarta.
- Krabbenhoft, A., R.W. Weinrebe, dan H. Kopp. 2010. Bathymetry of the Indonesian Sunda Margin-relating Morphological Features of the Upper Plate Slopes to the Location and Extent of the Seismogenic Zone. *Natural Hazards and Earth System Science*. 10: 1899–1911.
- Munir, M. 2003. *Geologi Lingkungan*. Bayumedia Publishing. Malang.
- Okal, E.A. 2011. *Earthquake, Focal Mechanism*. Springer Science+Business Media B.V. Evanston, IL 60208, USA.
- Rahmawan, H. 2012. *Studi Potensi Bahaya Tsunami di Selatan Jawa*. Paper, Institut Teknologi Bandung, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan. Bandung.
- Rawlinson, N. 2007. *Earthquake Source Mechanisms and Radiation Patterns*. <http://rses.anu.edu.au/~nick/teachdoc/lecture11.pdf>., tanggal akses 05 April 2014.
- Reid, H. 1982. Elastic Rebound Theory of Earthquake. *BSSA*. 11: 98-100.
- Rohadi, S. 2009. Distribusi Spasial dan Temporal Seimotektonik Wilayah Subduksi Jawa. *Megasains*. 4:180-188.
- Shearer, P. 2009. *Introduction to Seismology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Snoke, J.A. 2003. *Focal Mechanism Determination. Paper*, Virginia Tech, Blackburg USA.
- Thant, M. H. Kawase, dan S. Pramumijoyo. 2008. Focal Mechanisms of Subduction Zone Earthquakes Along the Java Trench: Preliminary Study for The Psha for Yogyakarta Region, Indonesia. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing.
- Lay, T dan T.C. Wallace. 1995. *Modern Global Seismology*. Academic Press . California.

USGS. n.d. *International Tsunami Training Institute (ITTI) Archive.* http://nctr.pmel.noaa.gov/education/ITTI/seismic/Focal_mech_USGS.pdf, tanggal akses 10 April 2014.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

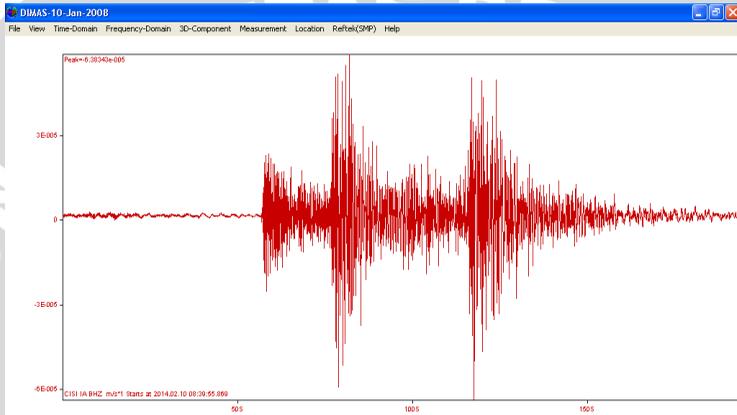
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



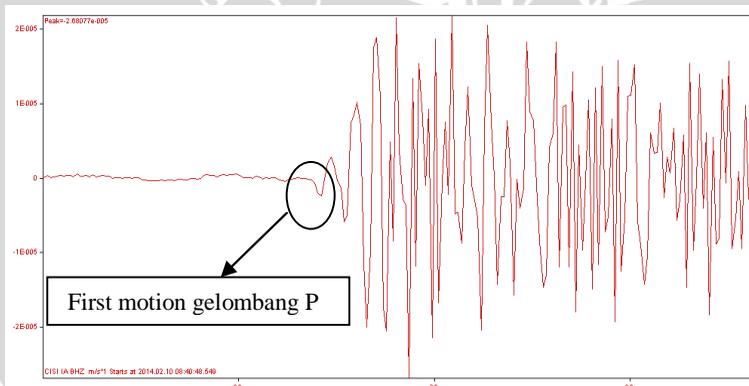
LAMPIRAN

Lampiran 1

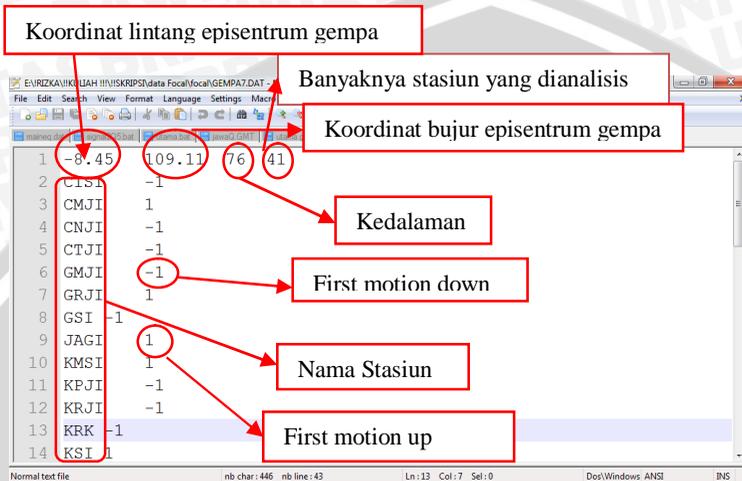
Screenshot Pengolahan Data



Gambar 1 Input gelombang seismik dari salah satu stasiun yang digunakan



Gambar 2 Penentuan up atau down pada first motion gelombang P. Istilah up digunakan saat gelombang awal P yang naik, sedangkan down merupakan gelombang awal P yang turun.



Gambar 3 Format Pencatatan *first motion* P-wave tiap stasiun dalam ekstensi .dat. Pada first motion arah down dicatat sebagai nilai -1, sedangkan pada first motion arah up dicatat sebagai nilai 1.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe - pman.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Rizka>d:
D:\>cd focalok
D:\focalok>azmtak.exe
Input Data file name?
gempa1.dat
Station file name?
iaa.sta
Output file name?
gempa1.out
D:\focalok>pman.exe
Input polarity data file name?
gempa1.out
  
```

Gambar 4 Bentuk perintah menjalankan software Focal dalam Command Prompt

```
D:\mapping\UAD\platforme\Q\signal2Q5.bat - Notepad++
File Edit Search View Format Language Settings Macro Run TeXFX Plugins Window ?
Batch file nb char: 1546 nb line: 44 Ln: 23 Col: 40 Sel: 0 Dos/Windows ANSI INS
1 set F=signal2Q5.ps
2 set R=102/113/-12/-5
3
4 #Membuat file warna
5 makecpt -Z -Cglobe > topo.cpt
6
7 #Plot peta dasar
8 psbasemap -JM12 -X4.5 -R%R% -Ba4g4WSne:."Gempa Kebumen 2014": --HEADER_
9 pscoast -JM -R -Ggreen -Sblue -Dh -Wthin -K -P -O >> %F%
10 grdimage indo.nc -R -JM -Ctopo.cpt -K -O -Na -P >> %F%
11
12 #Plot kota kebumen
13 echo 109.39 -7.67 33 7.4 Kebumen LT > kebumen.d
14 psxy -R -J -O -K -Ss0.3 -Gblack -Wthinest kebumen.d >>%F%
15 gawk "{print $1, $2, 9, 0, 1, $6, $5}" Kebumen.d | pstext -R%R% -J -O -I
```

Gambar 5 Pemetaan dalam software GMT dilakukan dengan membuat kode script



Lampiran 2

Data Penelitian

Data penelitian didapatkan dari database BMKG

Tanggal	Waktu	Lintang	Bujur	Kedalaman (km)	Magnitudo (Sr)
1/25/2014	5:14:21	-8,23	109,20	87	6,20
1/25/2014	5:25:15	-8,32	109,23	76	5,00
1/25/2014	5:48:58	-8,33	109,28	73	4,30
1/25/2014	5:54:06	-8,43	109,23	75	3,70
1/25/2014	6:03:20	-8,41	109,22	64	4,00
1/25/2014	6:18:35	-8,38	109,25	28	3,40
1/25/2014	6:58:38	-8,40	109,17	30	4,10
1/25/2014	7:29:01	-8,19	109,25	30	4,60
1/25/2014	7:59:22	-8,45	109,11	76	4,10
1/25/2014	8:39:49	-8,40	109,17	51	4,10
1/25/2014	11:06:15	-8,43	109,22	64	3,40
1/25/2014	11:14:52	-8,46	109,25	30	4,00
1/25/2014	13:05:28	-8,41	109,20	55	3,50
1/25/2014	13:09:10	-8,45	109,21	41	3,60
1/25/2014	16:23:17	-8,40	109,24	41	4,40
1/25/2014	16:58:02	-8,34	109,23	73	4,90
1/25/2014	17:37:11	-8,47	109,23	52	3,20
1/25/2014	18:51:36	-8,41	109,19	57	3,40
1/25/2014	21:50:59	-8,45	109,23	44	3,20
1/25/2014	23:11:51	-8,42	109,19	27	3,20
1/25/2014	23:16:54	-8,43	109,23	45	4,00
1/25/2014	23:45:42	-8,35	109,26	53	3,30
1/26/2014	1:50:10	-8,18	109,20	49	3,50

1/26/2014	2:07:08	-8,41	109,18	62	3,10
1/26/2014	2:14:10	-8,47	109,22	43	3,20
1/26/2014	2:23:53	-8,40	109,20	69	3,20
1/26/2014	3:23:06	-8,39	109,25	63	3,90
1/26/2014	13:06:09	-8,47	109,22	42	3,40
1/26/2014	16:46:46	-8,41	109,23	46	3,60
1/26/2014	22:42:54	-8,43	109,27	38	3,70
1/27/2014	5:04:02	-8,43	109,28	29	3,00
1/27/2014	6:30:26	-8,34	109,29	10	3,60
1/27/2014	6:33:40	-8,37	109,18	49	3,30
1/27/2014	7:02:37	-8,47	109,18	29	4,00
1/27/2014	10:43:07	-8,36	109,26	47	3,30
1/27/2014	15:45:23	-8,12	109,31	70	2,90
1/27/2014	16:14:01	-8,22	109,18	80	5,10
1/27/2014	20:38:19	-8,47	109,16	35	2,60
1/28/2014	3:16:00	-8,35	109,21	49	3,70
1/28/2014	4:39:20	-8,42	109,17	24	4,20
1/28/2014	4:48:10	-8,37	109,25	10	4,00
1/28/2014	7:11:07	-8,44	109,28	10	3,20
1/28/2014	14:45:47	-8,46	109,22	11	3,10
1/28/2014	14:55:01	-8,37	109,24	44	2,80
1/28/2014	22:59:10	-8,28	109,25	46	3,20
1/29/2014	7:07:45	-8,33	109,32	10	2,80
1/30/2014	16:07:45	-8,43	109,25	61	3,40
1/30/2014	20:26:40	-8,43	109,19	27	3,50
1/31/2014	5:36:21	-8,67	109,15	22	3,50
2/1/2014	16:27:02	-8,46	109,14	74	3,90
2/2/2014	11:12:33	-8,36	109,24	10	4,60

2/2/2014	14:15:09	-8,11	109,22	33	3,00
2/2/2014	15:24:34	-8,42	109,22	10	3,00
2/3/2014	5:36:40	-8,47	109,18	30	4,00
2/3/2014	9:44:08	-8,48	109,24	36	3,60
2/5/2014	6:51:59	-8,38	109,22	31	3,50
2/5/2014	8:00:56	-8,34	109,18	17	3,10
2/5/2014	15:03:17	-8,39	109,16	25	3,20
2/5/2014	15:14:09	-8,44	109,21	43	3,00
2/6/2014	14:42:19	-8,38	109,25	15	3,30
2/6/2014	14:42:20	-8,44	109,20	33	3,20
2/8/2014	1:19:01	-8,29	109,18	28	3,40
2/8/2014	11:56:33	-8,40	109,25	15	4,00
2/8/2014	17:21:37	-8,41	109,23	10	4,10
2/10/2014	8:40:25	-8,35	109,24	11	4,40
2/11/2014	16:20:14	-8,39	109,22	25	3,10
2/12/2014	13:10:17	-8,38	109,22	31	4,40
2/12/2014	20:55:48	-8,41	109,14	25	3,40
2/15/2014	19:42:16	-8,36	109,26	10	3,20

Lampiran 3

Data Koordinat Stasiun (BMKG)

Nama Stasiun	Koordinat	
	Lintang	Bujur
A10	10,45	275,30
TSI	3,50	98,56
AAI	-3,69	128,20
APSI	-0,91	121,65
ATNI	-9,08	124,86
BAKI	-1,19	136,10

BASI	-10,22	120,58
BATI	-10,21	123,66
BBSI	-5,49	122,57
BJI	-7,33	109,71
BKB	-1,11	116,91
BKSI	-5,32	120,12
BLJI	-7,75	113,60
BLSI	-5,37	105,25
BNDI	-4,31	129,54
BTDF	1,36	103,77
BYJI	-8,21	114,36
CGJI	-6,61	105,69
CISI	-7,56	107,82
CM31	18,46	98,94
CMJI	-7,78	108,45
CMMT	18,81	98,95
COEN	-13,96	143,17
CTJI	-7,01	109,18
DBJI	-6,55	106,75
DBNI	-8,50	118,31
DNP	-8,68	115,21
DSRI	-0,48	104,58
EDFI	-8,75	121,69
EGSI	-5,35	102,28
GENI	-2,59	140,17
GRJI	-6,91	112,48
GSI	1,30	97,58
HMDM	6,77	73,18
IPM	4,48	101,03
JAGI	-8,47	114,15
JAY	-2,51	140,70
KASI	-5,52	104,50
KBKI	-3,30	116,17
KCSI	3,52	97,77
KDI	-3,96	122,62
KHK	-8,36	115,61
KKM	6,04	116,21
KLI	-4,84	104,87



KLNI	-8,42	116,09
KMPI	-3,66	133,70
KMSI	0,57	123,98
KOM	1,79	103,85
KPJI	-7,33	108,93
KRJI	-2,09	101,46
KRK	-8,15	112,45
KSI	-3,65	102,59
KUM	5,29	100,65
LEM	-6,82	107,61
LHMI	5,23	96,95
LUWI	-1,04	122,77
LWLI	-5,02	104,06
MALK	8,40	80,54
MASI	-3,14	102,24
MDSI	-4,49	104,18
MKBI	-2,45	101,24
MMPI	-8,52	140,41
MMRI	-8,64	122,24
MNAI	-4,36	102,96
MNI	1,44	124,84
MNSI	0,80	99,58
MPSI	0,34	119,90
MRSI	0,48	121,94
MTKI	-0,94	114,90
NBPI	-3,37	135,50
NGJI	-7,37	111,46
NLAI	-3,24	127,10
OBMI	-1,34	127,64
PBKI	-2,70	111,67
PBKT	16,57	100,97
PBSI	-0,05	98,28
PCI	-0,91	119,84
PCJI	-8,19	111,18
PDSI	-0,91	100,46
PLAI	-8,70	117,72
PMSI	-3,50	118,91
PPBI	-2,16	106,14

AS BRAWIJAYA



PPI	-0,46	100,40
PPSI	-2,77	100,01
PSI	2,70	98,92
PWJI	-8,22	111,80
RGRI	-0,35	102,33
RKPI	-1,51	134,18
RPSI	2,70	98,92
RTBI	-8,46	114,94
SANI	-2,05	125,99
SAUI	-7,98	131,30
SDSI	-0,93	101,43
SGKI	-0,53	117,60
SIJI	-0,90	131,30
SISI	-1,33	99,09
SKJI	-7,01	106,56
SLSI	-2,39	102,59
SMKI	-0,45	117,21
SMRI	-7,05	110,44
SMSI	0,99	122,37
SNSI	2,41	96,33
SOEI	-9,76	124,27
SPSI	-3,96	119,77
SRBI	-8,08	115,21
SRPI	-1,87	136,24
STKI	0,07	111,48
SWI	-0,86	131,26
SWJI	-7,73	111,77
TBJI	-6,82	111,85
TMSI	1,29	124,92
TNTI	0,77	127,37
TPRI	0,92	104,53
TRSI	2,03	98,96
TSI	3,50	98,56
TTSI	-3,05	119,82
UBSI	-3,76	102,27
UGM	-7,91	110,52
WB0	-19,77	134,39
WB1	-19,96	134,35

WB2	-19,94	134,35
WB3	-19,92	134,36
WB4	-19,90	134,36
WB5	-19,88	134,37
WB6	-19,86	134,37
WB7	-19,84	134,38
WB8	-19,81	134,38
WB9	-19,79	134,38
WBSI	-9,64	119,39
WC1	-19,92	134,34
WC2	-19,93	134,37
WC3	-19,96	134,37
WC4	-19,96	134,34
WOJI	-7,84	110,92
WR0	-19,96	134,54
WR1	-19,94	134,34
WR2	-19,95	134,36
WR3	-19,95	134,39
WR4	-19,95	134,41
WR5	-19,95	134,43
WR6	-19,95	134,45
WR7	-19,96	134,48
WR8	-19,96	134,50
WR9	-19,96	134,52
WSI	-9,67	120,30
XMIS	-10,48	105,65
IGBI	-8,82	115,15
KAPI	-5,01	119,75
KLSI	-4,69	104,73
LBF1	-8,48	119,89
MMSI	-2,69	118,91
MWPI	-0,93	134,04
PMG	-9,41	147,15
CBJI	-6,42	106,85
JCJI	-6,49	108,27
BKNI	0,32	101,03
KMMI	-7,05	113,96
PATS	6,83	158,31

AS BRAWIJAYA



PMBI	-2,92	104,77
SBJI	-6,12	106,13
CHTO	18,81	98,94
DAV	7,08	125,57
TPI	-2,76	107,65
TOO	-37,57	145,49
GUMO	13,59	144,87
YOGI	-7,82	110,29
WRAB	-19,93	134,36
AAII	-3,69	128,19
BNSI	-4,40	120,10
CNJI	-7,31	107,13
GLMI	1,84	127,78
GMJI	-8,27	113,44
LBMI	-0,64	127,50
MSAI	-3,35	128,92
PKKI	-2,24	113,97
SBSI	1,40	99,43
SMPI	-1,98	138,71
WOJI	-7,84	110,92
WAMI	-4,10	138,95
KNRA	-15,68	128,76
XMIS	-10,48	105,65
CTAO	-20,09	146,25
UWJI	-6,42	110,95
SNJI	-7,78	111,76
PTKI	-0,15	109,40
KKSI	-4,17	121,65
UBPT	15,28	105,47
PBKT	16,57	100,97
TPRI	0,92	104,53
FITZ	-18,10	125,64
GIRL	-22,64	114,23
ABPO	-19,02	47,28
SOCY	12,52	53,99
SBV	-13,46	49,92
QIZ	-20,56	139,61
UOSS	24,95	56,20



CTA	-20,09	146,25
QLP	-26,58	144,24
XMI	-10,45	105,69
KDU	-12,69	132,47
MTN	-12,84	131,13
SRDT	14,35	99,12

Lampiran 4

Data Pergerakan Awal Gelombang P

Nama Stasiun	<i>P-wave 1st motion</i>
BKB	-1
BKSI	-1
BLSI	-1
BNSI	-1
BYJI	-1
CBJI	1
CISI	-1
CMJI	-1
CNJI	-1
CTJI	1
DBJI	1
DBNI	-1
DNP	-1
DSRI	1
EGSI	1
GMJI	-1
GRJI	-1
IGBI	-1
JAGI	-1
KASI	1
KBKI	1
KHK	-1
KLSI	-1
KMMI	1
KPJI	1
KRJI	-1

KRK	1
KSI	-1
LEM	1
LWLI	1
MASI	-1
MDSI	-1
MKBI	-1
MMSI	-1
MNAI	-1
NGJI	1
PBKI	1
PCJI	1
PDSI	-1
PKKI	1
PLAI	-1
PMBI	1
PMSI	-1
PPBI	1
PPSI	-1
PTKI	1
PWJI	1
RTBI	-1
SBJI	1
SDSI	-1
SISI	-1
SKJI	1
SLSI	-1
SMKI	-1
SMRI	1
SNJI	-1
SPSI	-1
SRBI	-1
STKI	1
SWJI	1
TPI	1
TPRI	-1
TTSI	-1
UBSI	1
UGM	1
UWJI	1

WOJI	1
TPRI	-1
QIZ	-1
GIRL	-1
TOO	-1
SOCY	-1
UOSS	-1
ABPO	1
SBV	-1

Lampiran 5

Data Nilai Azimuth dan Take Off Angle Dari Program Azmtak

Nama Stasiun	Take off Angle	Azimuth
BKB	77,77	47,72
BKSI	76,14	75,77
BLSI	88,57	125,66
BNSI	75,61	71,31
BYJI	89,34	270,19
CBJI	80,77	127,49
CISI	66,50	115,93
CMJI	50,49	120,73
CNJI	75,63	113,89
CTJI	60,26	179,23
DBJI	80,78	124,26
DBNI	80,76	92,37
DNP	88,29	94,71
DSRI	80,87	328,88
EGSI	84,45	292,14
GMJI	86,41	270,89
GRJI	83,71	248,32
IGBI	88,42	96,11
JAGI	88,75	273,14
KASI	89,84	299,63
KBKI	81,94	55,15
KHK	87,27	91,66

KLSI	89,08	308,13
KMMI	88,62	256,37
KPJI	52,57	163,32
KRJI	79,05	307,95
KRK	82,32	268,85
KSI	83,11	304,30
LEM	74,24	131,53
LWLI	88,13	301,68
MASI	81,74	305,73
MDSI	87,59	306,39
MKBI	79,13	305,50
MMSI	76,35	60,87
MNAI	84,85	301,40
NGJI	76,95	249,23
PBKI	88,15	24,26
PCJI	72,64	269,11
PDSI	75,90	309,42
PKKI	84,02	38,86
PLAI	82,04	93,79
PMBI	85,98	319,87
PMSI	77,13	64,63
PPBI	86,26	333,00
PPSI	77,36	300,18
PTKI	83,01	1,47
PWJI	78,34	269,96
RTBI	89,02	92,71
SBJI	84,53	124,33
SDSI	77,42	312,72
SISI	74,17	303,73
SKJI	80,44	114,72
SLSI	81,31	311,04
SMKI	76,37	46,30
SMRI	69,25	226,44
SNJI	78,31	260,19
SPSI	75,92	68,67
SRBI	88,31	89,04
STKI	81,80	15,51
SWJI	78,42	259,23

TPI	89,12	344,11
TPRI	78,24	332,64
TTSI	75,05	64,61
UBSI	82,62	302,39
UGM	63,16	256,54
UWJI	77,74	224,05
WOJI	69,99	257,24
TPRI	78,24	332,64
QIZ	39,78	115,93
GIRL	68,14	161,91
TOO	35,90	137,31
SOCY	30,59	290,03
UOSS	29,57	304,21
ABPO	29,71	252,87
SBV	30,69	259,29

